



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ

NILTON ROGÉRIO DA SILVA

AVALIAÇÃO DE COLETOR A BASE DE ÓLEO DE
MARACUJÁ NA FLOTAÇÃO DA APATITA

ARAXÁ/ MG
2025

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ

NILTON ROGÉRIO DA SILVA

AVALIAÇÃO DE COLETOR A BASE DE ÓLEO DE
MARACUJÁ NA FLOTAÇÃO DA APATITA

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao Curso de Engenharia de
Minas, do Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais CEFET/MG,
como requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Henrique
Santos

ARAXÁ/ MG
2025

NILTON ROGÉRIO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DE COLETOR A BASE DE ÓLEO DE MARACUJÁ NA
FLOTAÇÃO DA APATITA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas
Gerais - Unidade Araxá, como
requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia
de Minas.

Data de Defesa: Araxá, 14 de Fevereiro de 2025.



Presidente e Orientador: Prof. Dr. Leandro Henrique Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá



Membro Titular: Ma. Kelly de Souza Pires
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá



Membro Titular: Prof. Dr. Fábio de São José
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Unidade Araxá

DEDICATÓRIA

A Deus, nosso eterno pai
por conceder essa honra, e
motivação.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por conceder a fé, a força e promover as condições necessárias para que fosse possível conquistar esse título tão importante.

E em segundo, a meus familiares, que contribuíram e participaram ativamente da minha caminhada, me dando forças e motivação em momentos de tensão e dificuldade.

Também agradeço imensamente pelo apoio e dedicação das colegas e amigas Flávia e Natália, as quais participaram ativamente no projeto, de forma totalmente voluntária.

E por fim, agradeço ao meu orientador Dr Leandro Henrique Santos, pelo apoio e suporte durante execução deste trabalho, a instituição CEFET e todos os funcionários e professores que contribuíram para minha formação técnica.

RESUMO

A apatita, presente no minério fosfático, é a principal fonte do elemento fósforo (P), sendo este, fundamental na formulação de fertilizantes químicos. No Brasil, as grandes jazidas deste recurso apresentam maioritariamente origem ígnea, provenientes de magmas carbonatíticos, ricos em minerais como a calcita, dolomita, magnetita, quartzo e micas. A composição química e mineralógica destes minérios, tornam complexa e desafiadora a operação de concentração por flotação, devido as dificuldades de se alcançar seletividade na hidrofobização e separação das partículas de interesse, apatita/carbonatos, das demais partículas de ganga. As gangas, na presença dos reagentes coletores a base de ácidos graxos, tendem a sofrerem alta reatividade e interações com os mesmos, as quais posteriormente prejudicam a separação. Além disso, interações entre cátions e ânions, provenientes da solubilidade parcial das espécies, tendem a prejudicar ainda mais a seletividade, permitindo que as adsorções das partículas ocorram globalmente. Diante disso, no presente trabalho, foi avaliado o uso do óleo de maracujá como coletor na flotação da apatita, a partir de ensaios de bancada em célula mecânica. Neste buscou se avaliar os desempenhos, teor e recuperações em massa e metalúrgica, na flotação, frente as variáveis dosagens de coletor e condições de pHs. Dos resultados, os testes que apresentaram os maiores valores para o teor foram: 3, 11 e 7, nos pHs 11,9; 9,1; 11,5 e dosagens de coletor (g/t) 1000; 1000; 1200 respectivamente, os quais atingiram valores acima dos 26%. Quanto ao desempenho nas recuperações mássicas e metalúrgicas, os maiores foram obtidos nos testes 3 e 7, os quais atingiram valores acima de 3,0% e 7,0% respectivamente.

Palavras-chave: Flotação; Óleo De maracujá; Minério fosfático.

ABSTRACT

Apatite, present in phosphate ore, is the main source of the element phosphorus (P), which is essential in the formulation of chemical fertilizers. In Brazil, the large deposits of this resource are mostly of igneous origin, originating from carbonatite magmas, rich in minerals such as calcites, dolomite, magnetite, quartz and micas. The chemical and mineralogical composition of these ores makes the concentration operation by flotation complex and challenging, due to the difficulties in achieving selectivity in the hydrophobization and separation of the particles of interest, apatite/carbonates, from the other gangue particles. Gangues, in the presence of collecting reagents based on fatty acids, tend to undergo high reactivity and interactions with them, which subsequently impair the separation. In addition, interactions between cations and anions, resulting from the partial solubility of the species, tend to further impair selectivity, allowing the adsorption of the particles to occur globally. Therefore, this study evaluated the use of passion fruit oil as a collector in apatite flotation, based on bench tests in a mechanical cell. This study sought to evaluate the performance, content, and mass and metallurgical recoveries in flotation, considering the variables collector dosages and pH conditions. From the results, the tests that presented the highest values for content were: 3, 11, and 7, at pHs 11.9; 9.1; 11.5 and collector dosages (g/t) 1000; 1000; 1200, respectively, which reached values above 26%. Regarding the performance in mass and metallurgical recoveries, the highest were obtained in tests 3 and 7, which reached values above 3.0% and 7.0%, respectively.

Keywords: Flotation; Passion fruit oil; Phosphate ore.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Passiflora edulis: fruto na planta (A) e cortado (B).....	15
Figura 2 - Passiflora edulis: semente	15
Figura 3 - Comparação da composição lipídica do óleo de maracujá e demais vegetais	16
Figura 4 - Dados referentes à produção do maracujá no Brasil (2022)	17
Figura 5 - Fórmula geral carboxila.....	20
Figura 6 - Interação bolha- partícula.....	20
Figura 7 - Diagrama de distribuição das espécies do oleato de sódio em função do pH, para diferentes concentrações	24
Figura 8 - Influência do tempo de condicionamento do oleato de sódio na recuperação da Barita, em pH 7.....	25
Figura 9 - Moléculas de açúcar (glicose, galactose e manose).....	27
Figura 10 - Estrutura da amilose	28
Figura 11 - Estrutura da amilopectina.....	28
Figura 12 - Máquina de flotação (Modelo Galigher)	30
Figura 13 - Arranjo de células de Flotação.....	30
Figura 14 - Esquema básico "Coluna de flotação".....	31
Figura 15 - Método para determinar o índice de saponificação	34
Figura 16 - Metodologia utilizada para determinação do teste em branco	34
Figura 17 - Fluxograma das etapas de preparação da amostra total	35
Figura 18 - Balanço das massas	36
Figura 19 - Metodologia utilizada para obtenção de alíquotas do minério.....	36
Figura 20 - Passos para obtenção da densidade do minério.....	37
Figura 21 - Máquina de fusão elétrica e1 - Nieka™	38
Figura 22 - ARL™ PERFORM'X - Thermo Scientific™	38
Figura 23 - Passos para a obtenção do plano de experimentos.....	39
Figura 24 - Testes de saponificação do óleo de maracujá	40
Figura 25 - Testes de saponificação do óleo de maracujá	41
Figura 26 - Três primeiros testes de saponificação do óleo de maracujá.....	41
Figura 27 - Preparação do depressor de amido de milho.....	42
Figura 28 - Depressor pronto para uso.....	43
Figura 29 - Equipamentos utilizados nos testes de flotação.....	44

Figura 30 - Pesagem de concentrado	46
Figura 31 - Pilha de rejeito	46
Figura 32 - Pulverizador automático.....	46
Figura 33 - Amostra de rejeito a ser pulverizada	46
Figura 34 - Gráfico normal dos efeitos padronizados a resposta ao teor de P_2O_5	52
Figura 35 - Gráfico de pareto dos efeitos padronizados a resposta ao teor de P_2O_5	53
Figura 36 - Gráfico de contorno dos efeitos padronizados a resposta ao teor de P_2O_5	54
Figura 37 - Gráfico normal dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação em massa	55
Figura 38 - Gráfico de pareto dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação em massa	56
Figura 39 - Gráfico de contorno dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação em massa	57
Figura 40 - Gráfico normal dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação metalúrgica	58
Figura 41 - Gráfico de pareto dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação metalúrgica	59
Figura 42 - Gráfico de contorno dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação metalúrgica	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Concentração micelar crítica (CMC) de ácido graxos á temperatura ambiente, em função do número de carbonos.....	22
Tabela 2 - Solubilidade de ácidos graxos saturados, em água frente ao número de carbonos na cadeia.....	23
Tabela 3 - Programação da máquina de fusão para o preparo da pastilha fundida	37
Tabela 4 - Programação dos experimentos.....	39
Tabela 5 - Relação das variáveis utilizadas na flotação	45
Tabela 6 - Relação das variáveis utilizadas no condicionamento.....	45
Tabela 7 - Relação das condições fixas utilizadas	45
Tabela 8 - Resultados do índice de saponificação	47
Tabela 9 - Características dos óleos vegetais.....	48
Tabela 10 - Características do óleo de maracujá.	48
Tabela 11 - Resultados das análises de densidade do minério, via picnometria a gás.....	49
Tabela 12 - Resultados da análise química da alimentação.....	49
Tabela 13 - Composição química dos concentrados	50
Tabela 14 - Resultados das recuperações mássicas e metalúrgicas	51
Tabela 15 - Análise de variância de P ₂ O ₅ versus coletor (g/t) e pH	51
Tabela 16 - Análise de variância de Recuperação em massa versus coletor (g/t) e pH	55
Tabela 17 - Análise de variância de Recuperação em metalúrgica versus coletor (g/t) e pH	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Flotação	17
2.2 Coletores graxos	19
2.3 Depressores	25
2.4 Equipamento de flotação	29
2.5 Conceitos de planejamento fatorial completo	32
3. METODOLOGIA	33
3.1 Caracterização do óleo	33
3.2 Preparação do minério	35
3.3 Caracterização das amostras	37
3.4 Planejamento fatorial	39
3.5 Saponificação do óleo de maracujá	40
3.6 Gelatinização do amido de milho	42
3.7 Testes preliminares	43
3.8 Ensaio de flotação	44
3.9 Preparação dos produtos	46
4. REAULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1 Caracterização do óleo	47
4.2 Caracterização das amostras	49
4.3 Desempenho dos testes de flotação	50
5. CONCLUSÃO	60

1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade produtiva e econômica da prática de cultivo de alimentos está diretamente associada a fatores como a preparação do solo, correção do índice de acidez, reposição de minerais macronutrientes essenciais. Em termos de nutrição, as plantas necessitam de três elementos básicos, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), geralmente introduzidos no solo pela adição de fertilizantes químicos, do tipo NPK. Esses nutrientes, quando sintetizados e absorvidos em proporções ideais, auxiliam nos processos metabólicos dos vegetais durante a fotossíntese, sendo este o processo através do qual as plantas convertem a energia solar em sacarose, celulose e fosfolipídeos, ajudando ainda na fixação do CO₂ (MATA, 2019).

Os principais minerais portadores de fósforo pertencem ao grupo das apatitas ($\text{Ca}_5(\text{Cl}, \text{F}, \text{OH})(\text{PO}_4)_3$), os quais são denominados fosfatos cristalinos de carbonato e cálcio, com teores de P₂O₅, variando de 4 a 15%. No Brasil, estes ocorrem majoritariamente em rochas do tipo alcalino-carbonatíticas, presentes em depósitos localizados nos estados de Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Bahia e Tocantins. Detentora de quase 68% das reservas desse tipo, a região do Alto Paranaíba em Minas Gerais, se destaca com jazidas em pleno exercício de exploração e aproveitamento econômico das reservas lavráveis, localizadas nas cidades de Tapira, Patrocínio e Serra do Salitre (MORAES *et al*, 2015).

O principal processo aplicado pela indústria mineral na concentração de minerais processados é a flotação. Através do mesmo, são exploradas as características físico-químicas de superfície dos minerais, visando obter um produto contendo o mineral de interesse e contaminantes em proporções (teor) adequadas ao mercado consumidor ou a processos seguintes de transformação.

Segundo Souza (2019), os minérios fosfáticos das minas do Alto Paranaíba são ricos em impurezas, principalmente em magnésio, cálcio e sílica, considerado os complexos até mesmo para a flotação. Essa complexidade associada aos minérios alcalino-carbonatíticos se dá pelas semelhanças intrínsecas de seus minerais constituintes. Isso porque na flotação é necessário

que haja a diferença nas propriedades de superfície e diferenças de polaridades entre as espécies a serem separadas. Logo, caso não existam essas diferenciações ou as mesmas sejam insuficientes, mesmo com o uso de reagentes, podem ser alcançados baixos índices de seletividade e, conseqüentemente, de recuperação. Tal cenário repercute diretamente nos custos de produção, receitas, lucros e quantidades em toneladas produzidas. Tal desafio do setor mineral significa um grande gargalo aos vários setores da cadeia produtiva de alimentos no país, em virtude de seu impacto na produção de fertilizantes químicos.

Segundo Moraes e colaboradores (2015), corroborado por Carneiro (2018), há uma necessidade muito grande de se investir em conhecimento tecnológico e aumentar a produção de fertilizantes no Brasil, em função do mercado consumidor nacional, uma vez que a produção nacional é considerada insuficiente para a demanda. Para suprir a curto prazo as deficiências por fertilizantes do tipo NPK, segundo o Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA), o Brasil tem recorrido a importações que totalizaram, em 2021, 32.872 toneladas do insumo, proveniente de países como Rússia, China, Canadá, Marrocos, Bielorrússia, Estados Unidos, Alemanha e Holanda.

Ainda segundo dados do (MAPA), o Brasil apresenta potencial para aumentar ainda mais o uso de fertilizantes nos próximos anos e atingir quase a metade da produção mundial de alimentos. No entanto, se depara com uma dependência realista de outras nações. Em um possível cenário de elevação dos preços desses fertilizantes, o país poderia deixar de ser competitivo e passar a sofrer quedas na balança comercial e impactos negativos na economia. Quanto às projeções de demandas futuras, estima-se que o consumidor final brasileiro consumirá em 2030, 2040 e 2050 cerca de 49,0; 57,2 e 65,1 milhões de toneladas desse insumo, respectivamente.

Diante do exposto, fica clara a importância dos fertilizantes para a manutenção econômica e sustentável dos vários setores do negócio brasileiro. A necessidade de desenvolvimento tecnológico, desde a base até o topo dessa cadeia, se torna primordial para que, de fato, haja um crescimento real na disponibilidade de

fertilizantes no país.

Dessa forma, no presente estudo, buscou-se avaliar o desempenho do óleo de maracujá saponificado como coletor de apatita, a partir da técnica de flotação em bancada, empregando a amostra de minério proveniente da mina da Mosaic em Patrocínio – MG.

