

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO ÓLEO DE AMENDOIM NA FLOTAÇÃO DE FOSFATOS

EFFICIENCY EVALUATION OF PEANUT OIL IN THE PHOSPHAT FLOTATION

Istelamares Alvarenga de Barros¹; Christianne Garcia Rodrigues²

1 Graduada em Engenharia Química. Centro Universitário de Belo Horizonte, 2014. Belo Horizonte, MG. istelamares@hotmail.com.

2 Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Minas. UFMG, 1988. Professora do Centro Universitário de Belo Horizonte – UniBH. Belo Horizonte, MG. christianne.rodrigues@prof.uni.br.

Recebido em: 29/03/2015 - Aprovado em: 30/09/2015 - Disponibilizado em: 30/11/2015

RESUMO: A busca por reagentes alternativos de flotação de minerais tem sido alvo de diversas pesquisas. O presente artigo teve como objetivo avaliar a eficiência do óleo de amendoim na flotação de fosfatos, comparando-o com reagentes comerciais: o óleo de soja e o Flotigam 5806. Para a sua caracterização realizaram-se as análises físico-químicas e determinou-se o perfil de ácidos graxos por cromatografia gasosa. Os ensaios consistiram, inicialmente, nas etapas de cominuição e caracterização do minério fosfatado proveniente da região de Lagamar (MG), da Mineração Galvani, e em seguida realizaram-se os testes de flotação com cada coletor, utilizando o amido de milho gelatinizado como depressor. O óleo de amendoim apresentou composição em torno de 60% de ácido oleico e 18% de linoleico, cujos sais alcalinos são os principais coletores de oxi-minerais empregados industrialmente na concentração de P_2O_5 . Os resultados obtidos foram significativos, sendo que os três coletores apresentaram o mesmo comportamento na flotação e recuperações metalúrgicas de P_2O_5 , em torno de 55%. A principal causa do baixo rendimento foi provavelmente a elevada fração de finos (grãos com diâmetro menor que $37 \mu m$) presentes na amostra após a moagem.

PALAVRAS-CHAVE: Óleo de amendoim. Minério fosfatado. Coletor. Flotação.

ABSTRACT: The search for alternative reagents mineral flotation has been the subject of several studies. This study aimed to evaluate the peanut oil efficiency in flotation comparing the phosphates with commercial reagents: the soybean oil and the Flotigam 5806. For its characterization were carried out physico-chemical analysis and determined profile fatty acids by gas chromatography. The tests consisted in the first comminution step and characterization of phosphate ore from the Lagamar region (MG), the Galvani Mining and then carried out the tests with each flotation collector, using the gelatinized maize starch as a depressant. Peanut oil composition showed around 60% oleic acid and 18% of linoleic acid, alkaline salts which are key oxy-mineral collectors used industrially in the concentration of P_2O_5 . The results obtained were significant, and the three collectors showed the same behavior and the flotation P_2O_5 recovery of metals, about 55%. The main cause of low yield was probably the high fraction of fines (particles with a diameter less than $37 \mu m$) in the sample after grinding.

KEYWORDS: Peanut oil. Phosphatic rock. Collector. Flotation.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por óleos de origem vegetal vem crescendo significativamente na última década em virtude do crescimento do mercado oleoquímico (SANTOS *et al.*, 2012).

Os óleos vegetais, constituídos essencialmente por triglicerídeos ou ésteres de ácidos graxos, apresentam variadas aplicações nos processos industriais, tais como na produção de cosméticos, alimentos, medicamentos, biodiesel, insumos químicos entre outros. Na indústria mineral, são

utilizados como matérias-primas para coletores de minerais não-sulfetados, principalmente de oximinerais (OLIVEIRA, 2005).

Conforme Santos *et al.* (2012), o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é a quarta oleaginosa mais cultivada no mundo, ocupando cerca de 22 milhões de hectares. Em termos de importância econômica, esta oleaginosa fica atrás apenas da soja (41,8% do total mundial), do algodão (14,1%) e da colza (13,1%).

No Brasil, os últimos dez anos marcaram a construção de novas possibilidades para a produção de amendoim, principalmente devido à utilização do óleo para fins energéticos (LIMA, 2011).

De acordo com o mesmo autor, embora a produção de amendoim seja duas vezes mais cara que o plantio de soja, o seu cultivo é mais lucrativo, pois pode ser usado na rotação do plantio de cana de açúcar, de mamona etc. Além disso, a espécie pode ser cultivada em várias condições ambientais e em quase todos os tipos de solo.

O teor de óleo nos grãos de amendoim varia entre 44 e 56% em diferentes genótipos, podendo variar ainda mais em relação à composição de ácidos graxos. Os ácidos oleicos e linoleicos constituem 80% dos ácidos graxos presentes, o que lhes confere estabilidade (SUASSUNA; SMIRDELE; ANTONIASSI, 2010).

De acordo com Oliveira (2005), a hidrólise dos óleos catalisada por base, geralmente sob aquecimento moderado (60 °C) e em meio aquoso, resulta na formação de moléculas de glicerol, além de ácidos graxos na forma de sabões. Essa mistura de sais de ácidos graxos constitui o coletor aniônico mais empregado na concentração, por flotação, de oximinerais.

O tratamento consiste basicamente de uma série de processos que têm em vista a separação das partículas minerais valiosas dos minerais de ganga

(partículas de minério que não são de interesse) e a obtenção final de um produto concentrado com um teor elevado e adequado do mineral desejado. Os sais de ácidos graxos são capazes de alterar a superfície das espécies minerais de interesse, revestindo-a seletivamente e tornando-a hidrofóbica (FRÉ, 2009).

A composição das cadeias hidrocarbônicas dos ácidos graxos que formam os triglicérides interfere nas propriedades coletoras dos seus sabões. Sendo assim, o conhecimento da composição química do óleo utilizado como matéria-prima para coletores é de grande importância (OLIVEIRA, 2005).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência do óleo de amendoim no processo de flotação de fosfatos. Os objetivos específicos são caracterizar o óleo de amendoim por meio de análises físico-químicas e utilizá-lo como coletor na flotação, comparando a sua efetividade com o óleo de soja e o Flotigam 5806.

Nas seções subsequentes, este artigo apresenta a revisão bibliográfica sobre o processo de flotação de minerais; a utilização dos óleos vegetais como coletores; aspectos relacionados à importância econômica, ao cultivo do amendoim e às propriedades do óleo extraído dessa oleaginosa. Em seguida são descritas as metodologias empregadas neste trabalho, resultados obtidos e conclusão. Finalmente estão os agradecimentos e as referências bibliográficas.

2 FLOTAÇÃO

O processo de flotação é um método de separação de partículas sólidas que explora diferenças superficiais baseadas no fato das mesmas poderem apresentar caráter polar (hidrofilicidade) ou apolar (hidrofobicidade). Segundo o princípio de afinidade entre espécies, ambas polares ou ambas apolares,

em uma máquina de flotação as entidades hidrofílicas seguem o fluxo de água e as hidrofóbicas aderem às bolhas de ar. Esse método foi desenvolvido no início do século XIX e tem sido economicamente utilizado para concentração de minérios complexos, com baixos teores dos minerais de interesse, levando a bons rendimentos metalúrgicos (PERES *et al.*, 2002).

Reagentes de flotação são substâncias orgânicas ou inorgânicas, empregados com o intuito de controlar as interfaces envolvidas no processo. As interfaces podem ser do tipo sólido-líquido, sólido-gás, sólido-sólido e líquido-gás. De acordo com sua função específica, os reagentes podem ser divididos em coletores, espumantes e modificadores/reguladores ou depressores (FAGURY NETO, 2012).

