

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL**

**GRAU DE SAPONIFICAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS
NA FLOTAÇÃO SELETIVA DE APATITA DE
MINÉRIO CARBONATÍTICO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mineral

Área de concentração: Tratamento de Minérios

Autor: Jardel Alves de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz

Novembro/2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL**

**GRAU DE SAPONIFICAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS
NA FLOTAÇÃO SELETIVA DE APATITA DE
MINÉRIO CARBONATÍTICO**

Autor: Jardel Alves de Oliveira

Orientador: Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz

**Dissertação de mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mineral da Universidade
Federal de Ouro Preto, como parte
integrante dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Engenharia
Mineral. Área de Concentração:
Tratamento de Minérios.**

Ouro Preto, novembro de 2005

O48g Oliveira, Jardel Alves de.

Grau de saponificação de óleos vegetais na flotação seletiva de apatita de minério carbonatítico [manuscrito]. / Jardel Alves de Oliveira. – 2005. xiii, 187f. : il. color., graf., flux., tabs.

Área de concentração: Tratamento de Minérios.

Orientador: Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas. Programa de pós-graduação em Engenharia Mineral.

1. Beneficiamento de minério. - Teses. 2. Rochas fosfáticas – Tapira (MG) - Teses. 4. Flotação. – Teses 5. Ácidos graxos - Teses. 6. Fosfatos – Teses I. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas. Programa de pós-graduação em Engenharia Mineral. II. Título.

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

À minha família: Carlos, Vilma, Janaína e Jádison.

AGRADECIMENTOS

Aos meus maiores mestres, Carlos e Vilma, pelo exemplo de amor, respeito, dedicação e cumplicidade.

Aos meus irmãos e amigos, Janaína e Jádison, pelo apoio e pelo entusiasmo diante das minhas conquistas.

À Nilma, pelo seu amor e companhia.

À tia Reni, pelo apoio incondicional.

Ao professor José Aurélio Medeiros da Luz, pela orientação precisa.

Ao engenheiro metalurgista Eliomar Evaristo Ferreira, pelo eficiente suporte.

Às amigas e companheiras da graduação e do mestrado, Maria Fernanda, Dalila e Érica e ao amigo do mestrado, Alysso.

Aos amigos Marcos e Vitor, pela boa convivência.

À Fosfertil Fertilizantes Fosfatados S/A, pela grande parceria, cedendo as amostras minerais, realizando análises químicas quantitativas e financiando etapas do trabalho.

Ao professor Paulo Roberto Gomes Brandão, da Escola de Engenharia da UFMG, pelas análises de Espectrometria de Infravermelho e pelo auxílio na interpretação dos espectros.

Ao professor Marco Túlio Coelho Silva, do DTA/UFV, pelas análises de caracterização dos óleos, por via úmida e por Cromatografia Gasosa.

Ao professor Geraldo Magela da Costa, do DEQUI/UFOP, pelas análises químicas qualitativas das amostras minerais, por difração de raios X.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da UFOP.

Aos funcionários do laboratório de tratamento de minérios do Departamento de Engenharia de Minas da UFOP.

Ao Departamento de Engenharia de Minas e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da UFOP e às suas secretárias, Denise e Luciana.

À CAPES, órgão financiador da bolsa de mestrado.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Óleos vegetais	4
2.1.1. Generalidades.....	4
2.1.2. Composição	5
2.1.3. A reação de saponificação	17
2.1.4. Outras reações importantes	21
2.1.5. Análise das propriedades físico-químicas.....	22
2.2. Sais alcalinos de ácidos graxos como coletores.....	28
2.2.1. Características da cadeia hidrocarbônica e eficiência do coletor	28
2.2.2. Comportamento do coletor em meio aquoso	29
2.2.3. Formação de micelas	32
2.2.4. Solubilidade	36
2.3. Outros reagentes de flotação.....	38
2.3.1. Coletores da apatita.....	38
2.3.2. Depressores	39
2.3.3. Moduladores de pH.....	41
2.4. Rochas Fosfáticas	41
2.4.1. Reservas brasileiras.....	41
2.4.2. Complexo de Mineração de Tapira-MG.....	42
2.4.3. Utilização do concentrado fosfático	44
2.5. Características do mineral apatita e do minério fosfático de Tapira.....	44
2.5.1. O mineral apatita.....	44
2.5.2. O minério fosfático de Tapira	48
3. OBJETIVOS	50
4. RELEVÂNCIA DO TRABALHO	51
5. METODOLOGIA	52
5.1. Caracterização das amostras minerais	52
5.2. Caracterização dos óleos vegetais.....	53