Para tanto, caracterizou-se as amostras de minério e o óleo de maracujá. Foi realizado o planejamento fatorial dos experimentos para a execução coordenada dos testes e por fim tratamento estatístico dos resultados obtidos com o auxílio do software estatístico Minitab® 18, para verificar o efeito das variáveis pH da polpa e dosagem do coletor no teor de P_2O_5 no concentrado, além das recuperações mássica e metalúrgica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No decorrer desta seção serão abordados tópicos que objetivam apresentar os assuntos mais relevantes para o presente trabalho. Primeiramente, foram apresentados alguns aspectos de apresentação do maracujá e suas sementes, as quais dão origem ao óleo empregado no presente estudo. Posteriormente, foi apresentada a conceituação da técnica de flotação, os principais reagentes aplicáveis na flotação de minérios fosfáticos. Por fim, uma breve abordagem sobre planejamento de experimentos, especificamente o planejamento fatorial.

O óleo empregado neste estudo é derivado do maracujá, de nome científico *passiflora edulis* sims, o qual é pertencente a família *passifloraceae*. Também é conhecido pelos nomes populares maracujá, maracujá mirin, maracujá-suspiro, maracujá peroba, maracujá pequeno e flor da paixão (JUNGHANS et al., 2022; EMBRAPA, 2024).

Figura 1 - *Passiflora edulis*: fruto na planta (A) e cortado (B)



Fonte: Adaptado de (JUNGHANS et al, 2022).

Figura 2 - *Passiflora edulis*: semente



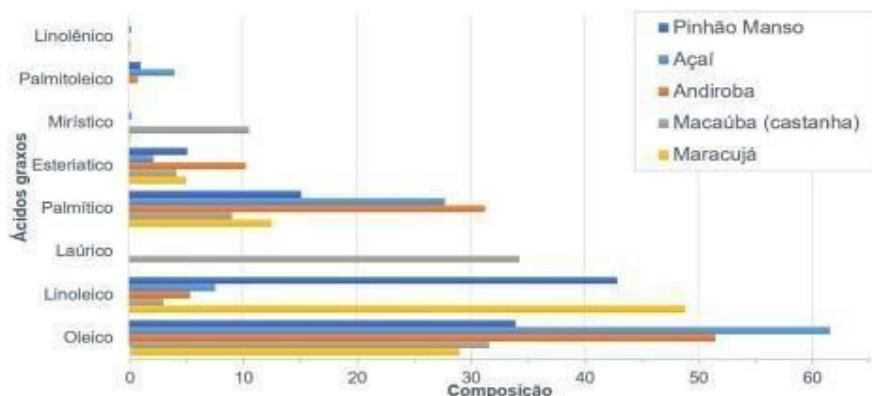
Fonte: Adaptado de (JUNGHANS et al, 2022).

Maracujá é um nome originário do tupi-guarani significa “alimento que se toma de sorvo” ou “alimento em forma de cuia”. De maneira geral, é o nome dado ao fruto e à planta. As espécies conhecidas de maracujá pertencem à família *Passiflorácea*, a qual é composta de 12 gêneros, sendo a de maior expressividade pertencente ao gênero *Passiflora*, com cerca de 500 espécies americanas. No Brasil são encontradas entre 111 a 150 espécies nativas, porém a mais cultivada dentre elas é a *Passiflora edulis* Sims, que tem como

nome popular, maracujá-amarelo ou maracujá-azedo, seguida pela *Passiflora alata* Curtis, conhecida como maracujá-doce (JUNGHANS *et al*, 2022; EMBRAPA, 2024).

Segundo Araújo e colaboradores (2019), há uma perspectiva real de que demais usos atribuídos a esse vegetal possam ser desenvolvidos e explorados, visto que os óleos extraídos dos resíduos do maracujá, em específico das sementes possuem alto potencial como fontes graxas de ácidos linoleico e oleico. Estudos realizados por Silva e colaboradores (2018), corroborado por Santos (2024), avaliaram a aplicação de óleos vegetais, os quais apresentem significativas proporções dos ácidos graxos oleico, linoleico e palmítico, como é o caso dos óleos extraídos a partir das sementes do Pinhão manso, da Castanha da Macaúba, da Andiroba e Bacuri e das sementes do Maracujá (Figura 3).

Figura 3 - Comparação da composição lipídica do óleo de maracujá e demais vegetais



Fonte: Adaptado de (SILVA *et al*, 2018)

Figura 4 - Dados referentes à produção do maracujá no Brasil (2022)



Fonte: site (IBGE)

Segundo dados da Embrapa, o Brasil possui uma área de 46 mil hectares plantados em maracujá. A produção no ano de 2022 foi aproximadamente 700 mil toneladas da fruta (Figura 4). Tal produção representa cerca de 70% da produção mundial, conferindo ao país o status de maior produtor e consumidor mundial. Atualmente, praticamente toda a produção nacional é consumida internamente. Por outro lado, no mercado internacional, o Brasil tem trabalhado a exportação de derivados como sucos concentrados, frutas frescas e também produtos processados, porém ainda de forma incipiente.

2.1 Flotação

Na literatura existem inúmeras variações para a técnica de flotação. A partir do conceito de Flotação por espuma, são descritas as operações de Flotação direta, Flotação reversa, Eletro-flotação, Flotação em película, Flotação em óleo, Flotação carreadora, Flotação em flocos, Flotação coletiva, Flotação seletiva e Flotação instantânea. Estas podem ser reproduzidas desde escalas laboratoriais e pilotos (carater exploratório) até semi-industriais e industriais (caráter comerciais). Dentre estas, na indústria mineral dois tipos se destacam, a flotação direta e a flotação reversa, em função da ampla aplicação destas e seu desempenho na recuperação metalúrgica, recuperação em massa e adequações de teores requeridas pelo mercado (CHAVES et al, 2018).

A flotação é uma técnica de separação voltada para partículas sólidas, que se baseia na molhabilidade das superfícies entre as diversas espécies presentes. O processo envolve o tratamento de misturas heterogêneas de partículas muneais suspensas em uma fase líquida (polpas). Os princípios que sustentam essa técnica pertencem ao campo da ciência denominado Físico-química das interfaces (BALTAR, 2021; CHAVES et al, 2009). A flotação direta se dá quando os minerais de interesse

são concentrados nas espumas e retirados nesta, enquanto os minerais de ganga acompanham o fluxo descendente da polpa até a base do equipamento. Já a flotação reversa ocorre quando os minerais de ganga são concentrados e retirados pela espuma, enquanto os minerais de interesse permanecem na polpa e seguem o fluxo inferior do equipamento (CHAVES et al, 2018).

No Brasil, a flotação é o processo de concentração mais comum utilizado pela indústria mineral, tanto em quantidade de minérios processados, quanto na diversidade de aplicações. Tal técnica desempenha um importante papel no crescimento e desenvolvimento tecnológico do setor mineral do país, especialmente na cadeia produtiva de concentrados fosfáticos para a formulação de fertilizantes. Para Moraes e colaboradores (2015), corroborado por Souza (2019), através da flotação é possível cada vez mais a viabilidade técnica e econômica de diferentes tipologias consideradas complexas de minérios fosfatados. Ambos relatam em seus estudos que a flotação direta é amplamente utilizada na indústria minerária do fosfato, para produzir os concentrados de apatitas com conteúdo de P_2O_5 superior a 35%, MgO abaixo de 1% e relação CaO/P_2O_5 inferior a 1,5.

Segundo Peres e colaboradores (2012), para que sejam concentrados os minerais de interesse, três requisitos básicos devem ser levados em conta, sendo estes a liberabilidade, diferenciabilidade e separabilidade dinâmica. A liberação pode ser obtida através das operações de fragmentação, britagem e a moagem, intercaladas com a classificação por tamanho. A separabilidade dinâmica está intimamente ligada aos equipamentos utilizados. As máquinas de flotação e seus mecanismos de funcionamento capazes de manter a polpa em suspensão, favorecem a interação das partículas com um fluxo ascendente de

ar em forma de bolhas (apolar). As partículas apolares se diferenciam das polares, pois não possuem diferenças de eletronegatividade entre átomos. Quando em contato com as bolhas de ar, as partículas apolares tendem a se aderir a estas. Por outro lado, partículas de caráter polar tendem a interagir com a água e ficar na suspensão.

De acordo com Amorim (2013), para que o processo de flotação ocorra de fato e que seja seletivo, as diferenças de molhabilidade (hidrofobicidade) dos minerais devem estar em um grau muito bem pronunciado. Poucos minerais possuem superfície hidrofóbicas naturais, como a grafita (C), molibdenita (MoS_2), talco ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), pirofilita ($\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), ouro nativo (Au) livre de prata e alguns carvões (C). Estes, em contato com a água, apresentam baixa molhabilidade. Já os minerais de superfície hidrofílica, que constituem a maior parte dos minerais conhecidos, possuem elevada afinidade com a água, ou seja, alta molhabilidade, como é o caso dos minerais constituintes dos minérios fosfáticos.

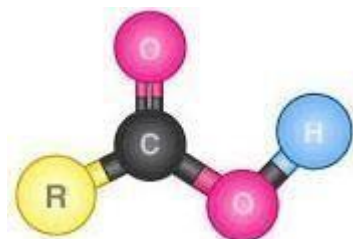
2.2 Coletores graxos

Para que seja possível a separação das apatitas e minerais de ganga presentes nos minérios fosfatados de origem ígnea, via processo de flotação por espumas, é necessário que se faça a mudança de caráter superficial destas, utilizando-se de ácidos graxos saponificados como coletores. Tais ácidos, em condições específicas de pH, concentração e tempo de condicionamento, realizam a adsorção química por meio da precipitação de um sal derivado do mesmo na superfície do mineral apatita pelo processo de quimo-sorção (CHAVES, 2009).

Os ácidos graxos podem ser extraídos de óleos vegetais e empregados como coletores em sistemas de flotação, na forma de carboxilatos, possuindo diferentes tamanhos de cadeia carbônica e graus de saturação (BALTAR, 2021; CHAVES, 2009). Conforme Baltar (2021), os ácidos carboxílicos são caracterizados pela presença do grupo carboxila ($-\text{COOH}$) em uma cadeia carbônica, substituindo um átomo de hidrogênio. Logo, esses ácidos

caracterizam pela fórmula geral RCOOH (Figura 5).

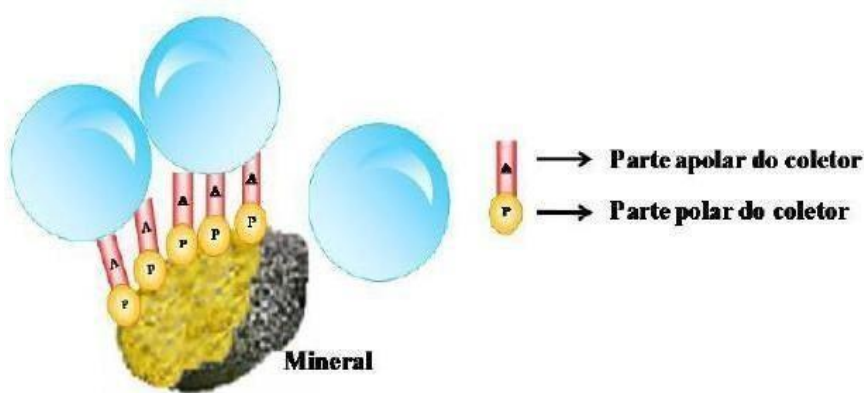
Figura 5 - Fórmula geral carboxila



Fonte: (Google 2024)

O radical da cadeia R representa a parte hidrocarbônica, a qual é responsável pela hidrofobização induzida das partículas minerais, ao passo que o grupo carboxila ($-\text{COO}-$), de natureza hidrofílica, é solidofílica, sendo responsável por promover a solubilidade do reagente na água. Logo, a adsorção fica a cargo do grupo carboxila, enquanto a adesão da bolha-mineral depende da parte hidrocarbônica da molécula (Figura 6).

Figura 6 - Interação bolha- partícula.



Fonte: (CARNEIRO 2018)

As principais fontes dos ácidos carboxílicos são as gorduras derivadas de vegetais e gorduras animais, geralmente insolúveis em água. Em temperatura ambiente (25°C), essas fontes podem apresentar-se como líquidos

pastosos ou sólidos. Suas estruturas correspondem a ésteres, formados a partir de reações de ácidos carboxílicos juntamente com o álcool glicerol (MATA, 2019). Caso essas gorduras sejam submetidas a hidrólise em meio ácido, pode se produzir o próprio ácido carboxílico, água e glicerina. Por outro lado, havendo a hidrólise em meio alcalino, se produzirá os chamados sais graxos (sabões), além de glicerina e água (CHAVES *et al*, 2018; BALTAR, 2021; MATA, 2019).

Os ácidos carboxílicos, se diferem a depender do número de carbonos e tipos de ligações entre eles. Ácidos saturados são aqueles que apresentam em sua cadeia hidrocarbônica linearidade e apenas ligações simples entre os carbonos. Ainda, possuem tendência ao estado sólido a temperatura ambiente e baixa solubilidade em água e elevado ponto de fusão. Já os ácidos insaturados são os que possuem cadeias hidrocarbônicas com uma curvatura em cada ponto de insaturação. Estes, por sua vez, possuem menores contatos intermoleculares, pontos de fusão mais baixos, logo, tendência de se apresentarem na forma líquida em temperatura ambiente (CHAVES *et al*, 2018; BALTAR, 2021; MATA, 2019).

Moléculas de cadeias maiores apresentam maior hidrofobicidade, proporcionando maior estabilidade do composto formado na superfície mineral. O aumento do tamanho da cadeia favorece o poder de coleta do reagente. Todavia, a concentração micelar crítica (CMC) e a solubilidade diminuem (Tabela 1). Os ácidos de cadeias mais curtas, de 1 a 5 carbonos, possuem por boa solubilidade em água (Tabela 2).

Tabela 1- Concentração micelar crítica (CMC) de ácido graxos á temperatura ambiente, em função do número de carbonos

Número de C	CMC (mol/L)
10	$9,4 \times 10^{-2}$
12	$2,6 \times 10^{-2}$
14	$6,9 \times 10^{-3}$
16	$2,1 \times 10^{-3}$
18	$1,8 \times 10^{-3}$

Fonte: Adaptado de (BALTAR, 2021).

Os ácidos graxos e seus sais tem sido amplamente utilizado como coletores de minerais semi-solúveis como as apatitas, calcitas e fluoritas (CHAVES et al, 2009). O oleato de sódio (sal derivado do ácido oleico) é um bom exemplo de coletor empregado para essa categoria, o qual possui cadeia hidrocarbônica de 17 carbonos com uma insaturação. O grupo (COO-) tende a interagir fortemente com a superfície dos metais alcalinos terrosos presentes na superfície da partícula.