De acordo com o mesmo autor, coletores são aqueles reagentes que atuam na interface sólido-líquido, alterando a superfície mineral, que passa de caráter hidrofílico para hidrofóbico. Na maioria dos casos, são manufaturados a partir de matérias primas naturais ou subprodutos de processos da indústria química. Raramente sua composição química aproxima-se de 100% da substância ativa. Muitas vezes as impurezas são inerentes ao processo de fabricação, representando reações de síntese incompletas e, até mesmo, consistindo na presença de espécies adicionadas como enchimento. Em outros casos, espécies químicas são intencionalmente adicionadas com o objetivo de reforçar a ação da matéria ativa, tornando a flotação mais recuperadora e/ou seletiva. Sabões de ácidos graxos são empregados como coletores de apatita na produção de rocha fosfórica. A saponificação é feita com soda cáustica. A frio sua extensão atinge cerca de 70%, podendo superar 95% se feita a quente. Os ácidos graxos mais efetivos são o oleico e o linoleico.

Segundo Ferreira *et al.* (2009), os surfactantes empregados como espumantes são compostos não iônicos, geralmente pertencentes à classe dos alcoóis ou dos éteres. As ações dos modificadores são diversas, destacando-se: ajustar o pH do sistema; ajustar o Eh, potencial eletroquímico do sistema; controlar o estado de dispersão da polpa; facilitar e tornar mais seletiva a ação do coletor (ativação) e tornar um ou mais minerais hidrofílicos e imunes à ação do coletor (função depressão).

2.1 FLOTAÇÃO DE FOSFATOS

Nos minérios fosfáticos, a apatita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH})]$ ocorre associada a outros minerais tais como fluorita $[\text{CaF}_2]$, calcita $[\text{CaCO}_3]$, sheelita $[\text{CaWO}_4]$, magnesita $[\text{MgCO}_3]$, dolomita $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ e barita $[\text{BaSO}_4]$. Tais minerais são hidrofílicos e uma hidrofobização seletiva do mineral de interesse é determinante para o êxito do processo de concentração por flotação. Entretanto, a separação desses minerais é difícil devido às similaridades nas suas propriedades físico-químicas em solução aquosa (COSTA, 2012).

Ainda de acordo com o mesmo autor, a seletividade de um processo, onde minerais levemente solúveis como a apatita estejam presentes, pode ser obtida por meio da depressão seletiva, ativação seletiva, dispersão seletiva, controle dos íons determinadores de potencial, modificação das características das espumas e/ou utilização de coletores específicos.

Guimarães, Lima e Oliveira (2004), em uma análise dos reagentes utilizados na flotação de minérios fosfáticos, relataram que no Brasil as usinas de beneficiamento de minérios fosfáticos utilizavam, no início de suas operações, o *tall oil* importado como coletor. Entretanto, em decorrência da necessidade de se buscar alternativas que substituíssem o *tall oil* importado, diversos coletores alternativos foram pesquisados.

Atualmente os principais coletores usados no processo de flotação de minérios fosfáticos no Brasil são: ácidos graxos (óleos de soja e de arroz), sarcosinato, sulfossuccinato, sulfossuccinamato, utilizados puros ou em misturas com diferentes proporções. O amido de milho tem sido amplamente utilizado como depressor de ganga na flotação de minérios fosfáticos no Brasil, além do nonilfenol etoxilado, indicado para depressão de minerais silicatados. O amido de milho apresenta em sua composição a amilopectina e a amilose que são os componentes responsáveis pela depressão.

2.2 USO DE ÓLEOS VEGETAIS COMO COLETORES

Para serem utilizados como coletores na flotação de minérios, os óleos vegetais necessitam ser transformados em surfactantes. Normalmente isto é feito convertendo o óleo em uma mistura de sais de ácidos graxos (sabões) por meio da hidrólise alcalina (saponificação). Esse procedimento se faz necessário para obter a solubilidade de ácidos graxos de cadeia longa, já que estes, na forma livre ou na esterificada ao glicerol, são insolúveis em água (COSTA, 2012).

Um surfactante típico possui a estrutura R – Z, onde R é o grupo apolar, representando a parte hidrofóbica da molécula, e Z é o grupo polar, que consiste de dois ou mais átomos ligados covalentemente e possui um momento de dipolo permanente, representando o lado hidrofílico da molécula anfipática (SOLOMONS, 1996).

Na indústria mineral, os sais de ácidos graxos pertencentes à classe dos compostos ionizáveis não são os coletores aniônicos mais utilizados no processo de flotação de minerais não sulfetados, principalmente dos oximinerais.

A eficiência dos sais de ácidos graxos como coletores é influenciada pelas características da cadeia hidrocarbônica, tais como número de carbonos, grau de insaturação, configuração estérica e também pelo grau de hidrólise alcalina (saponificação) dos ácidos graxos ou ésteres. Além dos fatores já mencionados, relacionados às moléculas dos sais de ácidos graxos, há os fatores inerentes ao sistema de flotação como, por exemplo, pH da solução, dosagem do coletor, solubilidade dos minerais, mecanismo de geração de cargas superficiais dos minerais em meio aquoso, presença de íons na água de processo, grau de liberação entre outros (COSTA, 2012).

3 AMENDOIM

O amendoim (do tupi *mandu'wi*, “enterrado”) é a semente comestível da planta *Arachis hypogaea* L. da família *Fabaceae*. Embora confundido com noz, o amendoim é um membro da família da beterraba marinha (*Fabaceae*), e seu fruto é do tipo fruto ou vagem. A planta do amendoim é uma erva, com um caule pequeno e folhas trifolioladas, com abundante indumento, raiz aprumada, medindo entre 30-50 cm de altura. As flores são pequenas, amareladas e, depois de fecundadas, inclinam-se para o solo e a noz desenvolve-se subterraneamente (CAP AGROINDUSTRIAL, 2014).

3.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

O amendoim é a quarta cultura oleaginosa mais importante do mundo. De todo o óleo alimentar produzido, cerca de 10% é obtido do amendoim (DUARTE, 2008).

Atualmente o amendoim possui grande importância no mercado mundial de grãos, sendo um importante produto da economia de países asiáticos e africanos. De acordo com dados da Food Agriculture

Organization of United Nations (FAO), sua produção é liderada pela China, Índia, EUA, sendo que estes países detêm aproximadamente 80% da produção mundial de amendoim (LIMA, 2011).

A produção de amendoim no Brasil teve grande importância até o início dos anos 70, ocupando papel de destaque no suprimento interno de óleo vegetal e na exportação de subprodutos. A prosperidade da cultura foi afetada por diversos fatores políticos, tecnológicos e mercadológicos, levando à redução do cultivo nacional e modificação no perfil do mercado.

Nos últimos anos, no Brasil, ocorreu grande expansão da área cultivada, produção e, principalmente, aumentos consistentes em produtividade, conforme mostra a FIG.1. O uso de cultivares de porte rasteiro e mecanização das operações de plantio e colheita são tecnologias que também refletiram em maior produtividade. São utilizadas principalmente em São Paulo e no cerrado, onde o amendoim é cultivado em rotação ou em segunda safra. Parte da produção é exportada ou destinada à indústria de alimentos – mais de 50 mil toneladas em 2005 (SUASSUNA; SMIRDELE; ANTONIASSI, 2010).