5.3. Saponificação dos óleos vegetais.....	54
5.4. Ensaio de Microflotação.....	57
5.5. Ensaio de Flotação em escala de bancada.....	58
5.5.1. Etapa de desbaste (<i>rougher</i>)	58
5.5.2. Etapa de limpeza (<i>cleaner</i>)	60
5.5.3. Etapa de limpeza (<i>cleaner</i>) com coletor sintético KE883B.....	60
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
6.1. Caracterização dos minérios fosfáticos.....	61
6.2. Caracterização físico-química dos óleos vegetais	61
6.2.1. Viscosidade cinemática (<i>v</i>)	61
6.2.2. Análises via úmida.....	67
6.2.3. Cromatografia gasosa	76
6.2.4. Espectrometria de infravermelho.....	82
6.3. Habilidade de saponificação dos óleos vegetais	87
6.4. Ensaio de Microflotação.....	89
6.5. Ensaio de flotação em escala de bancada.....	89
6.5.1. Etapa de desbaste (<i>rougher</i>)	91
6.5.2. Etapa de limpeza (<i>cleaner</i>)	109
7. CONCLUSÕES.....	119
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	121
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
10. APÊNDICES.....	131
11. ANEXOS	165

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Isomeria <i>cis</i> e <i>trans</i>	12
Figura 2.2 – Molécula de glicerol.....	13
Figura 2.3 – Representação de mono, di e triglicerídeo.....	13
Figura 2.4 – Fosfatídeo.....	16
Figura 2.5 – Cera.....	16
Figura 2.6 – Saponificação dos óleos em função do tempo.....	19
Figura 2.7 – Caminho da reação de saponificação dos óleos.....	20
Figura 2.8 – Diagrama de distribuição das diversas espécies de oleato em função do pH. Concentração total do oleato: $1,5 \times 10^{-5}$ mol/L.....	31
Figura 2.9 – Diagrama de distribuição das diversas espécies de oleato em função do pH. Concentração total do oleato: $3,5 \times 10^{-4}$ mol/L.....	31
Figura 2.10 – Ilustração simplificada da molécula de sabão.....	33
Figura 2.11 – Micela de sabão envolvida por moléculas de água.....	35
Figura 2.12 – Diagrama de domínio para o ácido oléico.....	37
Figura 2.13 – Surfatantes derivados de ácidos graxos.....	40
Figura 6.1 – Viscosidade cinemática da água destilada versus temperatura.....	65
Figura 6.2 – Viscosidades cinemáticas dos óleos versus temperatura.....	66
Figura 6.3 – Cromatograma do ácido oléico.....	78
Figura 6.4 – Cromatograma do óleo de babaçu refinado.....	79
Figura 6.5 – Cromatograma do Hidrocol sem hidrogenação.....	80
Figura 6.6 – Cromatograma do Hidrocol parcialmente hidrogenado.....	81
Figura 6.7 – Espectro de infravermelho de transmissão do ácido oléico.....	83
Figura 6.8 – Espectro de infravermelho de transmissão do óleo de babaçu refinado.....	84
Figura 6.9 – Espectro de infravermelho de transmissão do Hidrocol sem hidrogenação.....	85
Figura 6.10 – Espectro de infravermelho de transmissão do Hidrocol parcialmente hidrogenado.....	86
Figura 6.11 – Habilidade de saponificação dos óleos. Temperatura de saponificação: aproximadamente 40 °C.....	88

Figura 6.12 – Flotabilidade média da apatita em função do grau de saponificação dos óleos, em pH 10,4. Concentração do coletor: $5,0 \times 10^{-5}$ mol/L.....	90
Figura 6.13 – Recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado versus grau de saponificação do ácido oléico, para o minério granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	92
Figura 6.14 – Recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado versus grau de saponificação do ácido oléico, para o minério friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	93
Figura 6.15 – Recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado versus grau de saponificação do Hidrocol parcialmente hidrogenado, para o minério granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	94
Figura 6.16 – Recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado versus grau de saponificação do Hidrocol parcialmente hidrogenado, para o minério friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	95
Figura 6.17 – Recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado versus grau de saponificação do Hidrocol sem hidrogenação, para o minério granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	97
Figura 6.18 – Recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado versus grau de saponificação do Hidrocol sem hidrogenação, para o minério friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	98
Figura 6.19 – Relação (CaO/ P_2O_5) versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	100
Figura 6.20 – Relação (CaO/ P_2O_5) versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	101