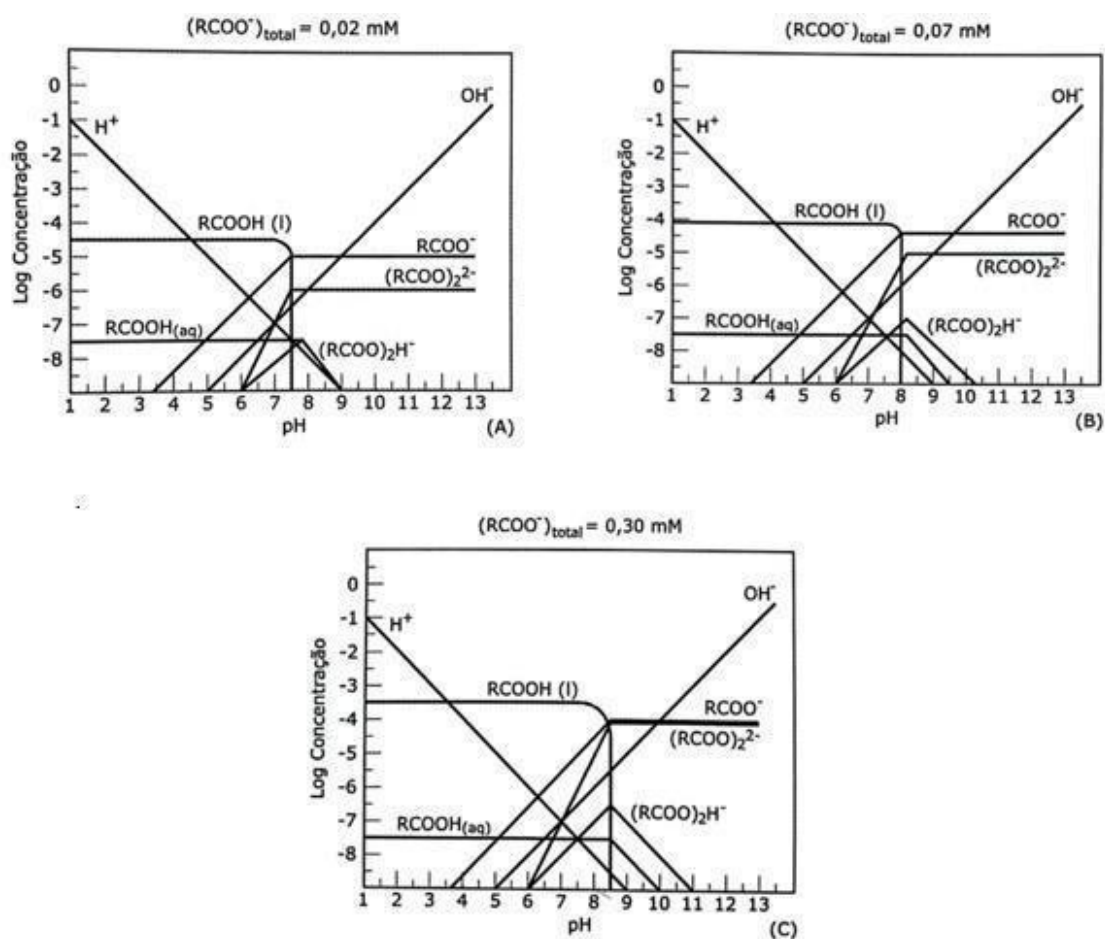
Uma variável de grande importância é do pH do meio, que afeta a especiação dos ácidos carboxílicos. Essa variável impacta diretamente na ação e distribuição das espécies do coletor em solução. Em pH alcalino, predominam espécies aniônicas e em meios ácidos, espécies moleculares neutras derivadas do reagente (Figura 7).

Tabela 2 - Solubilidade de ácidos graxos saturados, em água frente ao número de carbonos na cadeia.

Ácido	Número de C	Solubilidade (g/100g de água) a 20°C
Fórmico	1	infinita
Acético	2	infinita
Propiônico	3	infinita
Burítico	4	infinita
Valérico	5	3,7
Capróico	6	0,968
Enântico	7	0,244
Caprílico	8	0,068
Pelargônico	9	0,026
Cáprico	10	0,015
Undecílico	11	0,0093
Láurico	12	0,0055
Tridecanóico	13	0,0033
Mirístico	14	0,0020
Pentadecanoico	15	0,0012
Palmítico	16	0,00072
Margárico	17	0,00042

Fonte: Adaptado de (BALTAR, 2021; FALCONE, 1960).

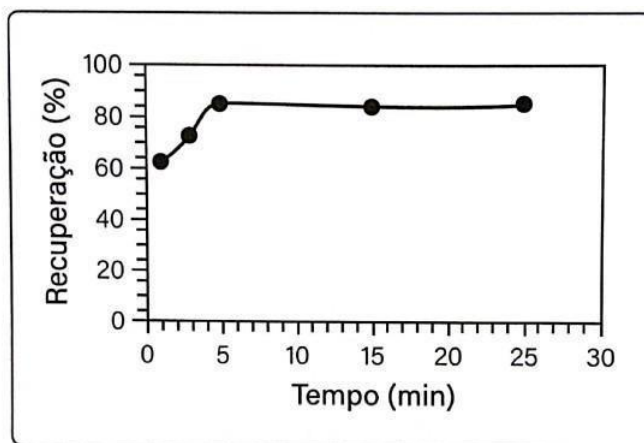
Figura 7 - Diagrama de distribuição das espécies do oleato de sódio em função do pH, para diferentes concentrações



Fonte: Adaptado de (PUGH & STENIUS, 1985)

Outra variável importante é o tempo de condicionamento, parâmetro primordial para a flotação com coletores carboxilatos. Caso não haja tempo suficiente para que ocorra a interação do reagente sobre as partículas, não haverá a formação do sal hidrofóbico na superfície mineral, prejudicando a hidrofobização da superfície do mineral. Sendo satisfatório o tempo de condicionamento, ocorre a formação da monocamada (adsorção), a qual pode progredir com a deposição de precipitados do precipitado formado na interface sólido-líquido (BALTAR, 2021; HU et al, 1986; HORTA et al, 2016). O tempo de condicionamento do coletor pode influenciar diretamente nos resultados da flotação, como a recuperação do mineral útil (Figura 8).

Figura 8 - Influência do tempo de condicionamento do oleato de sódio na recuperação da Barita, em pH 7.



Adaptado de (BALTAR & ALMEIDA, 2002)

Segundo Baltar (2021), os coletores carboxílicos possuem grande afinidade aos metais alcalinos terrosos (Ca^+ , Mg^+ , Ba^+ , e Sr^+ com os quais, a depender da faixa de pH, podem formar compostos praticamente insolúveis. Em um possível cenário de flotação de apatita, derivada de um minério rico em contaminantes, de composição associada a esses elementos, a seletividade do reagente pode ser comprometida. Por outro lado, os usos de reagentes modificadores podem ser introduzidos na polpa mineral, antes do coletor, para realizar a hidratação da superfície dos minerais contaminantes e a depressão do mesmo, assim corroborando para uma melhor seletividade do agente coletor (CHAVES et al, 2009).

2.3 Depressores

Os depressores são agentes modificadores de origem orgânica ou inorgânica. Os depressores orgânicos são compostos por polímeros, sendo amplamente utilizados na flotação de minérios fosfáticos com o objetivo de se promover ao sistema maior seletividade, pois as apatitas e os carbonatos, em interação com os ácidos carboxílicos, demonstram comportamentos semelhantes. Os modificadores tendem a adsorverem na superfície dos

minerais como macromoléculas dotadas de grande quantidade de grupos hidrofílicos, que impedem a flotação do mineral adsorvido.

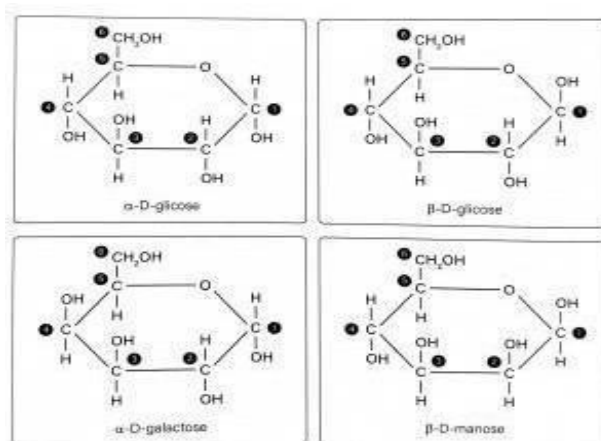
Segundo Chaves e colaboradores (2009), os modificadores atuam na flotação de minerais, em quatro mecanismos principais, sendo estes a atuação direta sobre a superfície do mineral, modificando a carga de superfície e a capacidade de adsorção; formação de camada hidrofílica, promovendo a redução da adsorção do coletor; ação sobre a química da polpa de flotação e sobre o processo de formação das espumas na flotação.

Os depressores são usados na indústria de beneficiamento do minério fosfático, em sua grande maioria, com ação sobre os minerais de ganga presentes no minério, os quais não apresentam interesse econômicos. Os depressores inorgânicos se sobressaem sobre os orgânicos, em relação ao desempenho. Porém, os de origem orgânica possuem vantagens como baixo preço, não toxidade e resistência a oxidação e, por isso, são amplamente empregados na indústria mineral (BALTAR, 2021).

Os depressores orgânicos podem ser divididos em duas famílias de reagentes, sendo estas, polissacarídeos e polifenóis. Os polissacarídeos são compostos orgânicos naturais derivados de fontes vegetais, na forma de macromoléculas, formadas a partir da desidratação e associação de moléculas de açúcar (glicose, manose ou galactomanana). Uma característica comum entre os vários polissacarídeos existentes é o elevado peso molecular (BALTAR, 2021).

As macromoléculas desses agentes apresentam enormes quantidades de grupos polares, os quais possuem forte caráter hidrofílico, atraindo para a superfície do mineral uma grande quantidade de moléculas de água. Quanto a suas estruturas adjacentes formam cadeias cíclicas hexagonais, formadas por cinco átomos de carbono e um de oxigênio (Figura 9).

Figura 9 - Moléculas de açúcar (glicose, galactose e manose).



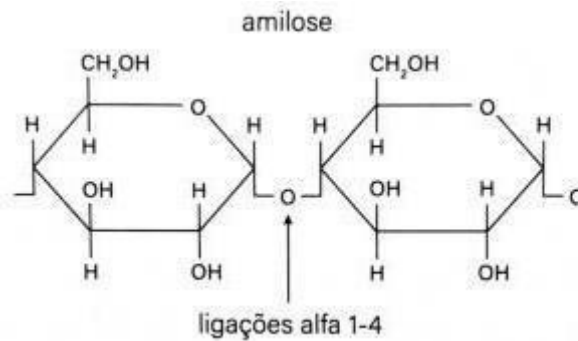
Fonte: Adaptado de (BALTAR, 2021)

A partir dessas moléculas de glicose são produzidos três importantes depressores utilizados na flotação. O amido, forma mais simples da dextrina, o carboximetilcelulose (CMC), forma modificada da celulose e a goma guar. Tais polissacarídeos são poderosos depressores para uma grande variedade de minerais semi-solúveis, como é o caso dos minerais contaminantes dos minérios apatíticos (HANNA; SOMASUNDARAN, 1976).

Para Baltar (2021), a adsorção dos depressores orgânicos na superfície dos minerais, podem ocorrer de duas maneiras principais, por complexação química e ou ligações de hidrogênio. Na complexação química, ocorre a formação de um complexo químico entre os grupos hidroxilas das posições C-2 e C-3 do monômero de açúcar e espécies metálicas-hidroxiladas presentes na superfície do mineral. Já a adsorção por ligações de hidrogênio, ocorrem entre os grupos hidroxilas da macromolécula e os átomos de oxigênio da superfície mineral.

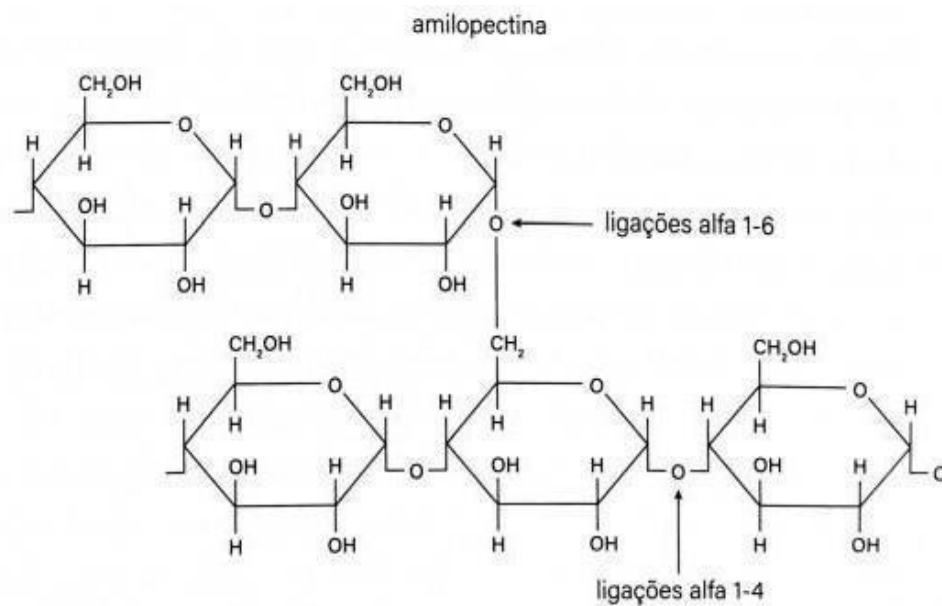
O amido corresponde a uma mistura de dois polímeros com a mesma composição química (C₆H₁₀O₅). O mesmo é constituído de amilose (20 a 30%), com cadeia linear, resultante do processo de polimerização via ligações C1-C-4 e a amilopectina (70 a 80%), de cadeia ramificada, resultante de ligações C1-C-4 e C1-C-6. Ambas são representadas nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 - Estrutura da amilose



Fonte: Adaptado de (BALTAR, 2021)

Figura 11 - Estrutura da amilopectina



Fonte: Adaptado de (BALTAR, 2021)

Para que seja possível a utilização do amido na flotação, o mesmo deve passar pelo processo de gelatinização, pois em sua forma natural se apresenta como grânulos cristalinos praticamente insolúveis em água a temperatura ambiente. Tal processo de gelatinização se resume na adição de hidróxido de sódio ou potássico, em solução aquosa de amido, em granulometria adequada,

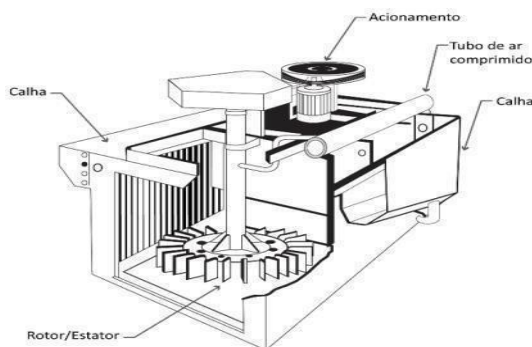
sob agitação. Tendo como principais variáveis, a temperatura, concentrações das bases e o grau de agitação (BALTAR, 2021; CARNEIRO, 2018).