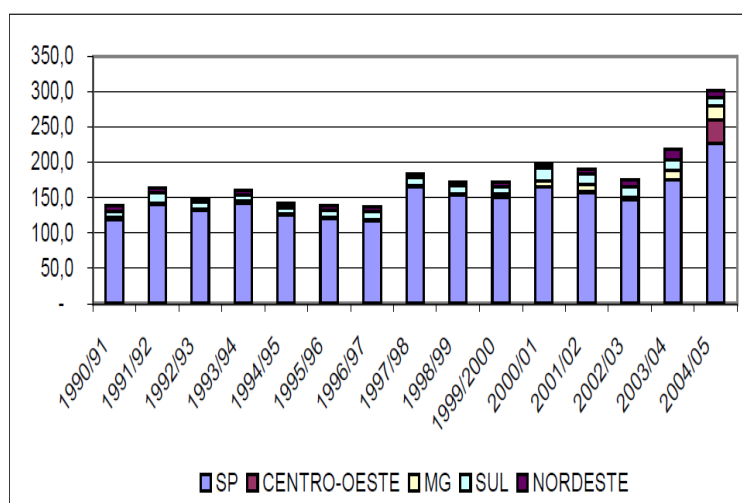


Figura 1 - Produção de amendoim (mil toneladas)
Fonte: ABICAB, 2014.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em termos produtivos, a produção do amendoim brasileiro é oriunda, em maior escala, da região Sudeste, seguida pela Centro-Oeste e Nordeste. O estado de São Paulo é o maior produtor, responsável por cerca de 80% da produção nacional. A produção de amendoim é feita em duas épocas: a primeira, conhecida como safra das águas, representa 75% do volume total e corresponde aos plantios realizados em outubro/novembro, nas regiões Sudeste e Sul; a segunda, chamada de safra da seca, complementa o montante, sendo os plantios realizados no mês de março nas regiões Sudeste e Nordeste (EMBRAPA, s.d).

Conforme a ABICAB (2014), o volume da safra de 2006/2007 foi de 158,3 mil toneladas de amendoim em casca, sendo que 22.877 toneladas foram destinadas à indústria de óleo.

3.2 CULTIVO

O ciclo fenológico do amendoim é de 90 a 115 dias para as cultivares de ramos opostos e de 120 dias para as variedades de ramos alternados.

Quanto à época de semeadura, o amendoim apresenta grande plasticidade genética, podendo ser cultivado em várias condições agroecológicas. No entanto, o maior rendimento é obtido dentro das temperaturas ideais e disponibilidade hídrica (GRACIANO, 2009).

De acordo com Lima (2011), o cultivo de amendoim se adapta melhor aos solos de textura média, bem drenados, soltos e friáveis. O solo é o meio onde se desenvolvem não somente as raízes, mas também os frutos. Em função disso a aeração e a boa drenagem do solo são de fundamental importância para a cultura, pois solos de textura argilosa, pesados, dificultam a penetração do ginóforo e provocam problemas na colheita.

3.3 ÓLEO DE AMENDOIM

Entre as oleaginosas comestíveis, o amendoim apresenta rendimento industrial superado apenas pelo girassol, com média de aproveitamento em torno de 40% para óleo e 50% para farelo. Predominantemente, é utilizado na indústria de gêneros alimentícios graças à nobre qualidade de seu óleo. O óleo do amendoim caracteriza-se como resistente à saturação, e de sabor agradável, o que o nivela ao óleo de milho, ao de girassol e ao de oliva. Normalmente, cerca de 60% da produção mundial da oleaginosa é transformada industrialmente em óleo (LIMA, 2011).

Além do emprego na alimentação, utiliza-se o óleo de amendoim na indústria pesqueira, para cozimento de sardinhas, assim como para fins medicinais e farmacêuticos. O óleo não refinado é utilizado na fabricação de sabões finos e como lubrificante e combustível. Atualmente, com a evolução do Programa Brasileiro de Biodiesel, o amendoim vem sendo incluído como alternativa para o fornecimento de matéria prima (LIMA, 2011).

De acordo com a mesma autora, o óleo pode ser extraído por prensagem mecânica, resultando em uma torta gorda, ou por solvente, originando uma torta magra. O óleo bruto é amarelo claro e com odor agradável, sendo relativamente livre de fosfatídeos. A matéria insaponificável é formada de 0,2% de esteróis, 0,02 a 0,06% de tocoferóis e outros antioxidantes, 0,03% de esqualeno, além de outros hidrocarbonetos.

O óleo de amendoim pertence ao grupo dos óleos ácido oleico / linoleico: é constituído por 38% oleico (C: 18:1_9) e 41% linoleico C18: 2 _6). A soma destes dois ácidos é geralmente de 80-90% nos óleos vegetais pertencentes a este grupo. Isto indica que outros ácidos graxos estão em menor concentração. Os outros principais ácidos graxos existentes no óleo de amendoim são: palmítico

(C16:0), esteárico (C18:0), araquídico (C20:0), behênico (C22:0) e lignocérico (C24:0). Atualmente há uma demanda de óleos com alto teor de ácido oleico; assim, foram desenvolvidos alguns óleos enriquecidos de oleico (FUENTES, 2011).

4 METODOLOGIA

4.1 MATERIAIS E REAGENTES

Foi adquirida uma amostra de óleo de amendoim comercial, puro e refinado. Para a sua caracterização, realizaram-se as análises duplicatas de teor de umidade, índice de peróxido, índice de acidez, perfil de ácidos graxos por cromatografia gasosa e índice de saponificação, de acordo com os métodos físico-químicos do Instituto Adolfo Lutz (2008). A análise cromatográfica foi realizada pelo Laboratório de Cromatografia do Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Os reagentes utilizados nas análises foram: solução de ácido acético e clorofórmio 3:2 v/v, solução de tiosulfato $0,025 \text{ molL}^{-1}$, solução indicadora de amido, solução saturada de iodeto de potássio, éter etílico P.A. álcool etílico P.A., ácido sulfúrico $0,02 \text{ molL}^{-1}$, hidróxido de potássio $0,1 \text{ molL}^{-1}$ e 1 molL^{-1} , ácido clorídrico a 20%, cloreto de sódio P.A., acetato de etila P.A., metanol, BF_3 .

Os equipamentos utilizados foram: estufa com circulação de ar HydroSam; forno microondas Panasonic Piccolo; microcentrífuga; cromatógrafo a gás HP7820A da Agilent, equipado com detector por ionização de chamas, e programa de aquisição de dados EZChrom Elite Compact (Agilent).

A amostra de minério utilizada foi proveniente da Mineração Galvani, Unidade de Lagamar. As etapas de processamento do minério e os ensaios de flotação foram realizados nos laboratórios de tratamento de minérios do Centro de

Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN).

Foram utilizados os seguintes equipamentos: britador de mandíbulas grande Renard, britador de mandíbulas pequeno Gimenez, britador de disco Braun, moinho de barras, pulverizador, balança semi-analítica Marte, célula mecânica de flotação Darma modelo D-1, estufa, agitador de peneiras e peneiras com abertura entre 48 e 400 mesh.

Os reagentes empregados, além do óleo de amendoim, foram óleo de soja comercial, amido, Flotigam 5806 da Clariant, hidróxido de sódio a 10% m/m, hidróxido de sódio grau pureza analítica e álcool etílico grau pureza analítica.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE AMENDOIM

4.2.1 ÍNDICE DE PERÓXIDO

A determinação do índice de peróxidos ocorre pela adição de solução de iodeto de potássio saturada à amostra. Os íons iodeto reagem com os peróxidos, produzindo I_2 . O excesso de I_2 não reage e fica em solução. Ao adicionar o amido, como indicador, este, em presença de I_2 , ficará azul. Ao se titular a solução com tiosulfato de sódio, este é oxidado a tetrionato de sódio e o iodo é reduzido a I^- , causando a perda da cor azulada. Assim, a quantidade de tiosulfato consumida é proporcional à quantidade de peróxidos presentes na amostra (MELO, 2010).

Para a análise, foram utilizados 5 g do óleo, dissolvidos em 25 mL da solução de ácido acético-clorofórmio (3:2 v/v), seguida da adição de 1,0 mL de solução saturada de iodeto de potássio. Após repouso (5 min., ao abrigo da luz), à mistura foram adicionados 75 mL de água destilada e 2,0 mL de solução de amido 1%. O iodo liberado foi titulado

com solução de tiosulfato de sódio $0,025 \text{ molL}^{-1}$, até o desaparecimento da coloração azulada. Uma prova em branco foi realizada nas mesmas condições descritas, sem a presença da amostra.

4.2.2 ÍNDICE DE ACIDEZ

O índice de acidez revela o estado de conservação de óleos e gorduras e pode ser definido como o número de miligramas de hidróxido de potássio necessários para neutralizar os ácidos graxos livres de 1,0 g da amostra. A hidrólise parcial dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, e a rancidez é quase sempre acompanhada pela formação de ácido graxo livre (MELO, 2010).