Figura 6.21 – Teor de Fe_2O_3 no concentrado versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	102
Figura 6.22 – Teor de Fe_2O_3 no concentrado versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	103
Figura 6.23 – Teor de MgO no concentrado versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	105
Figura 6.24 – Teor de MgO no concentrado versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	106
Figura 6.25 – Índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	107
Figura 6.26 – Índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Ácidos graxos saturados.....	8
Tabela 2.2 – Ácidos graxos insaturados.....	10
Tabela 2.3 – Composição aproximada de alguns óleos vegetais.....	26
Tabela 2.4 – Concentração micelar crítica de alguns sabões.....	34
Tabela 2.5 – Reservas brasileiras oficiais de rocha fosfática.....	43
Tabela 2.6 – Composição típica dos minérios de Tapira-MG.....	49
Tabela 6.1 – Composição química dos minérios fosfáticos de Tapira.....	62
Tabela 6.2 – Viscosidade cinemática (ν) da água destilada em diferentes temperaturas.....	63
Tabela 6.3 – Índices de acidez dos óleos.....	68
Tabela 6.4 – Índices de saponificação dos óleos.....	69
Tabela 6.5 – Índices de iodo dos óleos.....	71
Tabela 6.6 – Índices de peróxidos dos óleos.....	72
Tabela 6.7 – Teores de umidade dos óleos.....	74
Tabela 6.8 – Matéria insaponificável dos óleos.....	75
Tabela 6.9 – Composição dos óleos, por Cromatografia Gasosa.....	77
Tabela 6.10 – Dados referentes ao concentrado de flotação em escala de bancada, etapa <i>cleaner</i> e sem KE883B, do minério fosfático granulado, após ajuste estatístico pelo algoritmo de Wills-Manser.....	110
Tabela 6.11 – Dados referentes ao concentrado de flotação em escala de bancada, etapa <i>cleaner</i> e com KE883B, do minério fosfático granulado, após ajuste estatístico pelo algoritmo de Wills-Manser.....	111
Tabela 6.12 – Dados referentes ao concentrado de flotação em escala de bancada, etapa <i>cleaner</i> e sem KE883B, do minério fosfático friável, após ajuste estatístico pelo algoritmo de Wills-Manser.....	114
Tabela 6.13 – Dados referentes ao concentrado de flotação em escala de bancada, etapa <i>cleaner</i> e com KE883B, do minério fosfático friável, após ajuste estatístico pelo algoritmo de Wills-Manser.....	115

RESUMO

Os ácidos graxos são as principais matérias-primas utilizadas na flotação aniônica de apatita. Dois reagentes obtidos a partir da borra de óleo de soja, o “Hidrocol parcialmente hidrogenado” e o “Hidrocol sem hidrogenação”, uma amostra de óleo de babaçu refinado e outra de ácido oléico, foram caracterizadas quimicamente através de análises por via úmida, por cromatografia gasosa e por espectrometria de infravermelho. O Hidrocol parcialmente hidrogenado e o Hidrocol sem hidrogenação apresentaram, aproximadamente, as mesmas composições em ácidos graxos, indicando que o processo de hidrogenação não foi efetivo; seus espectros de infravermelho foram bastante similares e o índice de acidez da amostra sem hidrogenação foi superior ao da amostra hidrogenada 152,48 e 134,67 mg KOH / g de amostra, respectivamente, indicando maior quantidade de ácidos graxos livres. Nos ensaios de microflotação de uma amostra de fluorapatita procedente de Monteiro-PB, em pH 10,4, utilizando os sabões dos óleos acima listados, nos graus de saponificação de 40, 55, 70, 85 e 100 %, exceto o óleo de babaçu que não apresentou grau de saponificação superior a 40 %, o sabão do Hidrocol “parcialmente hidrogenado” apresentou maior eficiência como coletor e alcançou maior flotabilidade com o grau de saponificação de 70 %. Foram realizados ensaios de flotação em bancada, *etapa rougher*, com amostras de minério fosfático granulado e friável, procedentes do Complexo Alcalino Carbonatítico de Tapira-MG, variando-se igualmente o grau de saponificação dos coletores e em pH 9,5. O teor de P_2O_5 e de MgO no concentrado, a recuperação de P_2O_5 e a relação (CaO/ P_2O_5) foram avaliados e os melhores resultados foram obtidos com grau de saponificação de 55 %, para os dois minérios e para todos os óleos, excluindo-se o óleo de babaçu. Foram realizados ensaios de flotação *etapa cleaner*, sem e com a adição do coletor sintético KE883B, um sulfosuccinato, para os óleos vegetais com grau de saponificação de 55 % e para os dois minérios. De maneira geral, comparando-se a etapa *rougher* às etapas *cleaner*, as recuperações diminuíram e os teores de P_2O_5 no concentrado aumentaram. Analisando-se as etapas *cleaner* sem e com o coletor sintético, para o ácido oléico, as recuperações aumentaram e os teores de P_2O_5 no concentrado diminuíram, inverso ao que se observou para o Hidrocol sem hidrogenação. Para o Hidrocol parcialmente hidrogenado, não houve variação significativa nos resultados.