Além dos depressores, os modificadores denominados como reguladores de pH são reagentes responsáveis pela criação de um ambiente favorável a separação dos minerais. Estes interagem diretamente com as substâncias e partículas inseridas no meio. Na maioria dos casos, os reagentes mais utilizados para realizar a tarefa de reduzir o pH na flotação, aumentando a quantidade de H^+ na solução, são os ácidos sulfúrico, clorídrico, nítrico e fluossilícico. Por outro lado, os mais usados para elevar o pH e, aumentando quantidade de OH^- no meio, são as de caráter básico, como óxido de cálcio, hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio e hidróxido de potássio (OLIVEIRA, 2004; CARNEIRO, 2018; BALTAR, 2021; SOUZA, 2023).

2.4 Equipamento de flotação

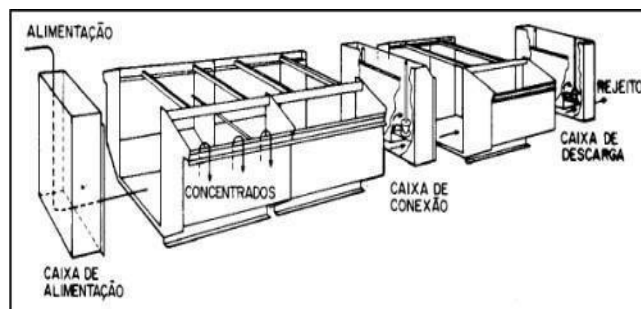
Equipamentos de flotação são tanques projetados e desenvolvidos para receber a polpa mineral, devidamente condicionada com reagentes e em condições específicas de processo. Nos tanques denominados células, a polpa é alimentada em uma das faces laterais e descarregada pelo lado oposto. As células podem ser usadas individualmente ou em forma de bancos agrupados (Figura 12 e Figura 13).

Figura 12 - Máquina de flotação (Modelo Galigher).



Fonte: Adaptado de (CHAVES et al, 2010)

Figura 13 - Arranjo de células de Flotação



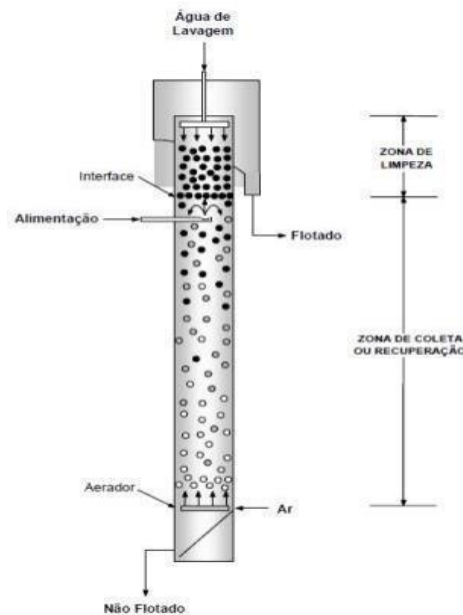
Fonte: Adaptado de (CHAVES et al, 2018)

Cada célula é dotada de um motor associado a estator e impelidor, os quais são responsáveis por proporcionarem a agitação da polpa e a quebra das bolhas de ar dentro do equipamento. O movimento de rotação do rotor tende a gerar uma pressão negativa na região, gerando a aspiração do ar ambiente. Em muitos modelos tal pressão é suficiente para atender a demanda do sistema, porém em outros casos, esse ar é proveniente de sopradores e compressores dedicados.

Com o passar do tempo, surgiram variações das células de flotação convencionais, a chamada coluna de flotação. Esta foi patenteada desde 1919 por M. Town e S. Flynn, que a desenvolveram, em forma de um tanque cilíndrico em que era possível se aplicar a polpa previamente condicionada com reagentes em fluxo descendente, em contra corrente a um fluxo ascendente de bolhas de ar. Sua primeira implantação de forma industrial foi no Canadá no ano 1981, em etapa de limpeza de concentrado de molibdenita, substituindo um banco de células mecânicas convencionais.

As colunas de flotação diferem das células de flotação, principalmente na geometria (altura e diâmetro), presença de sistema de água de lavagem da espuma, ausência de agitação via motorização, além do emprego de sistemas de geração de bolhas dedicados e específicos. O esquema mostrado na Figura 14 destaca os pontos mais importantes das colunas.

Figura 14 - Esquema básico
"Coluna de flotação"



Fonte: Adaptado de (SILVA, 2024)

2.5 Conceitos de planejamento fatorial completo

No campo da estatística, o planejamento de experimentos, visa organizar, detalhar e definir um plano estratégico para a execução propriamente dita de uma prática de experimentos, com o objetivo em garantir a confiabilidade das conclusões objetivas. Tal ferramenta se baseia em conceitos diversos, como randomização, blocagem, replicação, abordagem fatorial e análise de variância. Essa metodologia pode ser aplicada nas mais diversas áreas de estudo, sendo frequentemente aplicado na engenharia e medicina (SOUZA, 2023; SANTOS, 2024).

A aplicação da metodologia de planejamento de experimentos segue uma série de etapas estruturadas. Inicialmente, são definidos os problemas e os objetivos do estudo experimental. Em seguida, são selecionadas as variáveis de resposta, assim como os fatores e seus respectivos níveis (configurações dos parâmetros do processo), de acordo com o propósito do estudo (SANTOS, 2024). Depois disso, escolhe-se um desenho experimental, que corresponde ao conjunto de experimentos planejados levando em conta o número de fatores, níveis, repetições, blocos, randomização e a inclusão de um modelo empírico. A etapa seguinte envolve a execução dos experimentos conforme definido pelo

desenho experimental. Em muitos casos, é recomendável que se realize alguns testes preliminares para assegurar que a faixa de fatores selecionada seja apropriada (SANTOS, 2024).

3. METODOLOGIA

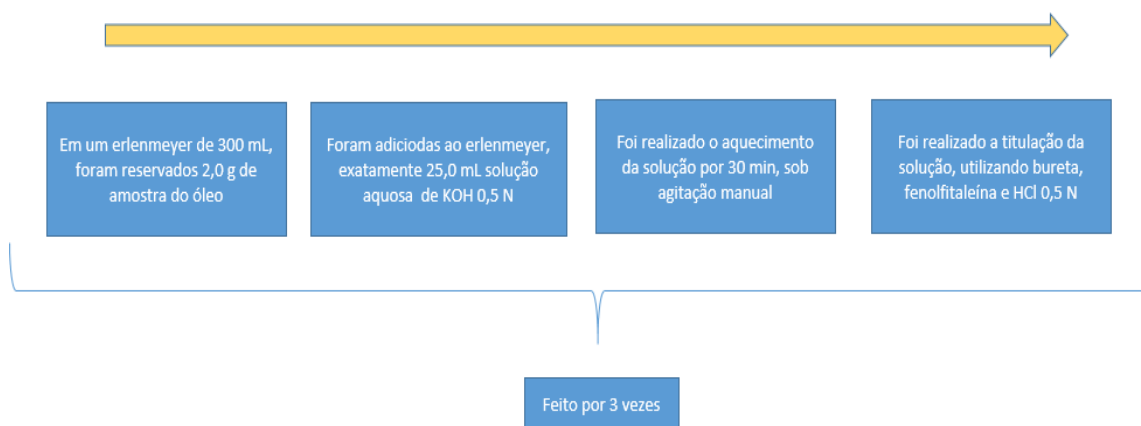
Os tópicos desenvolvidos nesta seção foram previamente definidos, para se manter uma sequência lógica ao caráter investigativo do trabalho. Todas as etapas do trabalho, foram realizadas nos laboratórios do CEFET/MG (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais) Unidade Araxá, com exceção das análises químicas das amostras, inicial e concentrados e rejeitos que foram analisadas no Laboratório de Caracterização do Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), localizada em Belo Horizonte (MG).

3.1 Caracterização do óleo

Baseado na metodologia de determinação do índice de óleos de sementes, formulado pelo Instituto de Biociências (IB) da Universidade Estadual de São Paulo (USP), disponível em www.ib.usp.br, foi realizado o índice de saponificação do óleo (IS) da semente do maracujá.

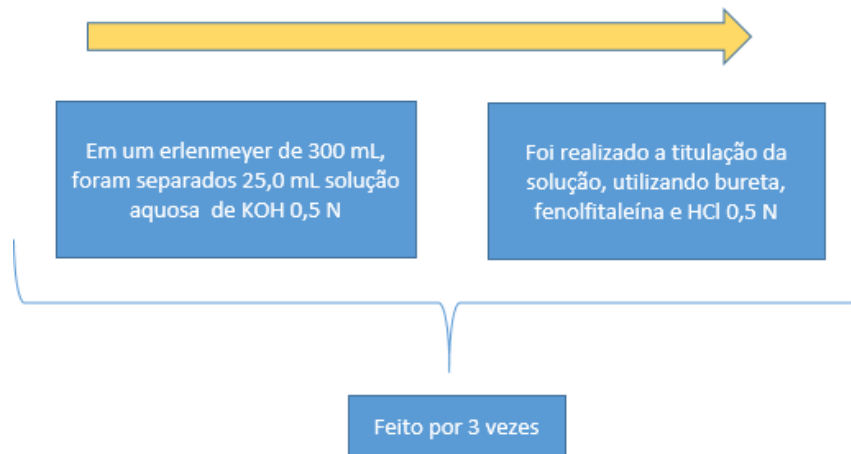
Através desse indicador, é possível obter informações sobre o comprimento médio das cadeias carbônicas presentes nos ácidos graxos constituintes. Nas Figuras 15 e 16 abaixo, seguem apresentados os passos e a metodologia, para a determinação desse índice de saponificação (IS) do óleo usado.

Figura 15 - Método para determinar o índice de saponificação



Fonte: Próprio autor

Figura 16 - Metodologia utilizada para determinação do teste em branco



Fonte: Próprio autor

Ao todo, foram realizados três testes para a amostra graxa e três testes para o branco. Quanto aos cálculos para se determinar o IS propriamente dito, foi utilizado a seguinte expressão:

$$IS = (28,05 * (A * fc - B * fc))/m$$

em que, “A” representa o volume de HCl gasto no ensaio em branco, “B” representa o volume de HCl gasto na titulação da amostra, “m” a massa exata da amostra em gramas e o “fc” o fator de correção da solução de HCl usada.

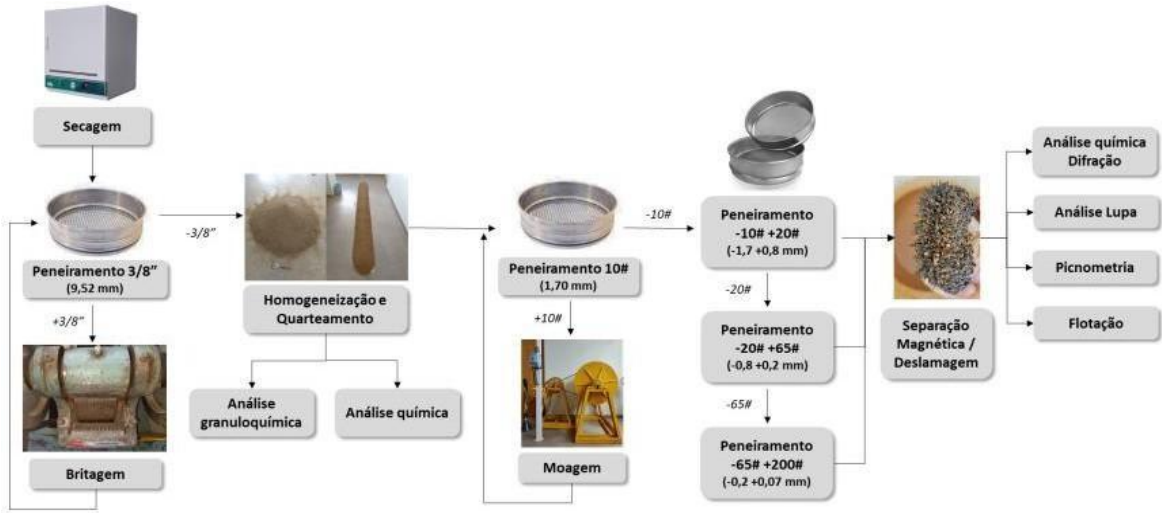
3.2 Preparação do minério

As amostras utilizadas foram previamente preparadas por Carneiro (2022). Tal minério foi coletado em uma mina localizada em Patrocínio (MG). Esse material foi submetido a inúmeras etapas de preparação, as quais são mostradas na figura 17 e 18.

A fração utilizada se encontrava na especificação de (-65# +200#) ou (-0,212mm + 0,074mm) homogeneizadas e separadas em sacos com 500g cada (CARNEIRO, 2022). A figura 19 mostra os passos utilizados para a retirada de quatro alíquotas desse minério (alimentação), destinadas às análises químicas de fluorescência de raios-x (FLX) a serem realizados no laboratório de

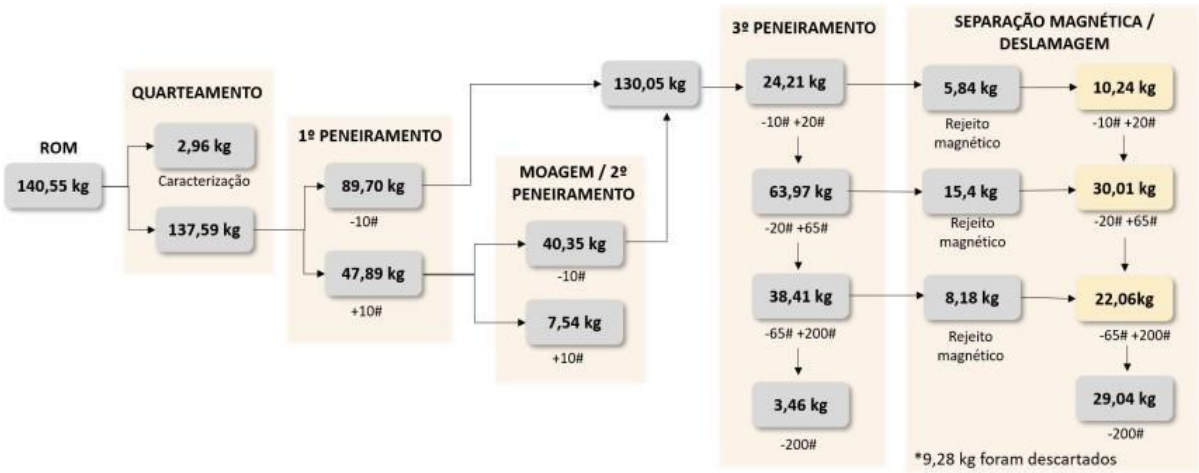
tratamento de minérios da UFMG e aos tetes de densidade via picnometria a gás, a serem feitos no laboratório de tratamento de minérios do CEFET-MG.