Pesaram-se 2 g da amostra de óleo vegetal em um erlenmeyer e foram adicionados 25 mL de solução de éter – álcool (2:1) previamente neutralizado com uma solução de hidróxido de sódio $0,1 \text{ molL}^{-1}$. Após adicionar duas gotas de indicador fenolftaleína, titulou-se com solução de KOH $0,1 \text{ molL}^{-1}$, previamente padronizada com solução de H_2SO_4 $0,02 \text{ molL}^{-1}$, até atingir a coloração rósea.

4.2.3 TEOR DE UMIDADE

Entre os métodos utilizados, o mais comum é o gravimétrico, que se baseia na determinação da perda de peso do material submetido ao aquecimento a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ até peso constante, sob determinada temperatura e pressão.

Pesaram-se 2 a 10 g da amostra em cápsula previamente tarada. Aqueceu-a durante 3 h em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$. Resfriou-a em dessecador até a temperatura ambiente. Pesou-se a cápsula novamente e repetiu-se a operação de aquecimento e resfriamento até peso constante.

4.2.4 ÍNDICE DE SAPONIFICAÇÃO

O índice de saponificação é a quantidade de álcali necessária para saponificar uma quantidade definida de amostra. Ele é expresso como o número de miligramas de KOH necessários para saponificar 1g de amostra. É inversamente proporcional ao peso molecular médio dos ácidos graxos dos glicerídeos presentes (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008) e importante para demonstrar a presença de óleos ou gorduras de alta proporção de ácidos graxos de baixo peso molecular em mistura com outros óleos e gorduras. Quanto menor o peso molecular do ácido graxo, maior será o índice de saponificação.

A amostra deve estar completamente seca. Pesaram-se 4 a 5 g da amostra, completamente livre de impurezas e umidade. Adicionaram-se 50 mL da solução alcoólica de KOH. Foi preparado um branco e procedeu-se ao andamento analítico simultaneamente com a amostra. Conectou-se o condensador e deixou-se ferver suavemente até a completa saponificação da amostra (aproximadamente uma hora).

Após o resfriamento do frasco, lavou-se a parte interna do condensador com um pouco de água. Desconectou-se a amostra do condensador, adicionando um mL do indicador, titulando com a solução de ácido clorídrico 0,5 M até o desaparecimento da cor rósea.

4.2.5 COMPOSIÇÃO EM ÁCIDOS GRAXOS

A composição de ácidos graxos por cromatografia gasosa é aplicável aos ésteres metílicos de ácidos graxos com 8 a 24 átomos de carbono de gordura animal, óleos vegetais, óleos marinhos e ácidos graxos após a sua conversão em ésteres metílicos. O método permite separar quantitativamente as misturas de ésteres metílicos saturados e insaturados (MELO, 2010).

Quanto ao preparo das amostras, em um tubo criogênico dissolveu-se 2 mL (aproximadamente 12 miligramas) do óleo de amendoim em 100 μ L de uma solução de álcool etílico/hidróxido de potássio 1 molL⁻¹. Após agitação em vórtex por 10 seg., o óleo foi hidrolisado em um forno de microondas à potência de 80W durante 5 min. Após resfriamento, adicionaram-se 400 μ L de ácido clorídrico a 20%, uma ponta de espátula de NaCl (cerca de 20 mg) e 600 μ L de acetato de etila. Após agitação em vórtex por 10 seg. e repouso por 5 min, uma alíquota de 300 μ L da camada orgânica foi retirada, colocada em tubos de microcentrífuga e seca por evaporação, obtendo-se assim os ácidos graxos livres. Posteriormente, os ácidos graxos livres foram metilados com 100 μ L BF₃/metanol (14%) por aquecimento durante 10 min., em banho de água a 60 °C. Foram em seguida diluídos com 900 μ L de metanol e analisados por Cromatografia Gasosa.

As análises foram realizadas em um cromatógrafo a gás equipado com detector por ionização de chamas. Utilizou-se uma coluna HP-INNOWAX (HP) 15 m x 0,25 mm x 0,25 μ m com gradiente de temperatura; 80 °C, 0min, 10 °Cmin⁻¹ até 240 °C; injetor (split de 1/50) a 250 °C e detector a 260 °C; hidrogênio como gás de arraste (2 mLmin⁻¹) e volume de injeção de 1 μ L. A identificação dos picos foi feita por comparação com padrões de ácidos graxos metilados FAME C14-C22 (Supelco cat nº 18917).

4.3 PROCESSAMENTO DO MINÉRIO

O minério proveniente da Mineração Galvani – Unidade Lagamar – necessitou passar pelas etapas de cominuição para atingir a granulometria adequada à liberação do fosfato. A amostra foi inicialmente britada em um britador de mandíbulas grande (FIG. 2) em sequência em um britador de mandíbulas pequeno (FIG. 3).



Figura 2 - Britador de mandíbulas grande
Fonte: Próprio autor.



Figura 3 - Britador de mandíbulas pequeno
Fonte: Próprio autor.

Em seguida, o material foi passado em uma peneira Tyler de 5 mesh (4,0 mm) (FIG. 4) e o retido na mesma foi britado em um britador de disco (FIG. 5). Essa operação foi repetida até que todo o minério fosse passante na peneira acima citada.



Figura 4 - Peneiramento em malha de 5 mesh
Fonte: Próprio autor.



Figura 5 - Britador de disco
Fonte: Próprio autor.

Após a britagem, a amostra foi homogeneizada por três vezes em pilha, para assegurar a uniformidade de cada fração da mesma (FIG. 6). Pesou-se a amostra e dividiu-a em pacotes de um quilograma para os testes de flotação (FIG. 7). É importante para a flotação que a granulometria da amostra esteja 95% abaixo da malha de 65 mesh.



Figura 6 - Homogeneização em pilha
Fonte: Próprio autor.



Figura 7 - Amostra de minério empacotada
Fonte: Próprio autor.

Para assegurar essa característica, foram realizados testes em diferentes tempos (3, 10 e 15 min.) de moagem a úmido em um moinho de barras (FIG. 8).



Figura 8 - Moinho de barras
Fonte: Próprio autor.

A cada operação utilizou-se um quilograma do minério e 540 mL de água, proporcionando uma porcentagem de sólidos de aproximadamente 65%. Após o tempo designado, as barras foram lavadas com o mínimo de água possível e a polpa transferida para bandejas. Após a sedimentação, a polpa foi peneirada em peneira de malha 65 mesh, o material retido foi seco em estufa e, após o resfriamento, foi pesado. Calculou-se a porcentagem de grãos acima de 65 mesh e determinou-se o tempo de moagem suficiente para proporcionar 95% abaixo de 65 malhas (0,210 mm).

Após a definição do tempo de moagem, utilizou-se o mesmo procedimento para o restante do material, separando cada fração de 1 kg moída em bandejas. Realizou-se uma análise granulométrica do minério moído. Para isso, a polpa, após a moagem, foi seca em estufa a 140 °C, desaglomerada em peneira de 48 mesh e quarteada (FIG. 9).



Figura 9 - Quarteamento da amostra
Fonte: Próprio autor.

Foram pesadas 400 g e realizado um peneiramento a úmido em malha de 400 mesh para retirada dos finos. A lama foi descartada e o minério com granulometria acima de 400 mesh foi seco novamente em estufa. Posteriormente ao resfriamento, o material foi pesado e realizou-se o peneiramento em agitador mecânico equipado com oito peneiras por 25 min. (FIG. 10).



Figura 10 - Agitador de peneiras
Fonte: Próprio autor.

A fração retida em cada peneira foi pesada e obteve-se a distribuição granulométrica entre 48 e 400 mesh do minério a ser utilizado na flotação na flotação.