ABSTRACT

The fatty acids are the principal collectors used in the anionic flotation of apatite. Two samples denominated “partially hydrogenated Hidrocol” and “without hydrogenation Hidrocol”, a sample of refined babassu oil, besides a sample of oleic acid, were characterized chemically through wet methods, by gaseous chromatography and infrared spectrometry. The partially hydrogenated Hidrocol and the without hydrogenation Hidrocol displayed almost the same composition in terms of fatty acids content, suggesting a not effective hydrogenation process; the infrared spectras were quite similar and the acidity index of the sample without hydrogenation was superior to the of the hydrogenated sample 152,48 and 134,67 mg KOH / g of sample, respectively, suggesting larger amount of free fatty acids. Microflotation tests were accomplished, in pH 10,4, with a fluorapatite sample from Monteiro-PB, using the soaps of the oils above mentioned, in the saponification degrees of 40, 55, 70, 85 and 100 %, except the babaçu oil that did not achieve saponification degree above 40 %. The soap of partially hydrogenated Hidrocol presented larger efficiency as collector and it reached larger floatability with the degree of saponification of 70 %. Bench scale *rougher* flotation tests were carried out, with ore samples from Tapira-MG, being varied the saponification degree of the collectors equally and in pH 9,5. Evaluating the P_2O_5 content, the P_2O_5 recovery, the ratio (CaO/P_2O_5) and the MgO content, the best results were achieved with the saponification degree of 55 %, for all the oils tested. *Cleaner* flotation tests were carried out in laboratory, in the absence and in the presence of the synthetic collector KE883B, a sulphosuccinate, for the vegetable oils with saponification degree of 55 %. In general, being compared with the *rougher* step, they increased the P_2O_5 contents and they diminished the P_2O_5 recoveries. Each oil presented a different behavior with the addition of the synthetic collector KE883B. For the oleic acid, they increased the P_2O_5 recoveries and they diminished the P_2O_5 contents, inverse to that was observed for the without hydrogenation Hidrocol. And for the partially hydrogenated Hidrocol, there was not significant variation in the results.

1. INTRODUÇÃO

Os óleos vegetais, na indústria mineral, são utilizados como matérias-primas para coletores de minerais não-sulfetados, principalmente de oxi-minerais. Esses óleos são constituídos, essencialmente, por triglicerídios (triacilgliceróis) ou ésteres de ácidos graxos. Os triglicerídios são formados por uma molécula de glicerol esterificada a três ácidos graxos e são classificados como simples quando os ácidos graxos são iguais e como mistos quando formados por três ácidos graxos diferentes.

Os óleos constituídos por ácidos graxos com uma ou mais duplas ligações em suas cadeias hidrocarbônicas podem sofrer oxidação pelo oxigênio atmosférico ou auto-oxidação. Por sua vez, a hidrogenação é um procedimento que consiste na adição de hidrogênio às cadeias hidrocarbônicas dos ácidos graxos insaturados, tipicamente em autoclaves a 200 °C e na presença de catalisador que pode ser níquel finamente dividido, por exemplo. Como os sítios de reação são as duplas ligações existentes na porção hidrocarbônica da molécula do ácido graxo, os átomos de hidrogênio são incorporados, ocorrendo saturação da cadeia, com eliminação das duplas ligações envolvidas (Solomons, 1996).

A saponificação ou hidrólise alcalina é a hidrólise dos óleos catalisada por base, geralmente sob aquecimento moderado (60 °C) e em meio aquoso. Os produtos dessa reação são moléculas de glicerol, além de ácidos graxos na forma de sabões (sais alcalinos). Essa mistura de sais de ácidos graxos constitui o coletor aniônico mais empregado na concentração, por flotação, de oxi-minerais. A composição das cadeias hidrocarbônicas dos ácidos graxos que formam os triglicerídios interfere nas propriedades coletoras dos seus sabões. Sendo assim, o conhecimento da composição química dos óleos utilizados como matérias-primas para coletores é de grande importância.

O depósito de fosfato mais importante, encontrado no Brasil, está localizado em Tapira, Minas Gerais, onde a Fosfertil Fertilizantes Fosfatados S/A realiza a exploração de um minério de fosfato de origem ígnea. A concentração desse oximineral é desenvolvida através do processo de flotação. Como coletor, emprega-se a mistura de sais de ácidos graxos, obtida através da saponificação com hidróxido de sódio (NaOH), sob aquecimento moderado, do reagente produzido a partir da borra de óleo de soja, parcialmente hidrogenado, chamado Hidrocol. O amido de milho (ou fubá de milho), previamente gelatinizado com hidróxido de sódio, é empregado como depressor dos minerais de ferro, além de auxiliar na depressão de oximinerais de ganga.