Figura 17 - Fluxograma das etapas de preparação da amostra total



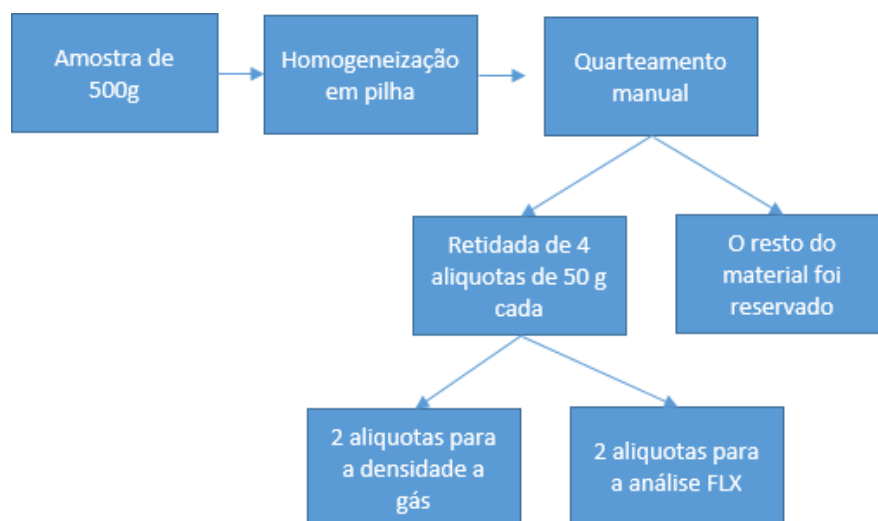
Fonte: CARNEIRO, 2022

Figura 18 - Balanço das massas



Fonte: CARNEIRO, 2022

Figura 19 - Metodologia utilizada para obtenção de alíquotas do minério



Fonte: Próprio autor

3.3 Caracterização das amostras

Utilizando o equipamento de determinação de densidades de sólidos a gás, linha AD 200, de marca ACP Instruments, do Laboratório de Tratamento de Minérios (LTM) do CEFET-MG, foi realizada a determinação da densidade real do minério (Figura 20).

Figura 20 - Passos para obtenção da densidade do minério



Fonte: Próprio autor

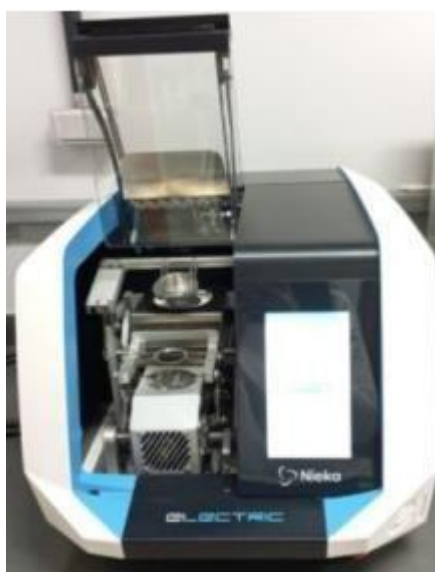
Para a realização das análises químicas, as amostras foram fundidas na máquina de fusão elétrica C1 - Nieka™ (Figura 21). A programação utilizada para o preparo das amostras está descrita na Tabela 3. A proporção amostra fundente utilizada foi 1:10, sendo o fundente da Oregon™ P0441E, composto por 66,17% de tetraborato de lítio, 33,33% de metaborato de lítio e 0,5% de iodeto de lítio.

Tabela 3 - Programação da máquina de fusão para o preparo da pastilha fundida

	Passos							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Tempo (min)	00:15	03:10	03:00	03:00	00:45	01:00	02:00	02:05
Temperatura (°C)	700	750	1250	1250	900	0	0	0
Agitação (%)	0	0	30	90:30:00	0	0	0	0
Resfriamento (%)	0	0	0	0	0	0	50	70

Fonte: Próprio autor

Figura 21 - Máquina de fusão elétrica e1 - Nieka™



Fonte: Próprio autor

As amostras foram analisadas em um espectrômetro de fluorescência de raios-X com dispersão por comprimento de onda (WDFRX) ARL™ PERFORM'X - Thermo Scientific™ modelo GEN-X 4200W, com tubo de ródio

(5GNf Rh 50 u) e manipulador X-Y automático (Figura 22). O processamento dos dados foi realizado usando o software OXSAS. Figura 22 - ARL™PERFORM'X - Thermo Scientific™

Figura 22 - ARL™ PERFORM'X - Thermo Scientific™

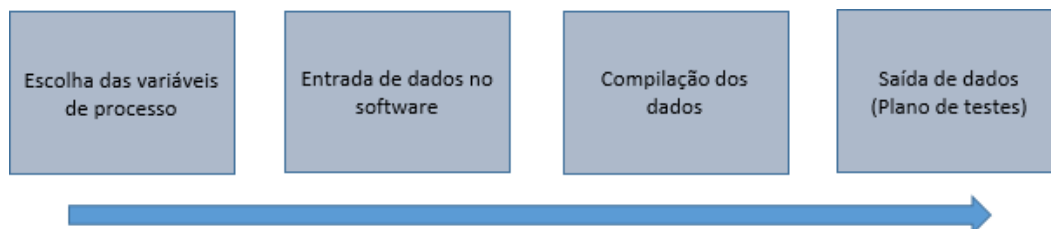


Fonte: Próprio autor

3.4 Planejamento fatorial

Utilizando um computador portátil e o software MiniTab®, devidamente licenciado, e de posse das variáveis de processo pré-determinadas, pH da polpa e dosagem de coletor, as quais foram alvo de investigação nesse trabalho, foi gerado e determinado um plano detalhado para os experimentos (Tabela 4). Os passos para se obter tal plano está descrito na Figura 23. Foram considerados quatro pontos do cubo, quatro pontos centrais do cubo e quatro pontos axiais.

Figura 23 - Passos para a obtenção do plano de experimentos



Fonte: Próprio autor

Tabela 4 - Programação dos experimentos

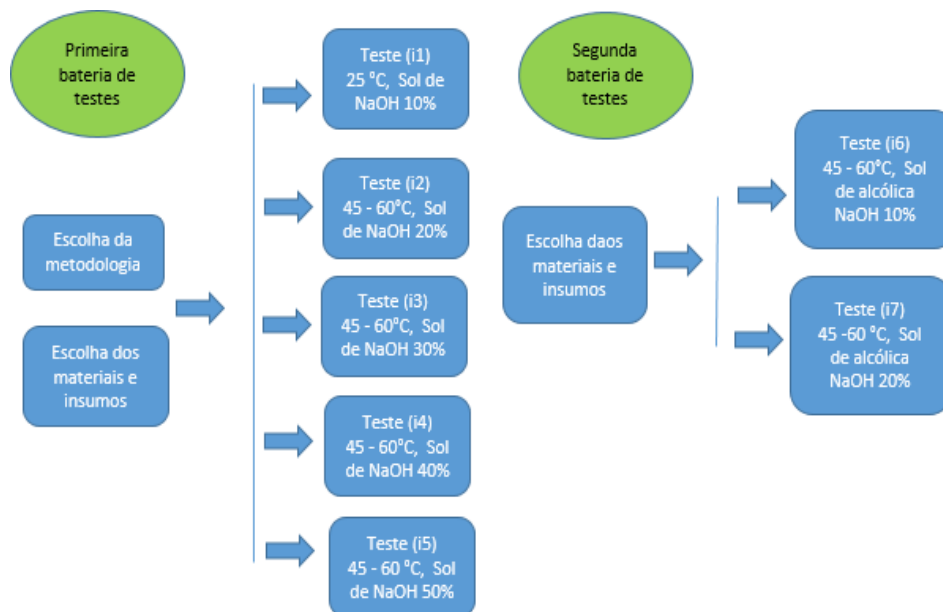
Ordem Pad	Ordem Ens	Dosagem Coletor (g/t)	p H
9	1	1000	10.5
10	2	1000	10.5
8	3	1000	11.9
1	4	800	9.5
2	5	1200	9.5
11	6	1000	10.5
4	7	1200	11.5
6	8	1282.8	10.05
3	9	800	11.5
5	10	717.2	10.5
7	11	1000	9.1
12	12	1000	10.5

Fonte: Próprio autor

3.5 Saponificação do óleo de maracujá

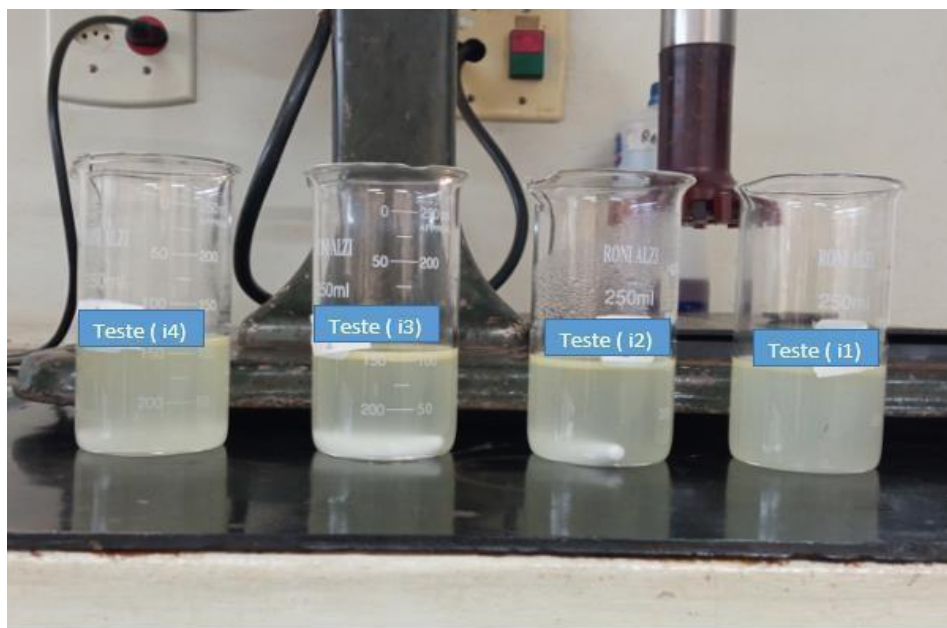
Baseado na metodologia de saponificação de óleos para o preparo de reagente coletor, para minérios fosfáticos, realizada por Oliveira e colaboradores (2020), foi executada a saponificação do óleo de maracujá (Figuras 25 e 26). Nesta metodologia, a uma temperatura ambiente, para saponificar 5g de óleo, seria necessário 7,15g de solução aquosa de NaOH (10% m/m) e 187,85g de água, divididas em duas frações, uma de 7,85g na etapa inicial de agitação e uma de 180g na etapa final (diluição), realizada também sob agitação por 10min. Os ensaios realizados para o óleo de maracujá foram feitos com apenas 2g de óleo cada e os demais insumos de forma proporcional, em relação na receita total. Ao todo, foram gerados sete exemplares para saponificação (Figura 24), cada qual proveniente de uma variação do modelo inicial adotado.

Figura 24 - Testes de saponificação do óleo de maracujá



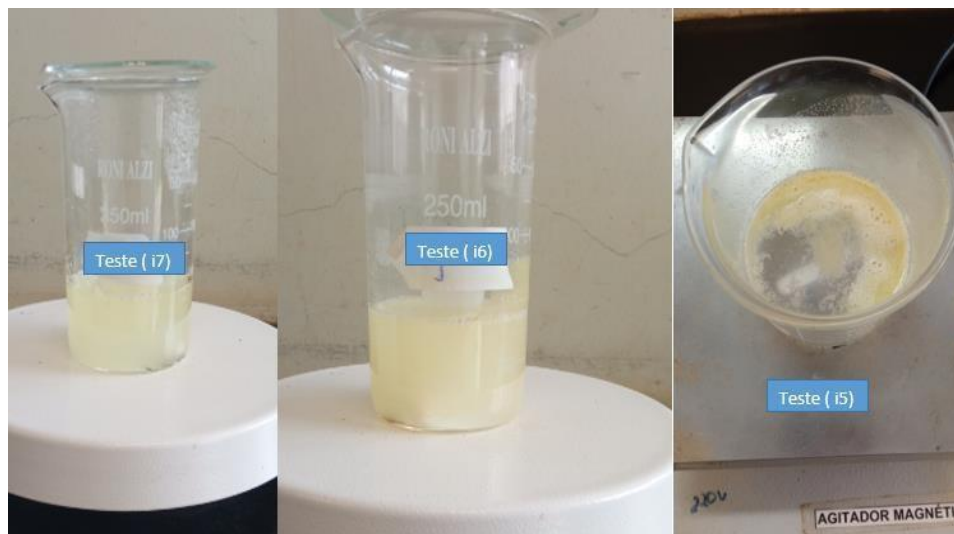
Fonte: Próprio autor

Figura 25 - Testes de saponificação do óleo de maracujá



Fonte: Próprio autor

Figura 26 - Três primeiros testes de saponificação do óleo de maracujá



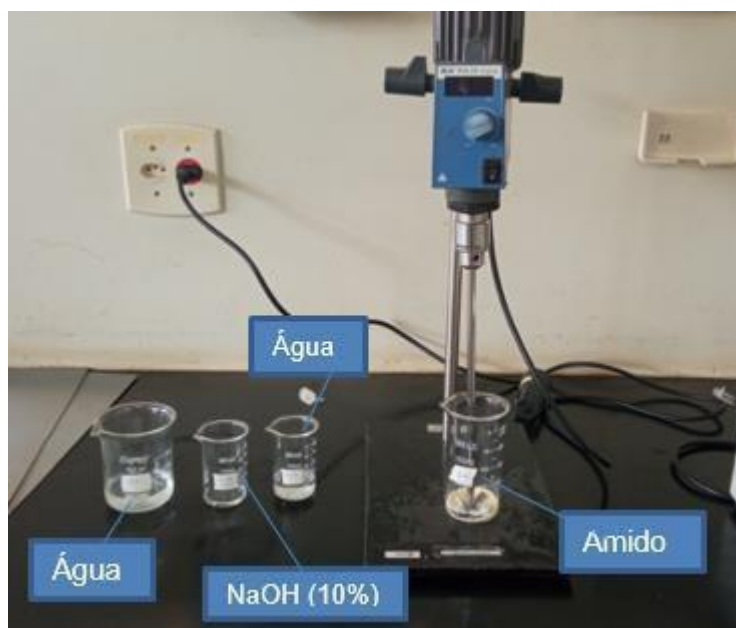
Fonte: Próprio autor

3.6 Gelatinização do amido de milho

A gelatinização do amido foi realizada com base na metodologia de produção desse reagente, utilizada por Oliveira e colaboradores (2020). Os ensaios foram feitos seguindo as mesmas diretrizes e procedimentos propostos. Nessa metodologia, para se fazer a gelatinização de 5 g de amido de milho fino, seriam necessárias 12,5g de solução de NaOH a (10% m/m) e 149,16g de água, fracionadas em duas porções, 45,0g e 104,16g respectivamente (Figura 27).