4.4 ÉTAPA DE FLOTAÇÃO

4.4.1 PREPARO DOS REAGENTES

Os reagentes coletores utilizados nos testes de flotação foram óleo de amendoim, óleo de soja e Flotigam 5806 (Clariant), todos preparados a partir da hidrólise alcalina e com concentração final de 2%.

Para a saponificação do óleo de soja e do Flotigam 5806, foram pesadas 20 g do reagente selecionado. Mediram-se 28,5 mL de hidróxido de sódio a 10% m/m e 18,2 mL de água aquecida a 70 °C. Aqueceu-se o reagente também a 70 °C e adicionou-lhe

simultaneamente a solução de soda e água de diluição, mantendo a solução obtida sob agitação vigorosa durante 15 min. e a temperatura constante. Em seguida, dilui-se a pasta obtida para 1,0 L com água.

A hidrólise do óleo de amendoim, por se tratar de um reagente puro e refinado, foi realizada utilizando-se uma solução alcoólica de hidróxido de sódio a 0,5 M. Pesaram-se 20 g do óleo em um balão de destilação, adicionaram-se 200 mL da solução alcoólica, deixando-se o sistema em refluxo até a completa esterificação dos ácidos graxos (aspecto homogêneo). Após o resfriamento, dilui-se a solução para 1 L com água.

O reagente depressor utilizado foi amido de milho, gelatinizado com concentração de 1%. Para prepará-lo, pesaram-se 10 g de amido, adicionando água suficiente para solubilizá-lo e, sob agitação vigorosa, adicionaram-se lentamente 27 mL de hidróxido de sódio a 10% m/m. Manteve-se a agitação por 5 min. e dilui-se a pasta com água para 1 L.

A FIG. 11 mostra os reagentes preparados: óleo de amendoim, óleo de soja, Flotigam 5806 e amido, respectivamente.



Figura 11 - Reagentes de flotação utilizados
Fonte: Próprio autor.

4.4.2 TESTES DE FLOTAÇÃO DE FOSFATO

A flotação foi conduzida em uma célula mecânica de flotação acoplada a um raspador mecânico, para

retirada do material flotado, e cuba com volume útil de 3 L (FIG. 12).

Inicialmente, realizaram-se os testes de flotação em duplicatas, utilizando como coletor somente o óleo de amendoim nas dosagens de 1500 gton^{-1} , 2000 gton^{-1} e 2500 gton^{-1} , e o depressor amido na dosagem de 250 gton^{-1} . Os testes preliminares foram realizados para definir as condições dos ensaios. As condições de flotação foram: condicionava-se o depressor por 5 min. na polpa contendo aproximadamente 1,0 kg de minério moído e com teor de sólidos próximo a 40%; em seguida, adicionava-se o coletor, condicionando-o por 3 min.; por fim, a polpa era diluída e realizada a flotação durante 4 min. O pH foi controlado em 10,5 e ajustado com hidróxido de sódio a 10%, continuamente, após a dosagem do depressor, coletor e diluição. A rotação da célula para todos os testes foi de 1200 rpm.



Figura 12 - Célula de flotação
Fonte: Próprio autor.

Como o minério apresentava grande porcentagem de material fino (granulometria abaixo de 400 mesh – 0,37 mm), foi realizado um teste, simulando-se uma deslamagem grosseira e flotando a polpa nas

mesmas condições descritas acima, porém dosando 1500 gton⁻¹ do coletor. O material flotado, rico em fosfato, e o não flotado (ganga) foram coletados em bandejas identificadas e colocados para secar em estufa a 140 °C (FIG. 13).



Figura 13 - Aspecto do material flotado e do não flotado, respectivamente, após a secagem
Fonte: Próprio autor.

Em seguida os sólidos foram pesados e desaglomerados em peneira de 20 mesh (FIG.14). Realizou-se o quarteamento das amostras, pulverizou-se uma fração e a enviou para análise de elementos em Fluorescência de Raios-X.



Figura 14 - Material antes e após a desaglomeração
Fonte: Próprio autor.

Esta primeira etapa visava avaliar qual a melhor dosagem para a coleta do fosfato com os reagentes utilizados. Após a análise dos resultados, procedeu-se a novos testes.

Os testes seguintes foram realizados utilizando-se, separadamente, os coletores óleo de soja, óleo de amendoim e Flotigam 5806 na dosagem de 1500 gton⁻¹, o amido na dosagem de 400 gton⁻¹ em

todos os testes, condicionamento do depressor de 5 min, condicionamento do coletor de 3 min. e tempo de coleta de 5 min. Manteve-se o pH a 10,5 e a rotação da célula a 1200 rpm.

Os procedimentos após a flotação foram idênticos aos efetuados nos primeiros testes. Após os resultados de análises, fez-se avaliação dos mesmos e das eficiências dos reagentes, bem como das propriedades do minério empregado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE AMENDOIM

Na TAB.1 encontram-se os resultados obtidos das análises de caracterização da amostra do óleo de amendoim e os parâmetros especificados pela ANVISA (1999) através da Resolução nº 482.

O índice de peróxidos é um indicador do grau de oxidação do óleo e a sua presença é indício de deterioração. O índice de acidez revela o estado de conservação do óleo e correlaciona a quantidade de glicerídeos, processo este acelerado por aquecimento e exposição à luz. Porém a amostra analisada apresentou resultados aceitáveis desses parâmetros e de teor de umidade, indicando a estabilidade do óleo.

Tabela 1

Caracterização do óleo de amendoim

| Análise | Amostra | Parâmetro |
|--|---------|-----------|
| Índice de peróxidos, meqkg ⁻¹ | 2,84 | Máx. 10 |
| Índice de acidez, g de ácido oleico 100g ⁻¹ | 0,27 | Máx. 0,3 |
| Teor de umidade, % m/m | 1,82 | ----- |
| Índice de saponificação | 190 | 187 – 196 |

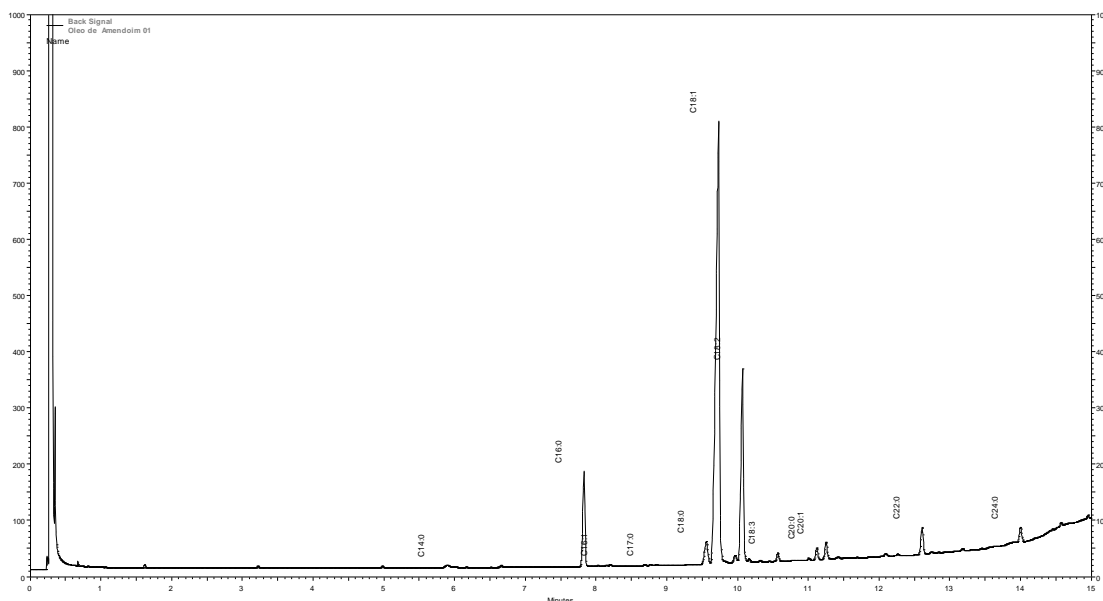


Figura 15 - Cromatograma do óleo de amendoim.