No processamento do minério fosfático, também se efetua a separação magnética de baixa intensidade com o objetivo de minimizar a quantidade de magnetita (Fe_3O_4) presente na ganga.

O procedimento de saponificação, que produz o coletor para a etapa de flotação do minério fosfático, acontece de forma contínua, dentro de reatores cilíndricos apropriados à operação. A alimentação dos reagentes (água, Hidrocol e hidróxido de sódio) é feita ininterruptamente. A concentração da soda cáustica é ajustada em aproximadamente 10 % m/v (10 g de NaOH para 100 mL de solução aquosa) para ser utilizada na saponificação do Hidrocol e no controle do pH. O óleo de soja parcialmente hidrogenado, cuja vazão representa cerca de 22 % a 30 % da vazão mássica total dos reagentes, chega aos reatores de saponificação a uma temperatura de aproximadamente 35 °C e é mantido sob aquecimento para evitar solidificação, o que prejudicaria seu bombeamento. Adiciona-se água para auxiliar na formação de uma mistura homogênea. A agitação é feita através de impelidor de turbinas e os reatores são mantidos sob aquecimento moderado. O sabão formado ainda sofre diluição, a fim de facilitar seu bombeamento para os condicionadores da usina.

O grau de saponificação (conversão) dos óleos vegetais é o principal parâmetro monitorado durante o processo de transformação do óleo vegetal em mistura de sais alcalinos de ácidos graxos. Esse parâmetro é expresso percentualmente e indica a fração de ácidos graxos que se converteu em sabão, seja através da neutralização dos ácidos graxos livres ou pela saponificação dos ácidos graxos presentes nos triglicerídios, ou seja, ligados ao glicerol através de ligações éster.

O largo emprego dos óleos vegetais, sob a forma de sabões, como coletores na concentração de oxi-minerais, incentivou muitos trabalhos verificando o potencial de vários desses óleos como matérias-primas para coletores, com base nos seus ácidos graxos constituintes (Brandão et al., 1994; Guimarães et al., 2005). Entretanto, são escassas as pesquisas sobre os efeitos do grau de saponificação dos óleos vegetais na flotação de oxi-minerais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

São apresentados os óleos vegetais em suas composições, as reações características e os procedimentos de análise relacionados aos mesmos, além da sucinta descrição do mineral apatita e do minério fosfático de Tapira-MG.

2.1. Óleos vegetais

2.1.1. Generalidades

Define-se óleo vegetal como substância de origem vegetal, insolúvel em água e formada, essencialmente, por produtos da condensação entre glicerol (propanotriol) e ácidos graxos, chamados triglicerídios ou triacilgliceróis, além de outros constituintes como fosfatídios, álcoois, ácidos graxos livres, etc., em pequenas quantidades (Caires, 1992; Moretto, 1998).

Os óleos (líquidos) e as gorduras (sólidas), em temperatura ambiente, se diferenciam na presença de maior ou menor quantidade de insaturações (duplas ligações) nas cadeias hidrocarbônicas dos ácidos graxos que os constituem, uma vez que estes representam 95 % do peso molecular dos seus triglicerídios correspondentes. Os óleos apresentam maior número de ácidos graxos insaturados que as gorduras (Moretto, 1998).

Segundo a resolução n° 20/77 do CNNPA, Conselho Nacional de Normas e Padrões para Alimentos, as gorduras possuem a temperatura de 20 °C como limite inferior para o ponto de fusão, ficando classificado como óleo quando o ponto de fusão apresenta-se abaixo dessa temperatura.

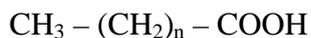
Apesar das formalidades na distinção entre óleos e gorduras, o termo gordura é o mais comumente empregado quando o estado físico ou a constituição não tem grande relevância.

2.1.2. Composição

Os componentes dos óleos vegetais podem ser reunidos em duas categorias: os glicerídios, essencialmente constituídos de ácidos graxos, e os não-glicerídios. A seguir, são apresentados os ácidos graxos, os glicerídios e os não-glicerídios.

2.1.2.a) Os ácidos graxos

Em geral, os ácidos graxos de ocorrência natural possuem uma longa cadeia constituída de átomos de carbono e hidrogênio (cadeia hidrocarbônica) e um grupo terminal, chamado “grupo carboxila”:



A representação genérica da fórmula de qualquer ácido graxo pode ser feita pela seguinte notação: R–COOH, onde R substitui a parte hidrocarbônica de uma molécula qualquer.