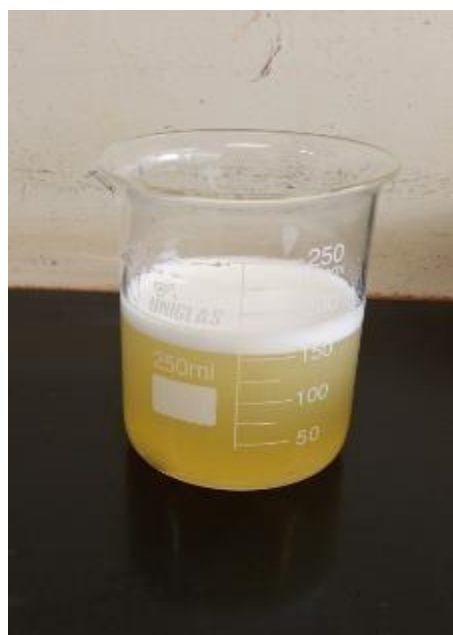
Após a mistura da água 45,0g, o amido e a soda, tal solução foi colocada sob agitação intensa por 10 min. Após os primeiros 10 min, o restante da água 104,16g foram adicionados a mistura, a qual permaneceu em agitação por mais 10 minutos (Figura 28).

Figura 27 - Preparação do depressor de amido de milho



Fonte: Próprio autor

Figura 28 - Depressor pronto para uso



Fonte: Próprio autor

3.7 Testes preliminares

Nesta etapa, foram realizados testes iniciais com todos os equipamentos e insumos, os quais foram utilizados. Foram feitas várias simulações semelhantes aos testes válidos. Através destes, os equipamentos foram avaliados quanto a suas condições de funcionamento e também quanto as condições operacionais escolhidas, como volume da cuba a ser preenchido, percentagem de sólidos no condicionamento, tempo de condicionamento do depressor, tempo de condicionamento do coletor, velocidade de agitação e vazão de ar.

Para os testes, foram utilizados os seguintes equipamentos: célula de flotação CDC, de modelo CFB-1000 EEPNBA, da série CFB, uma cuba metálica de volume útil de 1,3 litros, sob agitação, um pHmetro portátil do modelo Edge, da marca HANNA, uma cuba metálica para recebimento do material flotado. Além desses, foi utilizado também algumas provetas, picetas e pipetas (Figura 29).

Figura 29 - Equipamentos utilizados nos testes de flotação



Fonte: Próprio autor

3.8 Ensaios de flotação

Os testes de flotação foram realizados, segundo o planejamento fatorial obtido e as condições operacionais definidas. Em tal plano, foi gerado uma programação de 12 testes, com variadas faixas de pH associadas a variadas dosagens do coletor escolhido (i7). Nas Tabelas 4, 5 e 6 são descritas as condições operacionais utilizadas em todos os ensaios.

Tabela 5 - Relação das variáveis utilizadas na flotação

FLOTAÇÃO	
Porcentagem de sólidos (%)	30
Massa de sólidos (g)	500
Volume de água (ml)	521,67
Volume de polpa (ml)	1300
Densidade de polpa (g/cm ³)	1,25

Fonte: Próprio autor

Tabela 6 - Relação das variáveis utilizadas no condicionamento

CONDICIONAMENTO	
Porcentagem de sólidos (%)	45
Massa de sólidos (g)	500
Volume de água (ml)	611,1
Volume de polpa (ml)	1111,1
Densidade de polpa (g/cm ³)	1,43

Fonte: Próprio autor

Tabela 7 - Relação das condições fixas utilizadas

CONDIÇÕES FIXAS	
Rotação do rotor (rpm)	1000
Vazão de ar (L/min)	6
Depressor (g/t)	400
Condicionamento com depressor (min)	5
Condicionamento com coletor (min)	5
Tempo de flotação	-

Fonte: Próprio autor

3.9 Preparação dos produtos

Todos os produtos gerados durante os testes (concentrados e rejeitos) passaram por secagem em estufa elétrica, por 48 horas a 95°C, foram pesados em balança de precisão (Figura 30). Posteriormente, estes materiais foram submetidos a etapa de homogeneização, quarteamento e pulverização automática. Após a realização de tais procedimentos, os produtos foram identificados e enviados para a análise química.

Figura 30 - Pesagem de concentrado



Fonte: Próprio autor

Figura 31 - Pilha de rejeito



Fonte: Próprio autor

Figura 33 - Amostra de rejeito a ser pulverizada.



Fonte: Próprio autor

Figura 32 - Pulverizador automático.



Fonte: Próprio autor

4. REAULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, seguem apresentados os resultados relacionados à caracterização das amostras, graxa e minerais, da alimentação e produtos resultantes dos ensaios de flotação. Além disso, resultados relacionados às variáveis estudadas e os desempenhos das recuperações mássicas, metalúrgicas e os teores gerados, a partir de análise estatística.

4.1 Caracterização do óleo

A Tabela 8 exibe os resultados obtidos para os três testes individuais e a média do índice de saponificação (IS) do óleo da semente do maracujá. Tais dados indicam um consumo de 9,23mg KOH/g de óleo.

Tabela 8 - Resultados do índice de saponificação

TST-IS- 01		TST-IS-02		TST-IS-03	
A	16.26	A	16.26	A	16.26
B	15.5	B	15.7	B	15.6
m	2.005	m	2.003	m	2.006
f _c	1	f _c	1	f _c	1
IS	10.6324	IS	7.8422	IS	9.2288

IS médio	9.23
----------	------

Fonte: Próprio autor

Dados disponíveis na literatura (Tabelas 9 e 10), levantados a critério de comparação, mostram entre si, valores bem próximos para o (IS), indicando que o índice pode estar entre 170 e 190mgKOH/g de óleo, chegando até 190 mg. No estudo apresentado por Silva (2018), o índice de saponificação também apresentou valores próximos aos dos dados comparativos. Logo, corroboram com a premissa de que os valores citados estão, de fato, coerentes e confiáveis.

Tabela 9 - Características dos óleos vegetais

ÍNDICE				
ÓLEOS	ACIDEZ (mg KOH/g)	ODO (mg iodo/g)	SAPONIFICAÇÃO (mg KOH/g)	ESTER (%)
BURITI	6.5	75	196	93.5
MARACUJA	1	110	198	99
INAIÁ	2.8	63	212	97.4
CASTANHA	1	67	205	99
ANDIROBA	15	54	197	85.8
AÇAÍ	10.2	70	198	90.2

Fonte: (COSTA, 2012)

Tabela 10 - Características do óleo de maracujá.

DADOS FÍSICO QUÍMICOS DO ÓLEO DE MARACUJÁ		
CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	ESPECIFICAÇÃO
Aparência	-	Líquido
Cor	-	Amarelo
Odor	-	Característico
Índice de acidez	mg KOH/g	< 20.0
Índice de peróxido	meq O2/Kg	< 15.0
Índice de iodo	gl2/100g	130 - 150
Índice de saponifica	mg KOH/g	170 - 190
Densidade	g/ml	0.921 - 0.998

Fonte: Amazon Oil (2024)

Por outro lado, pode se verificar uma grande divergência entre os valores obtidos neste estudo e os valores dispostos na literatura. Tal ocorrência pode ser justificada, pelo fato de que, ambos os valores foram obtidos a partir de metodologias diferentes. Outra explicação plausível, para a diferença é que erros podem ter ocorrido durante a execução dos testes práticos.

4.2 Caracterização das amostras

Na tabela 11, são apresentados os resultados obtidos para a análise da densidade a gás.

Tabela 11 - Resultados das análises de densidade do minério, via picnometria a gás.

DENSIDADE A GÁS	
Teste -01	2.99
Teste -02	2.97
Teste -03	2.99
Média	2.99

Fonte: Próprio autor

Seguem indicados na Tabela 12, ao resultado para a análise química da amostra de alimentação. Verifica-se que essa amostra apresenta valores altos para SiO₂, CaO, P₂O₅, MgO e Fe₂O₃. Os teores encontrados para a apatita (12,46% P₂O₅), quando comparadas as referências apresentadas por Silva (2018), garantem que esse material apresenta composição típica de minério fosfático de origem ígnea de alto teor.

Tabela 12 - Resultados da análise química da alimentação.

ANÁLISE QUÍMICA DA ALIMENTAÇÃO										
Al ₂ O ₃	BaO	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO ₂	Nb ₂ O ₅	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂
-5.006	7.324	24.8682	8.923	0.2173	12.3557	0.335	5.216	12.4664	26.8261	4.5792

Fonte: Próprio autor

Os dados apresentados na Tabela 13, mostram os valores das composições químicas encontradas para os concentrados obtidos nos testes. A partir dos dados das análises químicas apresentadas para as amostras de alimentação e concentrados, observa que em relação ao material inicial, houve um aumento significativo nos teores de P₂O₅ e de CaO nos concentrados, exceto nos testes Conc T4, T6 e T10. Ainda, foi observada também uma diminuição dos teores de SiO₂ para todos os resultados analisados. Tais informações mostram que as condições operacionais avaliadas culminaram em impactos representativos, de caráter positivo, sobre concentração da amostra de minério fosfático avaliada, via flotação direta, a partir do emprego de óleo de

maracujá saponificado como coletor.

Tabela 13 - Composição química dos concentrados

ANÁLISE QUÍMICA DOS CONCENTRADOS											
	Al ₂ O ₃	BaO	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO ₂	Nb ₂ O ₅	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂
Conc T1	-5.29	6.91	39.13	5.36	0.17	7.07	0.18	5.22	23.18	11.45	0.90
Conc T2	-4.71	7.50	26.22	10.69	0.27	11.02	0.36	4.19	14.12	18.05	1.25
Conc T3	-5.32	6.96	40.57	5.07	0.16	6.36	0.17	3.32	27.76	12.29	0.75
Conc T4	-4.43	7.01	23.30	12.31	0.30	12.96	0.40	4.39	10.97	19.79	1.42
Conc T5	-5.07	7.31	34.88	7.53	0.17	7.84	0.26	3.78	20.75	12.59	1.00
Conc T6	-4.93	7.39	12.57	10.45	0.21	9.45	0.34	4.60	7.33	15.71	1.21
Conc T7	-5.27	6.80	38.90	5.53	0.16	6.74	0.18	3.38	26.58	12.14	0.78
Conc T8	-5.05	6.94	33.48	8.77	0.20	8.04	0.30	3.97	20.54	13.97	1.03
Conc T9	-4.91	6.95	28.97	9.48	0.26	9.64	0.32	4.06	19.27	20.02	1.07
Conc T10	-4.92	7.21	6.76	11.30	0.19	9.20	0.38	4.96	4.12	15.93	1.39
Conc T11	-5.46	6.65	43.23	4.85	0.11	4.59	0.18	3.37	27.20	7.74	0.73
Conc T12	-4.59	7.30	23.68	11.59	0.28	12.13	0.38	4.30	13.31	19.66	1.34

Fonte: Próprio autor

4.3 Desempenho dos testes de flotação

Na tabela 14, são apresentados os desempenhos das recuperações mássicas e metalúrgicas obtidas a partir dos testes de flotação. Os testes 3 e 7 foram os que apresentaram maiores valores para ambas os indicadores, atingindo os seguintes números para recuperação em massa 3,16%, 3,28% e para recuperação metalúrgica 7,05%, 7,00% respetivamente.

Tabela 14 - Resultados das recuperações mássicas e metalúrgicas

TESTES	PH	COLETOR (g/t)	TEOR DE CONC (%)	REC MASS (%)	REC MET (%)
1	10,5	1000	23,18	1,96	3,64
2	10,5	1000	14,12	0,54	0,61
3	11,9	1000	27,76	3,16	7,05
4	9,5	800	10,97	0,92	0,81
5	9,5	1200	20,75	0,83	1,37
6	10,5	1000	7,33	0,46	0,27
7	11,5	1200	26,58	3,28	7
8	10,05	1282,8	20,54	0,86	1,41
9	11,5	800	19,27	0,86	1,33
10	10,5	717,2	4,12	0,27	0,09
11	9,1	1000	27,2	1,01	2,21
12	10,5	1000	13,31	0,59	0,63

Fonte: Próprio autor

Utilizando os valores das recuperações e os teores obtidos, realizou-se um tratamento estatístico por meio do software Minitab®, com nível de confiança de 95%. Em suma, foi realizada a análise de variância que apresenta quais os efeitos principais e interações significativas ocorreram, em relação as variáveis estudadas e os indicadores, teor de P₂O₅ e recuperações.