Tabela 2

Perfil de ácido graxos

| Ácido graxo | RT | Amostra | Parâmetro |
|-------------|-------|---------|-------------|
| | (min) | % | % |
| C14:0 | 5.89 | 0.5 | < 0,6 |
| C16:0 | 7.83 | 7.8 | 6,0 - 16,0 |
| C16:1 | 8.20 | 0.3 | < 1,0 |
| C17:0 | 8.85 | 0.1 | < 0,1 |
| C18:0 | 9.56 | 2.8 | 1,3 - 6,5 |
| C18:1 | 9.74 | 59.7 | 35,0 - 72,0 |
| C18:2 | 10.07 | 18.8 | 13,0 - 45,0 |
| C18:3 | 10.57 | 0.8 | < 0,3 |
| C20:0 | 11.12 | 1.1 | 1,0 - 3,0 |
| C20:1 | 11.25 | 1.7 | 0,5 - 2,1 |
| C22:0 | 12.61 | 2.3 | 1,0 - 5,0 |
| C24:0 | 14.00 | 1.3 | 0,5 - 3,0 |
| Outros | - | 2.9 | - |
| Total | | 100.0 | |

A composição de ácidos graxos obtida por cromatografia gasosa é mostrada na TAB. 2 e pode ser analisada pela FIG.15. O perfil dos óleos mostra a concordância com dados citados em literaturas e legislações. A amostra apresentou teor de ácido

oleico em torno de 60% e de ácido linoleico em torno de 18%.

Esses valores conferem a eficiência do óleo de amendoim ser utilizado como reagente de flotação de minerais não sulfetados, já que os sais desses ácidos graxos possuem elevado poder de atuação na interface sólido-líquido, alterando a superfície mineral; conseqüentemente, pertencem à classe de coletores aniônicos, não tio-surfactantes

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO MINÉRIO

A distribuição de tamanho entre as partículas a serem separadas é um fator determinante no desempenho do processo de flotação. Todo mineral, para responder adequadamente à flotação, deve apresentar distribuição granulométrica compatível com as características do minério e do processo. No caso de fosfato, a malha adequada para atingir grau de liberação de 100% é geralmente em torno de 210 μm . No processo industrial da Galvani, o material que segue para a flotação deve apresentar apenas 5%, no máximo, de grãos acima de 210 μm (correspondente a 65 mesh).

O minério amostrado apresentou-se bastante friável, consequentemente ocasionando grande geração de finos. Os testes de moagem realizados indicaram que o tempo de moagem de 3 min. não foi suficiente para atingir a granulometria ideal, pois a porcentagem retida na peneira de 65 mesh foi de 23,4%. Ao aumentar o tempo para 10 min., observou-se uma melhor cominuição, mas que ainda não era a ideal para o processo de flotação. Ao efetuar a moagem durante 15 min., verificou-se que o aumento da porcentagem de passantes em relação ao tempo de 10 min. não foi significativo e obteve-se elevada geração de finos, o que acarretaria interferências nos testes de flotação. Portanto, adotou-se como tempo de moagem para todos os testes seguintes o período de 10 min.

| Tempo (min) | %Passante em 65 # |
|-------------|-------------------|
| 3 | 76,6 |
| 10 | 86,8 |
| 15 | 87,4 |

Os resultados da análise granulométrica do minério processado neste trabalho encontram-se na TAB. 3. A FIG. 16 apresenta a distribuição granulométrica do minério após a moagem.

Tabela 3
Análise granulométrica

| Tamanho | | Massa retida g | Porcentagem | |
|---------|-------|-------------------|-------------|-----------|
| Malha | Micra | | Simples | Acumulada |
| 48 | 297 | 20,44 | 5,1 | 5,1 |
| 65 | 210 | 19,89 | 5,0 | 10,1 |
| 100 | 149 | 36,36 | 9,1 | 19,2 |
| 150 | 105 | 28,35 | 7,1 | 26,3 |
| 200 | 74 | 26,08 | 6,5 | 32,8 |
| 270 | 53 | 22,80 | 5,7 | 38,5 |
| 325 | 44 | 11,06 | 2,8 | 41,3 |
| 400 | 37 | 4,86 | 1,2 | 42,5 |
| <400 | <37 | 230 | 57,5 | 100 |
| Total | | 399,84 | 100 | - |

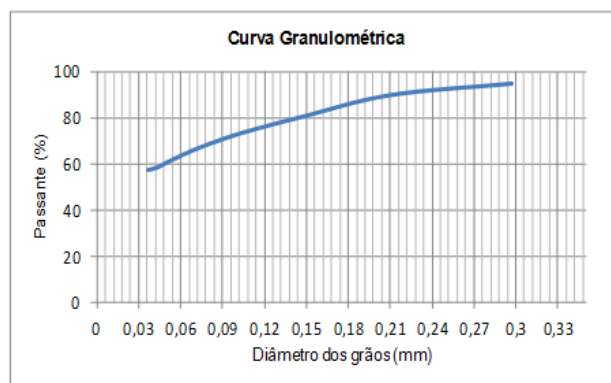


Figura 16 - Distribuição granulométrica do minério

Analisando-se os dados acima, verificou-se que 57,5% do minério a ser flotado representavam finos e 10,1% da massa estava acima da malha de liberação. De acordo com Amorim (2013), há um consenso geral entre pesquisadores de que a taxa de flotação diminui com a redução do tamanho de partícula nas frações finas, mas cálculos teóricos não conseguem explicar adequadamente os resultados experimentais e existem controvérsias sobre a partir de qual tamanho o efeito se acentua. Com relação às partículas grossas, o maior problema está em manter a estabilidade do agregado partícula-bolha formada: estudos mostram que as mesmas forças responsáveis pela colisão e agregação entre partículas e bolhas podem romper a estabilidade do agregado.

Costa (2012), na flotação aniônica direta da apatita, sugeriu que partículas com diâmetro maior que 209 μm se reportam preferencialmente ao produto afundado, independentemente da dosagem do coletor, ângulo de contato etc. Este comportamento é responsável por baixas recuperações de P_2O_5 . Também estudou a influência do tamanho de partícula na flotação de minérios fosfatados e constatou que as partículas maiores que 37 μm apresentaram uma recuperação em torno de 98,9%.

Por outro lado, as partículas menores que 37 μm apresentaram uma recuperação de 82,2%.

Para se obter uma polpa mais adequada à flotação, deveria ter sido realizada previamente uma deslamagem da amostra. Porém, como a porcentagem de finos estava acima de 50%, ter-se-ia elevada perda de material, o que se tornou inviável, pois a massa inicial de minério era bastante pequena, em torno de 18 kg, e não seria suficiente para realizar os demais testes.

Outra proposta para reduzir a fração de finos seria realizar um peneiramento de todo o material após a britagem em malha de 210 μm e somente a fração retida seria enviada à etapa de moagem até atingir a granulometria desejada. Em seguida, ambas as frações deveriam ser homogeneizadas em um misturador, controlando-se o percentual de sólidos, e, após esse procedimento, retiravam-se as alíquotas para a flotação.

5.3 PREPARO DOS REAGENTES

A eficiência da reação de hidrólise alcalina foi verificada através da inspeção visual do material obtido na presença de água. Se houvesse completa solubilização, considerava-se como saponificado; caso contrário, a espécie era descartada.

O grau de conversão da reação de saponificação com hidróxido de sódio para o óleo de soja e o Flotigam 5806 foi considerado satisfatório, visto que, após a reação, o produto obtido era totalmente solúvel em água.

Quanto ao óleo de amendoim, a reação não foi completa quando se realizava saponificação com hidróxido de sódio, havendo formação de duas fases. Essas fases não se misturavam, mesmo após a emulsificação em aparelho de ultrassom. Inferiu-se que esse comportamento era relacionado ao grau de

pureza do óleo, já que se tratava de um produto refinado. Portanto realizou-se a hidrólise com hidróxido de sódio, álcool etílico e aquecimento em sistema de refluxo.