Os ácidos graxos podem ser saturados ou insaturados. Nos ácidos graxos saturados, os átomos de carbono estão unidos por ligações simples, ao passo que nos insaturados apresentam-se também ligados entre si por ligações duplas e/ou raramente ligações triplas. Baseando-se no número de duplas ligações presentes na cadeia hidrocarbônica, os ácidos graxos são denominados mono (uma dupla), di (duas duplas), tri-insaturados (três duplas), etc. (Moretto, 1998).

Os ácidos graxos encontrados nos óleos vegetais são, com raras exceções, mono-carboxílicos e com número par de átomos de carbono, incluindo o carbono do grupo carboxila. Os ácidos graxos livres representam fração muito pequena da quantidade total dos óleos. A maior parte apresenta-se esterificada ao glicerol, ou seja, ligada ao glicerol através de ligações éster, constituindo a fração saponificável dos óleos (Solomons, 1996; Lehninger, 1976).

Os ácidos graxos denominados incomuns caracterizam-se por: possuírem número ímpar de átomos de carbono, possuírem cadeia ramificada e sustentarem grupos funcionais tais como –OH e –CO– (Moretto, 1989).

Na composição dos principais óleos vegetais, com algumas exceções, predominam: os ácidos graxos com 16 ou 18 átomos de carbono na cadeia; os ácidos graxos insaturados sobre os saturados. Entre os saturados, os mais comuns são o palmítico (16 carbonos) e o esteárico (18 carbonos); entre os insaturados destacam-se o ácido oléico (18 carbonos e uma dupla ligação) e o linoléico (18 carbonos e duas duplas ligações). Uma das exceções é o óleo de babaçu, que é composto, em sua maioria, por ácidos graxos saturados: cerca de 44 % de ácido láurico (12 carbonos) e 17 % de mirístico (14 carbonos) (Caires, 1992).

Basicamente, a diferenciação entre os ácidos graxos é feita através do comprimento da cadeia hidrocarbônica e pelo número, posição e configuração das duplas ligações.

A nomenclatura IUPAC (a sigla significa, em português, União Internacional de Química Pura e Aplicada) para os ácidos graxos, determina que se utilize a palavra *ácido*, antes do nome particular obtido substituindo-se a terminação –o do nome do hidrocarboneto correspondente, pelo sufixo –óico (Solomons, 1996).

O número de átomos de carbono da cadeia (incluindo o carbono do grupo carboxila) é indicado por um prefixo grego. Por exemplo, deca: 10 carbonos, dodeca: 12 carbonos, tetradeca: 14 carbonos e assim por diante (Moretto, 1998).

A distinção entre os ácidos graxos saturados e os insaturados é feita pela adoção do sufixo -anóico para os saturados e -enóico para os mono-insaturados, -dienóico para os di-insaturados e assim por diante (Moretto, 1998).

Define-se a posição da dupla ligação na cadeia carbônica pelo número do primeiro carbono da ligação, atribuindo-se ao carbono da carboxila o número 1 (α , na nomenclatura vulgar, sendo os subseqüentes denominados β , γ , etc.). Além disso, indica-se a configuração estérica das insaturações por: cis ou Z e trans ou E. Se a configuração for omitida, considera-se que seja cis. Utiliza-se o mesmo

procedimento para determinar a posição de um grupo substituinte qualquer (Solomons, 1996; Moretto, 1998; Stryer, 1996).

Pode ser utilizada uma notação simplificada para representar a estrutura do ácido graxo, justapondo-se dois números ao símbolo C, separados por dois pontos. O primeiro representando o número de carbonos na cadeia e o segundo, o número de duplas ligações. As posições das duplas ligações são indicadas entre parênteses através do número do primeiro carbono formador da insaturação. Por exemplo, o ácido oléico, que possui 18 carbonos e uma dupla ligação cis nos carbonos 9 e 10, pode ser representado por C18:1(9) e o ácido elaídico, que possui 18 carbonos e uma dupla ligação trans nos carbonos 9 e 10, pode ser representado por C18:1(9^{trans}) (Moretto, 1989; Lehninger, 1976).

A nomenclatura IUPAC determina que os sais dos ácidos carboxílicos sejam representados pelo nome do ácido correspondente, substituindo-se a terminação -óico pela terminação -oato. Na nomenclatura sistemática (comum), basta substituir a terminação -ico do nome do ácido pela terminação -ato (Solomons, 1996).

Ácidos graxos saturados

Os ácidos graxos saturados não possuem ligações duplas em suas cadeias carbônicas e cada ligação simples do “esqueleto” possui completa liberdade de rotação, proporcionando grande flexibilidade à molécula (Lehninger, 1976).

Em temperatura ambiente, os ácidos graxos com menos de dez carbonos na cadeia são líquidos e os com dez ou mais carbonos na cadeia são sólidos. Na Tabela 2.1 são apresentados alguns ácidos graxos saturados.