Tabela 15 - Análise de variância de P₂O₅ versus coletor (g/t) e pH

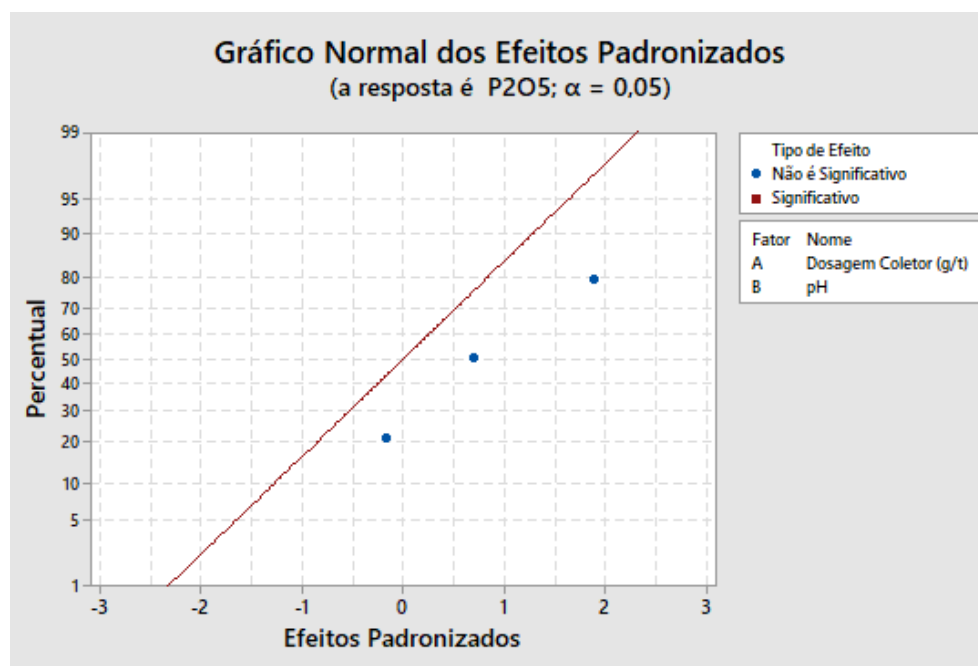
Fonte	GL	Contribuição (%)	Valor - P
Modelo	3	77.457	0.323
Linear	2	115.426	0.195
Dosagem coletor (g/t)	1	203.033	0.096
p H	1	27.82	0.505
Interação com dois fatores	1	1.519	0.874
Dosagem coletor (g/t)*p H	1	1.519	0.874
Erro	8	57.077	
Falta de ajuste	5	65.639	0.385
Erro puro	3	42.806	*
Total	11		

Fonte: Próprio autor

Na Tabela 15, referente análise de variância de reposta do teor de P₂O₅ versus a dosagem de coletor (g/t) e pH, observou-se que o modelo geral explicou 77,46 % da variação nos dados, com um valor-P de 0,323. A partir desta análise geral e a análise da percentagem da interação entre ambas variáveis citadas, as quais combinadas, atingiram um valor de 1,5% da variação total, com um valor-P de 0,874, contribuindo muito pouco para mudanças positivas no teor.

A não significância das variáveis principais evidenciadas no gráfico normal (Figura 34) podem indicar que a resposta ao teor de P₂O₅ é complexa e pode depender mais dos seus efeitos individuais, do que as interações entre si. Porém, isso significa que, para se alcançar uma separação seletiva da apatita, pode ser necessário fazer os ajustes de ambos os fatores simultaneamente, podendo gerar novas combinações e novos resultados, positivos ou não.

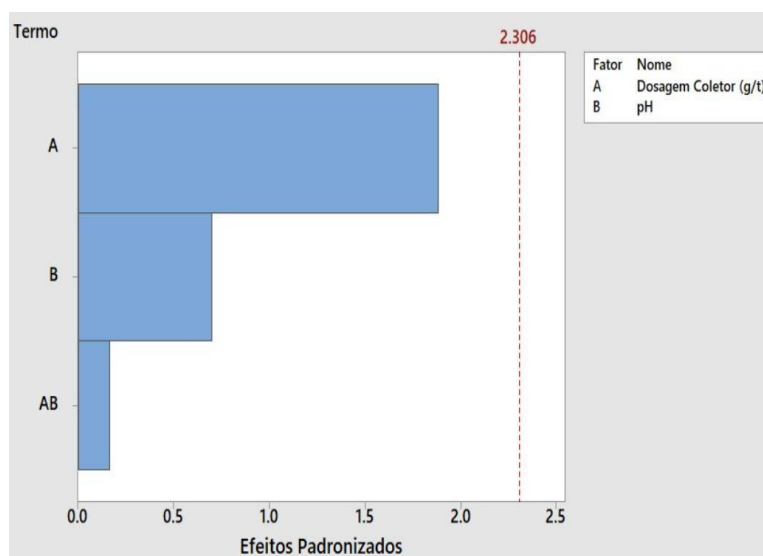
Figura 34 - Gráfico normal dos efeitos padronizados a resposta ao teor de P_2O_5 .



Fonte: Próprio autor

No gráfico de pareto (Figura 35) obtido a partir dos dados analisados reforçam a ideia de que ambas as variáveis combinadas ou não, não demonstraram serem tão significativas dentro do modelo, já que a faixa limite imposta pelo programa que foi de 2,306 não foi atingida ou ultrapassada em nenhum momento.

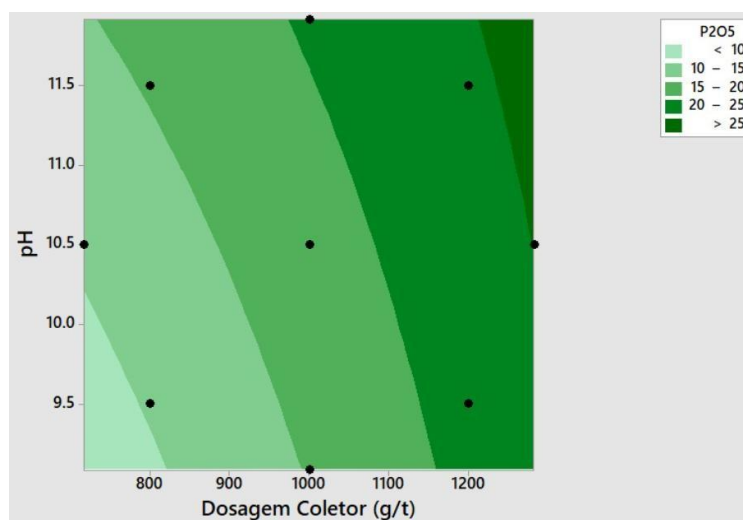
Figura 35 - Gráfico de pareto dos efeitos padronizados a resposta ao teor de P_2O_5



Fonte: Próprio autor

Por outro lado, no gráfico de contorno (Figura 36) obtido em resposta ao teor, é possível observar algumas faixas preferências de combinações das variáveis, as quais podem gerar ganhos ao indicador, como por exemplo as faixas de pHs acima de 10,5 combinadas a dosagens de coletor acima dos 1200 g/t.

Figura 36 - Gráfico de contorno dos efeitos padronizados a resposta ao teor de P_2O_5



Fonte: Próprio autor

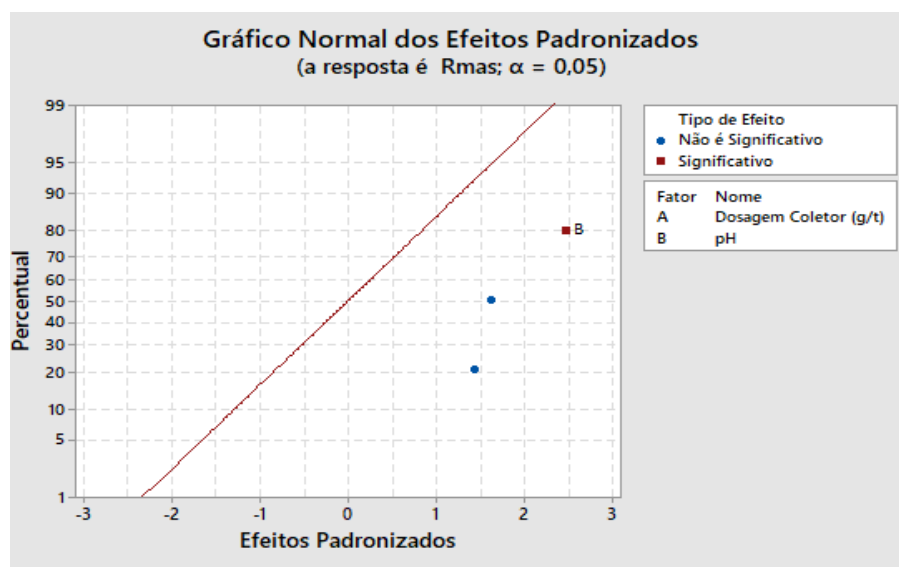
Na Tabela 16, a qual se refere a análise de variância de reposta da Recuperação em massa versus a dosagem de coletor (g/t) e pH, observou-se que o modelo geral explicou apenas 2,18 % da variação nos dados, com um valor-P de 0,068. A partir da análise combinada dos fatores, verificou-se que ambos contribuíram com 1,57% em relação a variação total, apresentando um valor-P de 0,148, logo, demonstrando uma baixa contribuição para esse indicador. Porém, foi observado que a variável pH, de forma isolada, foi significativa no resultado desse indicador (Figura 37).

Tabela 16 - Análise de variância de Recuperação em massa versus coletor (g/t) e pH

Fonte	GL	Contribuição (%)	Valor - P
Modelo	3	2.1762	0.068
Linear	2	2.4756	0.062
Dosagem coletor (g/t)	1	1.2428	0.193
p H	1	3.7085	0.04
Interação com dois fatores	1	1.5774	0.148
Dosagem coletor (g/t)*p H	1	1.5774	0.148
Erro	8	0.616	
Falta de ajuste	5	0.6784	0.435
Erro puro	3	0.512	*
Total	11		

Fonte: Próprio autor

Figura 37 - Gráfico normal dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação em massa

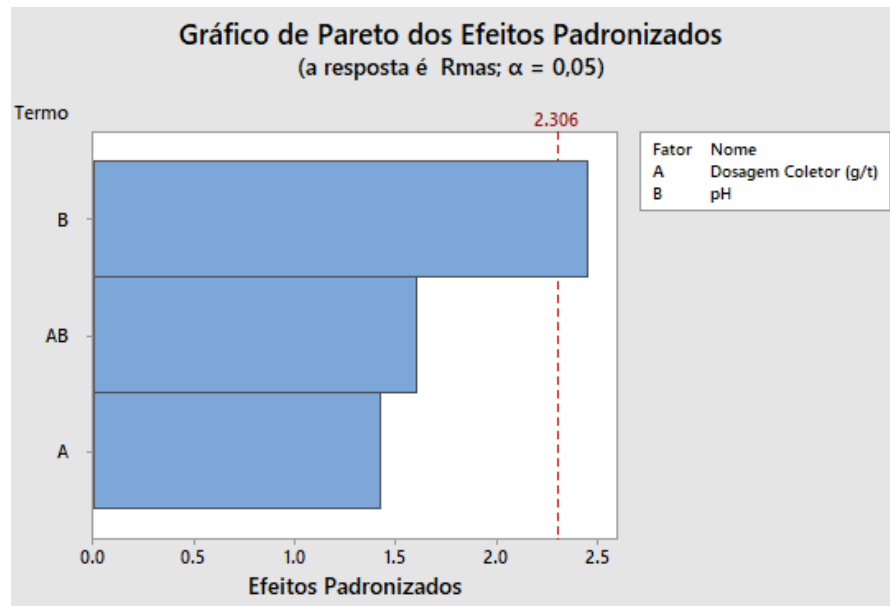


Fonte: Próprio autor

A análise do efeito da interação entre a concentração do coletor e o pH, mostrou que essa combinação não foi a mais significativa para a recuperação em massa da apatita, destacando-se por estar abaixo e distante da linha de significância. Desse modo, indicando uma interação negativa entre os fatores, os quais geram um impacto irrelevante. Por outro lado, o efeito individual do pH, apresentado na Figura 38, mostrou ser significativo, evidenciando que essa variável, por si só, exerceu um efeito positivo na flotabilidade da apatita. Dessa forma, apresentando uma relação direta entre a variável e a flotabilidade (Figura

39).

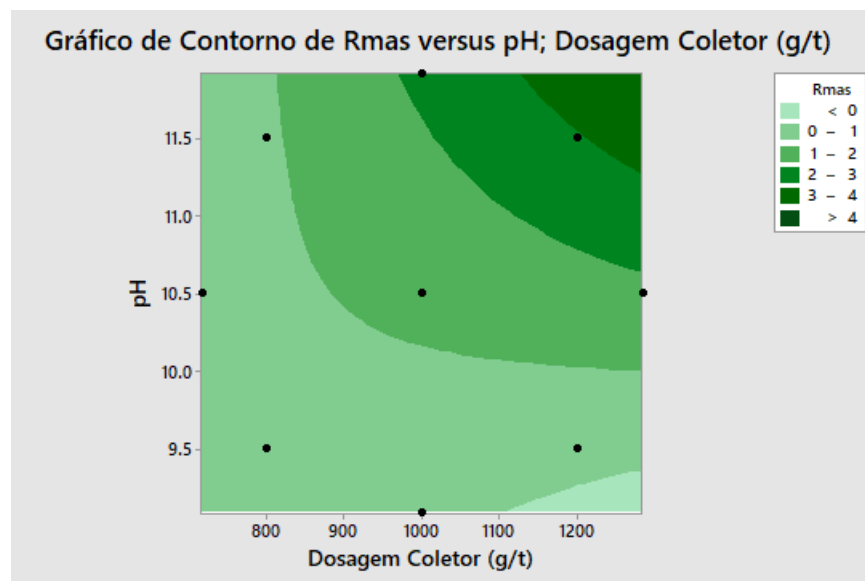
Figura 38 - Gráfico de pareto dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação em massa



Fonte: Próprio autor

Ainda, foi possível observar a partir da análise do gráfico de contorno (Figura 39) que algumas faixas preferências de combinações das variáveis existe, e que podem gerar ganhos ao indicador. Tais faixas que abrangem pHs acima de 10,0 combinados com dosagens do coletor acima dos 850 g/t.

Figura 39 - Gráfico de contorno dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação em massa



Fonte: Próprio autor

Para a Recuperação metalúrgica versus a dosagem de coletor (g/t) e pH, são apresentados na Tabela 17 os resultados obtidos. A partir da análise, verificou-se que o modelo global causou 11,94% da variação total, a qual apresentou um valor-P de 0,084. Analisando os resultados da variância, ocasionada pela combinação das variáveis, nota-se que atingiram juntas um valor de 6,5% da variação total, com um valor-P de 0,224, contribuindo de forma pouco significativa para uma mudança positiva no indicador.