A reação foi eficiente, a solução final foi totalmente solúvel em água e manteve-se estabilizada. Oliveira (2005) cita que estudos dos processos de saponificação de óleos vegetais realizados por diferentes metodologias concluíram que o método que apresentou melhor desempenho foi com hidróxido de sódio, álcool etílico e refluxo, embora tenha sido o procedimento mais complexo e mais caro, quando comparado aos outros métodos.

5.4 TESTES DE FLOTAÇÃO

As dosagens iniciais do coletor nos testes de flotação foram baseadas nas informações cedidas pela empresa Galvani, que utiliza em sua planta industrial 2170 gton^{-1} de coletor na flotação de fosfato, sendo realizada somente em uma etapa, a rougher. Foram testadas dosagens abaixo e acima desse valor, a fim de se obter qual a faixa ideal de recuperação para o óleo de amendoim, que não é utilizado comercialmente para essa finalidade, e também por não existirem estudos anteriores sobre sua eficiência nesse quesito.

Utilizou-se o amido de milho como agente depressor dos minerais de ganga, sendo a sua função inibir a adsorção do coletor sobre as superfícies dos minerais que não se deseja flotar, mantendo a hidrofobicidade necessária para que essas partículas permaneçam em contato com a fase aquosa (OLIVEIRA, 2005).

Os teores de fosfato e de outros elementos do concentrado e rejeito obtidos nos testes preliminares da flotação encontram-se na TAB.4. Os valores de recuperação de massa e fosfato estão dispostos na TAB.5.

Tabela 4
Testes de flotação com óleo de amendoim

| | | TESTE 1 | | TESTE 2 | | TESTE 3 | | TESTE 4 - Deslamagem | |
|--------------------------------|------------------------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|
| Dosagem do coletor | | 1500 gton ⁻¹ | | 2000 gton ⁻¹ | | 2500 gton ⁻¹ | | 1500 gton ⁻¹ | |
| Elementos dosados (%) | Amostra de alimentação | Conc. | Rejeito | Conc. | Rejeito | Conc. | Rejeito | Conc. | Rejeito |
| P ₂ O ₅ | 9,00 | 10,70 | 8,70 | 10,70 | 8,90 | 10,00 | 9,00 | 13,70 | 7,40 |
| SiO ₂ | 47,40 | 42,60 | 48,50 | 43,60 | 48,50 | 45,60 | 49,70 | 40,50 | 50,10 |
| Al ₂ O ₃ | 20,80 | 19,50 | 20,30 | 19,30 | 20,60 | 20,50 | 18,70 | 17,40 | 20,90 |
| Fe ₂ O ₃ | 5,32 | 7,56 | 5,11 | 7,34 | 5,21 | 6,50 | 5,20 | 5,80 | 5,11 |

Tabela 5
Recuperações

| Recuperação | TESTE 1 | TESTE 2 | TESTE 3 | TESTE 4 – Deslamagem |
|--------------------------------|---------|---------|---------|-------------------------|
| | 1500 | 2000 | 2500 | 1500 |
| Mássica | 36,45% | 39,48% | 40,36% | 40,50% |
| P ₂ O ₅ | 43,33% | 46,94% | 44,85% | 61,65% |
| SiO ₂ | 32,76% | 36,31% | 38,83% | 34,61% |
| Al ₂ O ₃ | 34,17% | 36,63% | 39,78% | 33,88% |
| Fe ₂ O ₃ | 51,79% | 54,47% | 49,32% | 44,16% |

Analisando-se os dados, verifica-se que o teor de fosfato no minério de alimentação é de 9%, e este apresenta elevado teor de contaminantes como sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃).

O teor de contaminantes também foi elevado nos concentrados de todos os testes, o que significa que a ganga não foi deprimida com eficiência. A flotação não foi seletiva em nenhum dos casos: visualmente isso pode ser percebido pela grande quantidade de espuma desmineralizada e pela presença de bolhas não estabilizadas. Por meio das análises, observa-se elevada recuperação de massa nos concentrados (36 a 40%), porém com teores de fosfato próximos ao do minério de alimentação.

O aumento da dosagem do coletor (óleo de amendoim) não provocou melhoria no poder de

coleta. Ao contrário, apresentou elevado teor de sílica e alumina e menor recuperação de fosfato.

Todos os testes apresentaram baixas recuperações quando comparadas àquelas obtidas em processos industriais cujos valores de recuperação atingem patamares acima de 80%. O resultado mais significativo foi para o caso em que se realizou uma deslamagem grosseira na polpa: ao retirar a fração de finos, o gasto com reagentes foi menor e obteve-se melhor recuperação de fosfato (61,65%). Comprova-se, com efeito, que grandes quantidades de materiais finos, devido à elevada área superficial dos mesmos, aumentam o consumo do coletor e diminuem a sua eficiência. Porém, como já foi discutida, a deslamagem de finos, além de não ter sido padronizada, provocaria perda de massa muito grande: de uma polpa inicial de 1000 g apenas 740 g

foram encaminhadas para a flotação, o que representa perda de aproximadamente 26% de material.

Para verificar se o desempenho do óleo de amendoim na flotação foi devido às suas propriedades ou ao conjunto de fatores discutidos acima (como a granulometria), foram realizados testes com coletores conhecidos e aplicados amplamente no beneficiamento de fosfatos: o óleo de soja e o Flotigam 5806.

Conforme pode ser observado na TAB. 6, as recuperações de P_2O_5 dos diferentes coletores foram bastante similares, variando entre 52 e 58%. Os resultados das análises de teores dos elementos na alimentação, no concentrado e no rejeito das flotações encontram-se na TAB.7.

O comportamento da flotação foi fortemente influenciado pelas características granuloquímicas do minério analisado, pois até mesmo o óleo de soja, que é amplamente utilizado na concentração de P_2O_5 , apresentou baixa recuperação. O coletor que mais se aproximou dos resultados do óleo de soja foi o óleo de amendoim, porém apresentou teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 em torno de 30% mais elevados, o que leva a inferir que foi menos seletivo.

Tabela 6
Recuperações dos diferentes coletores

| Recuperações | Amendoim | Soja | Flotigam 5806 |
|--------------|----------|--------|---------------|
| Mássica | 45,63% | 43,88% | 38,61% |
| P_2O_5 | 54,08% | 58,38% | 52,68% |
| SiO_2 | 49,99% | 38,37% | 33,19% |
| Al_2O_3 | 50,49% | 38,30% | 34,20% |
| Fe_2O_3 | 62,92% | 49,10% | 42,82% |
| CaO | 60,16% | 57,67% | 51,59% |

O Flotigam 5806 teve o desempenho mais baixo para a coleta de P_2O_5 , quando comparado ao óleo de soja. Porém apresentou menor recuperação de massa e de contaminantes, sendo viável para a aplicação industrial que busca por reagentes que proporcionam alta recuperação metalúrgica com elevado teor do mineral de interesse e baixos teores de minerais de ganga.

Observou-se também que o aumento do tempo de coleta de 4 para 5 min. ocasionou um aumento de 19,88% da recuperação metalúrgica quando o óleo de amendoim foi utilizado. Esse resultado pode ser devido à cinética da flotação, necessitando de um tempo maior de contato entre os reagentes e a polpa para que a reação se processe.