Avaliando-se a composição dos principais óleos vegetais (soja, oliva, milho, côco, babaçu, amendoim, semente de girassol, linhaça, caroço de algodão e casca de arroz), os ácidos graxos saturados com número par de átomos de carbono, com 14 a 20 carbonos na cadeia, estão na maioria dos óleos. Os ácidos graxos com 6 a 12 carbonos na cadeia estão apenas nos óleos de côco e de babaçu (Caires, 1992).

TABELA 2.1. Ácidos graxos saturados (Caires, 1992; Moretto, 1998).

Átomos de carbono	Nome sistemático	Nome comum	Fórmula molecular	Peso molecular	Ponto de fusão (°C)
4	Butanóico	Butírico	$C_4H_8O_2$	88,10	-5,3
6	Hexanóico	Capróico	$C_6H_{12}O_2$	116,15	-3,2
8	Octanóico	Caprílico	$C_8H_{16}O_2$	144,21	16,5
10	Decanóico	Cáprico	$C_{10}H_{20}O_2$	172,26	31,6
12	Dodecanóico	Láurico	$C_{12}H_{24}O_2$	200,31	44,8
14	Tetradecanóico	Mirístico	$C_{14}H_{28}O_2$	228,36	54,4
16	Hexadecanóico	Palmítico	$C_{16}H_{32}O_2$	256,42	62,9
18	Octadecanóico	Esteárico	$C_{18}H_{36}O_2$	284,47	70,1
20	Eicosanóico	Araquídico	$C_{20}H_{40}O_2$	312,52	75,4
22	Docosanóico	Beênico	$C_{22}H_{44}O_2$	340,57	80,0
24	Tetracosanóico	Lignocérico	$C_{24}H_{48}O_2$	368,62	84,2

Exceto nos óleos de côco e de babaçu, os ácidos graxos saturados estão presentes em quantidades muito menores que os insaturados. Destaca-se o óleo de semente de girassol, que pode conter 96 % de ácidos graxos insaturados (Caires, 1992).

Ácidos graxos insaturados

Uma, duas, três ou mais duplas ligações podem estar presentes nas cadeias carbônicas dos ácidos graxos, denominando-os: mono, di, tri-insaturados, etc. Alguns deles estão na tabela 2.2. Raramente ocorrem ligações triplas.

A dupla ligação nos ácidos graxos mono-insaturados geralmente ocorre entre os carbonos 9 e 10. Já nos que possuem duas ou mais duplas ligações, a primeira dupla também normalmente ocorre entre os carbonos 9 e 10 e as demais insaturações ficam localizadas entre esta e a extremidade não-carboxilada da cadeia hidrocarbônica (Moretto, 1989).

Ainda nos ácidos graxos com duas ou mais duplas ligações, na maioria das vezes, há um grupo metileno separando uma dupla de outra ($-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$). Sendo assim, as duplas ligações são do tipo divinilmetano ou também podem ser consideradas não-conjugadas (Solomons, 1996; Lehninger, 1976).

O ácido graxo mono-insaturado mais comum e de maior ocorrência natural é o ácido oléico, com 18 carbonos na cadeia. Entre os poliinsaturados destacam-se o ácido linoléico (18 carbonos e 2 duplas), o ácido linolênico (18 carbonos e 3 duplas) e o ácido araquidônico (20 carbonos e 4 duplas) (Caires, 1992; Lehninger, 1976).

TABELA 2.2. Ácidos graxos insaturados (Solomons, 1996; Caires, 1992).

Átomos de carbono	Nome sistemático	Nome comum	Fórmula molecular	Peso molecular	Ponto de fusão (°C)
10	9-Decenóico	Caproléico	$C_{10}H_{18}O_2$	170	-
12	9-Dodecenóico	Lauroléico	$C_{12}H_{22}O_2$	198	-
14	9-Tetradecenóico	Miristoléico	$C_{14}H_{26}O_2$	226	-
16	9-Hexadecenóico	Palmitoléico	$C_{16}H_{30}O_2$	254	32
18	9-Octadecenóico	Oléico	$C_{18}H_{34}O_2$	282	14
18	Trans-9-Octadecenóico	Elaídico	$C_{18}H_{34}O_2$	282	46,5
18	9,12-Octadecadienóico	Linoléico	$C_{18}H_{32}O_2$	280	-5
18	9,12,15-Octadecatrienóico	Linolênico	$C_{18}H_{30}O_2$	278	-10
20	5,8,11,14-Eicosatetraenóico	Araquidônico	$C_{20}H_{32}O_2$	304	75

A presença das duplas ligações forma deflexões na cadeia hidrocarbônica do ácido graxo. Quando os segmentos formados pelas duplas ligações situam-se do mesmo lado da molécula, caracteriza-se a configuração *cis* e se estiverem de lados opostos, a configuração *trans* (figura 2.1). Na maioria dos ácidos graxos poliinsaturados, a configuração das ligações duplas é *cis* (Solomons, 1996; Stryer, 1996).