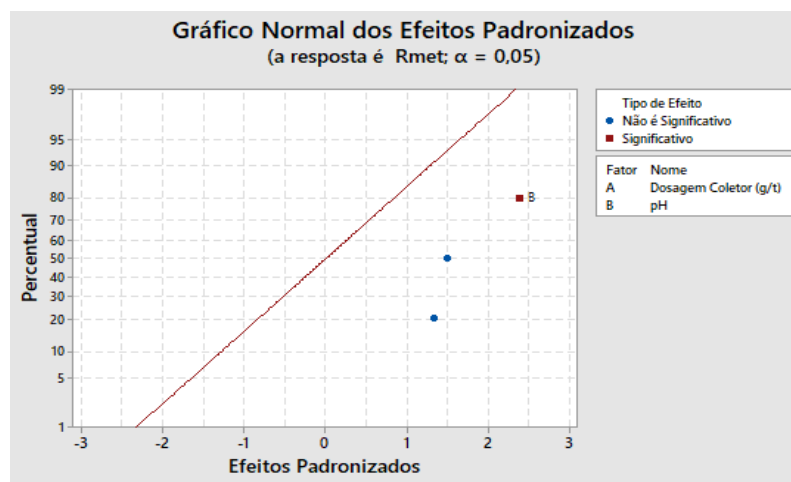
Tabela 17 - Análise de variância de Recuperação em metalúrgica versus coletor (g/t) e pH

Fonte	GL	Contribuição (%)	Valor - P
Modelo	3	11.937	0.084
Linear	2	14.653	0.065
Dosagem coletor (g/t)	1	8.204	0.177
p H	1	21.102	0.045
Interação com dois fatores	1	6.505	0.224
Dosagem coletor (g/t)*p H	1	6.505	0.224
Erro	8	3.743	
Falta de ajuste	5	4.496	0.332
Erro puro	3	2.488	*
Total	11		

Fonte: Próprio autor

Analisando as variáveis de forma individuais e combinadas (Figura 40), em resposta a Recuperação metalúrgica, observa-se que a dosagem do coletor sozinha não causou variações significativas ao sistema, logo, sendo considerada insignificante. Já a variável pH, proporcionou de forma isolada grande contribuição a variação do sistema, logo contribuiu de forma significativa para a variação positiva do indicador.

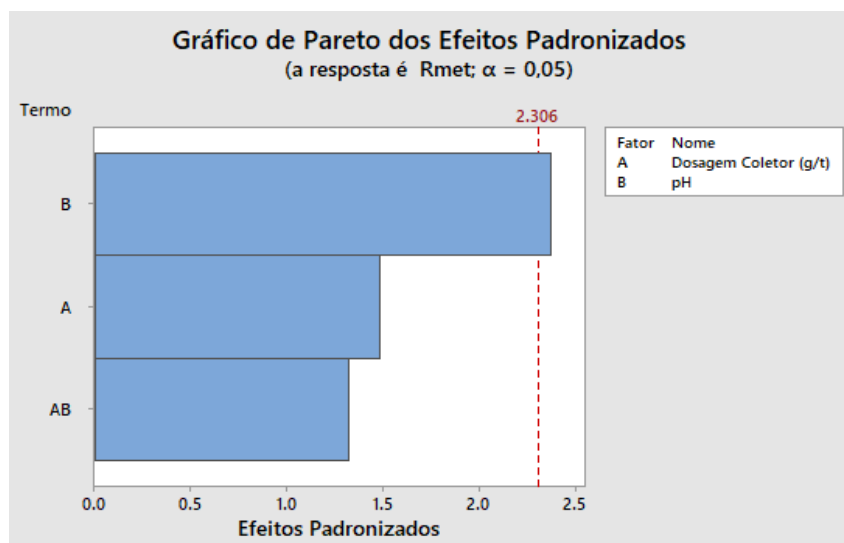
Figura 40 - Gráfico normal dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação metalúrgica



Fonte: Próprio autor

No gráfico de pareto (Figura 41) a ideia de significância da variável pH a partir é reforçada, já que a faixa limite de 2,306 imposta pelo programa que foi, foi atingida e ultrapassada.

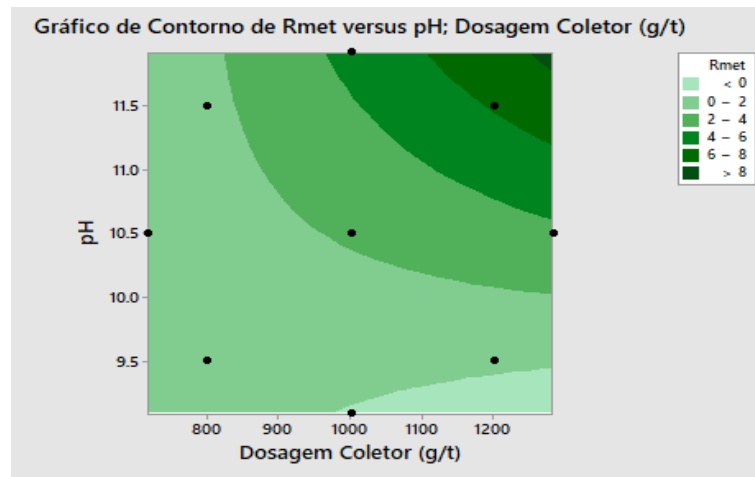
Figura 41 - Gráfico de pareto dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação metalúrgica



Fonte: Próprio autor

A partir da análise do gráfico de contorno (Figura 42) foi possível identificar algumas faixas preferências de combinações das variáveis, as quais podem gerar ganhos ao indicador. Tais faixas também estão a partir de pHs acima de 10,0 combinados com dosagens do coletor acima dos 850 g/t.

Figura 42 - Gráfico de contorno dos efeitos padronizados a resposta da Recuperação metalúrgica



Fonte: Próprio autor

5. CONCLUSÃO

Primeiramente conclui se que todos os objetivos propostos caracterização do óleo e das amostras, preparação de reagentes, planejamento e execução dos testes, juntamente com as análises estatísticas dos resultados, foram alcançados de forma satisfatória.

Quanto metodologia desenvolvida e escolhida para saponificar o óleo da semente do maracujá, esta foi feita a quente (45 a 65°C), utilizando solução alcoólica de NaOH a 20%. O reagente produzido e utilizado nos testes, apresentou se homogêneo, mesmo sem agitação, apresentou cor amarelo-claro e consistência de sabão.

Quanto ao planejamento fatorial utilizado, este foi primordial para a realização dos testes, tornando possível planejar as sequências de passos e correlacionar as condições operacionais fixas e as variáveis estudadas. Dos testes de flotação, estes foram realizados de forma padronizada, os quais trouxeram maior nível de confiabilidade aos resultados dos produtos gerados.

Quanto aos resultados dos testes, os que apresentaram os maiores valores para o teor foram: 3, 11 e 7, nos pHs 11.9; 9.1; 11.5 e dosagens de coletor (g/t) 1000; 1000; 1200 respectivamente, os quais atingiram valores acima dos 26%. Quanto ao desempenho nas recuperações mássicas e metalúrgicas, os maiores foram obtidos nos testes 3 e 7, os quais atingiram valores acima de 3,0% e 7,0% respectivamente.

Das análises estatísticas, para o teor de P₂O₅ as variáveis mesmo combinadas ou individuais não foram tão significativas, não gerando grandes mudanças ao modelo. Já para a Recuperação em massa, as variáveis combinadas não foram significativas, porém o pH apresentou ser significativo de forma individual e a dosagem não. E para a Recuperação metalúrgica, as variáveis combinadas não foram significativas, porém o pH apresentou ser significativo de forma individual e a dosagem não.

Por fim, conclui se que, o estudo do uso do óleo da semente do maracujá como coletor, na flotação da apatita, se mostrou promissor ao minério e as condições avaliadas. Tal reagente pode ser considerado alternativo e ecologicamente correto, já que o óleo utilizado deriva se dos resíduos da indústria alimentícia. Do ponto de vista estratégico e econômico, esse coletor pode ser usado como mais uma alternativa na indústria mineral, desde que as

produções de maracujá sejam capazes de suprirem as demandas de produção e que estejam no mesmo patamar de preço dos demais óleos, já utilizados nesse ramo.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, I. B. De S. F. **Influência dos Tamanhos das Partículas na Flotação**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Catalão, Catalão, GO, 2013.
- ARAÚJO, A. J. De B.; SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; VILAR, S. B. De O.; SCHMIDT, F. L.; ARAÚJO, F. P.; AZEVEDO, L. C. De. **Caracterização Físico- Química e Perfil Lipídico da Semente do Maracujá do Mato (Passiflora cincinnata Mast.)**. Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação, v2, n3, 2019. Disponível em: <https://publicacoes//publicacao/1110715/caracterizacao-fisico-quimica-e-perfil-lipidico-da-semente-de-maracuja-do-mato-passiflora-cincinnata-mast>. Acesso em novembro de 2024.
- BALTAR, Carlos Adolpho Magalães. **Capítulo 9, Fundamentos de flotação: Em Tratamento de Minérios. 6ª. Ed.** Rio de Janeiro, RJ: Editora CETEM, MCTIC, 2018.
- BALTAR, Carlos Adolpho Magalães. **Flotação: Em nova abordagem**. Recife, PE: Editora UFPE, 2021.
- CARNEIRO, A. A. **Avaliação de diferentes tipos de amidos na flotação aniônica direta de minério fosfático Sílico-Carbonatado**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, MG, 2018.
- CHAVES, A. P.; FILHO, L. De S. L.; BRAGA, P. F. A. **Capítulo 10, Flotação: Em Tratamento de Minérios, 6ª. Ed.** Rio de Janeiro, RJ: Editora CETEM, MCT, p. 404-459, 2018.
- CHAVES, A. P.; FILHO, L. De S. L.; BRAGA, P. F. A. **Capítulo 11, Flotação: Em Tratamento de Minérios, 5ª. Ed.** Rio de Janeiro, RJ: Editora CETEM/ MCT, p. 465-512, 2010.
- CHAVES, Arthur Pinto (org.); SIMEÃO, Leila (ed ele.); DIAS, Alexandre Paes (capa.); ALVES, Francisco E (coord.); OLIVEIRA, Maria Cecília Faveri de (rev ort.). **Teoria e prática do tratamento de minérios: A flotação no Brasil**. 2. Ed. V. 4. São Paulo, SP: Editora Signus, 2009.
- FALCONE, S. A. Non-sulfide flotation with fatty acid and petroleum sulfonate promoters. 1960. In Transactions AIME, 127, 1 - 23.
- HANNA, H. S.; SOMASUNDARAN, P. **Flotation of Salt-type Minerals**, In M. C. Fuerstenau (Ed.), Flotation – Gaudin Memorial Vol1, cap. 8, 197 – 272. New York, Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers.
- HORTA, D.; MONTE, M. B. M.; FILHO, L. S. L. **The Effect of dissolution Kineticson flotation response of apatite with sodium oliate**. 2016. In International Jornal of Mineral Processing, 146, 97-104.
- HU, J. S.; MISRA, M.; MILLER, J. D. **Effect of temperature and oxigem on oleate**

adsoption by fluorite. 1986. In International Jornal of Mineral Processing, 18, 57-72. BALTAR, C, A, M.; ALMEIDA, A. B. L. Influênmcia de uma agregaçãoso hidrofóbica prévia na flotação de finos de Barita. Em BALTAR, C. A. M.; BARBOSA, J. P.; OLIVEIRA, J. C. S. (eds.). Anais do XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Recife, PE, p. 234-240, 2002.

JUNGHANS, T. G (ed.) .; JESUS, O. N. De.; JUNQUEIRA, N. T. V.; FALEIRO, F.G.; NETO, F. C. C.; OLIVEIRA, J. Da S.; ARRUDA. L. M. **Espécies de Maracujazeiro: uma riqueza do Brasil.** Brasília, DF: Editora Embrapa Cruz das Almas, 2022. ISBN: 978-65-89957-24-9.

MATA, C. E. D da. **Desenpenho De Ácidos Graxos na Flotação Seletiva de A patita Proveniente do Mminério Fosfático de Agico dos Dias-BA.** 2019. Dissertação (Mestrado em engenharia mineral), Universidade Federalde, Ouro Preto, MG, 2019.

Microflotação de Apatita Utilizando óleo de Pinhão Manso como Coletor. Revista HOLOS, 2015. DOI: 10.15628/holos.2015.3716. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/3716>. Acesso em novembro de 2024.

MORAES, I. L. A.; SILVA, A. C.; SILVA. E. M. S.; MORAIS, V. L.; FILHO, C. M. S. OLIVEIRA, M. Dos S.; ALVES, J. V. Da S.; JOSÉ, F. De S.; SOUZA, T. F. De. Apostila de prática experimental de tratamento de minérios – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. 2020, Araxá, MG, p, 10-12.

OLIVEIRA, M. S. **Flotação em Coluna do Rejeito Remoído do Processo de Concentração da Apatita.** Dissertação (Mestrado, Concentração e Desenvolvimento de Processos Químicos) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2004.

PERES, Antônio Eduardo Clark.; SALUM, Maria José Gazzzi.; VALADÃO, George Eduardo Sales.; ARAÚJO, Armando Corrêa de. **Capítulo 6, Métodos de concentração: Em Introdução ao tratamento de Minérios.** Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, p. 383, 2012, 1 reimpressão.

Pesquisa via google de título: Dados sobre a produção brasileira de maracujá por espécie. Realizada em 02/09/2024. Resultado Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/maracuja> Pesquisa via google de título: Dados sobre a produção e consumo do maracujá. Realizada em 02/09/2024. Resultado Disponível em <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/maracuja/br>

Pesquisa via google de título: Demanda brasileira de fertilizantes. Realizada em 02/09/2024. Resultado publicado em 03/05/2022 14h59, em gov.br. Ministério de Agricultura e Pecuária. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/estatisticas-do-setor>

PINTO, Jessika Kerina dos Santos. **Influência dos parâmetros de saponificação do óleo de buriti na flotabilidade da apatita.** 2014.Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Minas e Meio Ambiente) – Universidade Federal de

Sul e Sudeste do Pará, Marabá, PA, 2014.

PUGH, R.; STENIUS, P. **Solution chemistry studies and flotation behaviour of apatite, calcite and fluorite minerals with sodium olate collector**. 1985. In International Journal of Mineral Processing, 15, 193 - 218.

SANTOS, A. M. A. **Avaliação de Fotes Graxas Alternativas na Flotação Aniônica de Minério Fosfático Utilizando Planejamento Fatorial**. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, MG, 2024.

SILVA, A. C.; MORAES, I. L. A. De.; SILVA, E. M. S.; FILHO, C. M. S.; SOUZA, D.

N. **Seletividade do Óleo de Pinhão Manso (Jatropha Curcal L.) Na Microflotação da Apatita, Calcita e Quartzo**. Revista da associação brasileira de metalurgia, materiais e mineração, 2018. ISSN: 2176-1523/ Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.1428> Tecnol. Metal. Mater. Min., vol.15, n3, p.341-349, 201. Acesso em novembro de 2024.

SILVA, N. R Da. **Avaliação da Utilização de Óleos Vegetais Alternativos Como Reagentes Coletores na Flotação de Apatita, Calcita e Quartzo**. Araxá-2024. Trabalho de Iniciação Científica - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá.

SOUZA, D. N. **Avaliação do Uso da Farinha de Milheto como Depressor da Flotação de Minerais**. 2019. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Goiás, Catalão, Catalão, GO, 2019.

SOUZA, S. L. S E. **Avaliação de desempenho de óleo amazônico na flotação direta de minério fosfático, utilizando planejamento fatorial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, MG, 2023.