Tabela 7
Teores de concentrado e rejeito da flotação com diferentes coletores

| Coletor | | Amendoim | | Soja | | Flotigam 5806 | |
|-----------|-------------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|
| Dosagem | | 1500 gton ⁻¹ | | 1500 gton ⁻¹ | | 1500 gton ⁻¹ | |
| Elementos | Alimentação | Conc. | Rejeito | Conc. | Rejeito | Conc. | Rejeito |
| P_2O_5 | 10,80 | 12,80 | 10,10 | 14,37 | 8,93 | 14,73 | 8,33 |
| SiO_2 | 47,20 | 43,40 | 49,43 | 41,27 | 47,03 | 40,57 | 51,20 |
| Al_2O_3 | 20,10 | 18,67 | 19,03 | 17,54 | 20,48 | 17,80 | 20,67 |
| Fe_2O_3 | 5,30 | 6,13 | 4,53 | 5,93 | 4,73 | 5,88 | 4,93 |
| CaO | 12,20 | 13,50 | 12,17 | 16,03 | 10,63 | 16,3 | 9,87 |

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que a composição do óleo de amendoim quanto às propriedades relevantes a um agente coletor de P_2O_5 é bastante semelhante à do óleo de soja. Sua eficiência quanto ao poder de coleta de fosfatos foi equivalente aos reagentes industrialmente utilizados, conforme mostraram os resultados: a recuperação metalúrgica da flotação de P_2O_5 , utilizando o óleo de amendoim na dosagem 1500 gton^{-1} , foi de 54,08%, sendo que, com o óleo de soja e com o Flotigam, nas mesmas dosagens, obtiveram-se recuperações de 58,38% e 52,68%, respectivamente.

Ressalta-se que houve fatores no decorrer da execução do trabalho, principalmente ligados às características do minério, que influenciaram nos dados obtidos. As recuperações mássicas e metalúrgicas poderiam ter sido otimizadas através da realização da deslamagem - processo executado antes da flotação, que tem como objetivo evitar o arraste de partículas finas e o aumento do consumo de reagentes - e melhor depressão dos minerais de ganga.

Dentre as condições propostas para posteriores estudos, ressalta-se que se devem efetuar os testes com o óleo não refinado, cujo preço é mais atrativo para a indústria, a fim de determinar as condições de saponificação; realizar previamente análises granulométricas imprescindíveis para se relacionar os teores de P_2O_5 em cada fração dos grãos e analisar o comportamento das mesmas durante a concentração, bem como prever a recuperação metalúrgica.

A utilização do óleo de amendoim como reagente coletor alternativo em escala industrial, em substituição parcial ou total aos reagentes atualmente usados, seria uma importante contribuição estratégica do setor mineral para a sustentabilidade, pois se pode obtê-lo do resíduo do processo de refino do óleo. Agregar valor a tal resíduo geraria benefícios ambientais e econômicos.

7 AGRADECIMENTOS

Agradeço à orientadora, Prof.^a Christianne Garcia Rodrigues, e à coorientadora, Prof.^a Magali Maria Araújo Barroso, pela orientação, correções, incentivo e empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

À empresa Galvani e à Clariant, pelo fornecimento das amostras e informações.

Aos pesquisadores, Plínio José Eduardo Praes e Rodrigo Oscar Albuquerque, e ao técnico químico, Francisco Jorge Caldeira, do setor de Tecnologia Mineral do CDTN pelo apoio, colaboração, sugestões, orientações na realização das atividades e discussão dos resultados, e por terem disponibilizado os laboratórios e equipamentos necessários aos ensaios e análises.

Ao mestrando Edson Raso, pela ajuda na realização dos testes laboratoriais.

À Vanny Ferraz, do Laboratório de Cromatografia do Departamento de Química da UFMG, pelas realizações das análises cromatográficas.

REFERÊNCIAS

ABICAB. **Amendoim história**. São Paulo: Pró-amendoim, 2014. Disponível em <http://www.proamendoim.com.br/amendoim_historia.php> Acesso em: 10 abr. 2014.

AMORIM, I. B. S. F.. **Influência do tamanho das partículas na flotação**. Universidade Federal de Goiás: Catalão, 2013. Disponível em <

http://engenhariademinasufg.com.br/2013-1/TCC_site/isabella.pdf. Acesso em: 01 nov. 2014.

ANVISA. **Resolução RDC nº482**. 23 de setembro de 1999. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/a2190900474588939242d63fbc4c6735/RDC_482_1999.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: 14 jul. 2014.

CAP AGORINDUSTRIAL. **A história do amendoim**. Dumont, 2014. Disponível em <<http://www.cap.ind.br/noticia/a-historia-do-amendoim>>. Acesso em: 30 mar. 2014.

COSTA, D. S.. **Uso de óleos vegetais amazônicos na flotação de minérios fosfáticos**. 2012. 191p. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em <www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8RXP2C>. Acesso em: 10 mai. 2014.

DUARTE, A.. **Amendoim – A noz subterrânea. Cultivo em Aljezur**. 2008. 11p. Universidade do Algarve, Algarve, 2008. Disponível em <<https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/2776/1/2008-Amendoim-Revista%20Al-Rihana.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do amendoim**. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Amendoim/CultivodoAmendoim/importancia.html>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

FAGURY NETO, E.. **Flotação**. Universidade Federal do Pará: Macapá, 2012. Disponível em:<http://www.femat.ufpa.br/materiais/Apostila_Flota%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2014.

FERREIRA, G. G. *et al.*. **Relatório de tratamento de minérios**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em <<http://xa.yimg.com/kq/groups/.../name>>. Acesso em: 05 mai. 2014.

FRÉ, N. C. **Obtenção de ácidos graxos a partir da acidulação de borra de neutralização de óleo de soja**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. 100 p. Disponível em <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17498/000717847.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 mar. 2014.

FUENTES, P. H. A.. **Avaliação da qualidade de óleos de soja, canola, milho e girassol durante o armazenamento**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/95494>>. Acesso em: 25 abr.2014.

GRACIANO, É. S. A. **Estudos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de amendoim (arachis hipogaea l) submetidos à deficiência hídrica**. 2009. 66p. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em <http://www.pgb.ufrpe.br/doctos/2009/dissertacoes/DISSERTACAO_ERIKA_SOCORRO_ALVES_GRACIANO.PDF>. Acesso em: 30 mar. 2014.

GUIMARÃES, G. C., LIMA, R. M. F., OLIVEIRA, M. L. M. **Flotação de diferentes tipologias de minério fosfático de Tapira/MG, usando o coletor óleo de soja hidrogenado**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 57, p. 203-207, 2004. Disponível em <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370>. Acesso em: 01 nov. 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª Ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

LIMA, T. M.. **Cultivo do amendoim submetido a diferentes níveis de adubação e condições edafoclimáticas no sudeste de Goiás**. 2011. 133 p. Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2011. Disponível em <http://posagronomia.jatai.ufg.br/uploads/217/original_TATIANE.pdf?1348170641%20> Acesso em: 08 abr. 2014.

MELO, M. A. M.. **Avaliação das propriedades de óleos vegetais visando a produção de biodiesel**. 2010. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010. Disponível em <www.ppgq.quimica.ufpb.br/.../Dissertacao>. Acesso em: 30 ago. 2014.

OLIVEIRA, J. A. **Grau de saponificação de óleos vegetais na flotação seletiva de apatita de minério carbonatítico**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2005. 187 p. Disponível em http://www.tede.ufop.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=32. Acesso em: 25 mar. 2014.

PERES, A. E.C. *et al.*. Beneficiamento de Minérios de Ouro. In: **Extração de ouro – Princípios, tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro, CETEM, 2002. Disponível em <<http://www.cetem.gov.br/files/docs/livros/2002/extracao-ouro.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2014.

SANTOS, R. C. *et al.*. Produtividade de grãos e óleos de genótipos de amendoim para o mercado oleoquímico. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n.1, p.72 – 77, jan – mar 2012. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902012000100009>. Acesso em: 13 abr. 2014.

SOLOMONS, T. W. G. **Química orgânica**. 6ª. Ed. Tradução: Macedo. Rio de Janeiro: Editora LTC, v.1 e 2, 1996.

SUASSUNA, T. M., SMIRDERLE, O., ANTONIASSI, R.. **Avaliação preliminar da qualidade tecnológica do amendoim produzido em Roraima**. In: IV

Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. 2010. João Pessoa. 1p – 5p. Disponível em <<http://www.cbmamona.com.br/pdfs/MEG-47.pdf>> Acesso em: 01 abr. 2014.