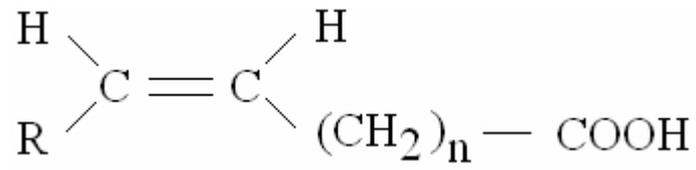
Avaliando-se a composição dos principais óleos vegetais (soja, oliva, milho, côco, babaçu, amendoim, semente de girassol, linhaça, caroço de algodão e casca de arroz), os ácidos graxos insaturados oléico e linoléico encontram-se em todos eles. O ácido palmitoléico (16 carbonos e 1 dupla) está presente nos quatro primeiros e no de algodão, sempre em pequenas quantidades. Já o ácido linolênico compõe os óleos de soja e de milho, em pequenas quantidades, além do óleo de linhaça, neste sim em proporções bem maiores que a dos outros ácidos graxos (Caires, 1992).

Também são encontrados os ácidos graxos hidroxilados, os de cadeia ramificada ou os carbocíclicos. Os principais são, respectivamente: o ácido ricinoléico (12-hidroxi-*cis*-9-octadecenóico), presente no óleo de rícino e de mamona; o ácido tuberculoesteárico (10-Metilesteárico), com número ímpar de átomos de carbono e derivado dos lipídios do bacilo da tuberculose; e o ácido chaulmúgrico (13-(2-ciclopentenil)-tridecanóico), encontrado no óleo de chaulmugra (Caires, 1992).

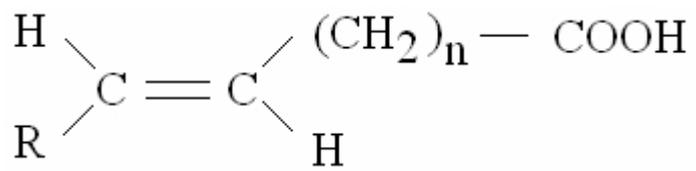
2.1.2.b) Glicerídios

Por definição, os glicerídios (ou acilgliceróis) são produtos da reação entre a molécula de glicerol (figura 2.2) com uma, duas ou três moléculas de ácido graxo, resultando em mono, di ou triglicerídio, respectivamente. A reação no sentido direto é chamada de esterificação e no sentido inverso de hidrólise. Portanto, os ácidos graxos são produtos da hidrólise dos glicerídios (Moretto, 1998).

Entre os glicerídios (mono, di e triglicerídio – figura 2.3), os triglicerídios são os mais abundantes na natureza e também são os principais componentes dos óleos vegetais, uma vez que os demais constituintes aparecem em proporções inferiores a 5 % (Moretto, 1989; Lehninger, 1976).



Configuração *cis*



Configuração *trans*

Figura 2.1. Isomeria *cis* e *trans*

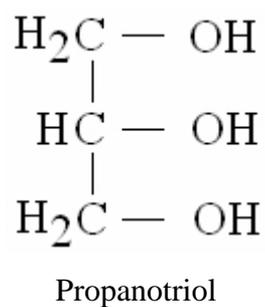


Figura 2.2. Molécula de glicerol

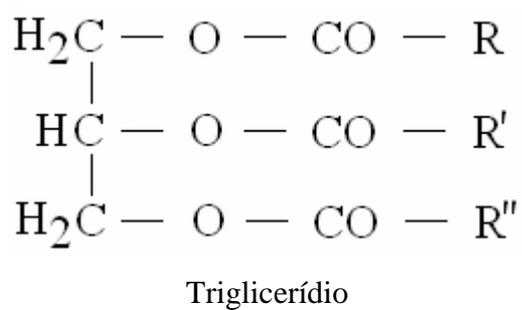
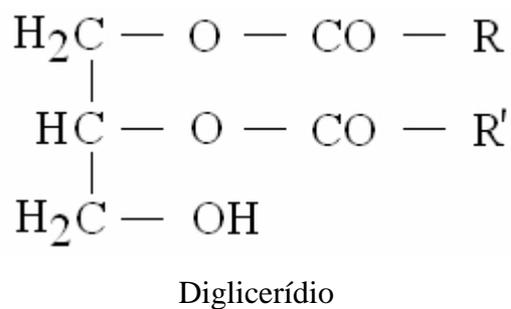
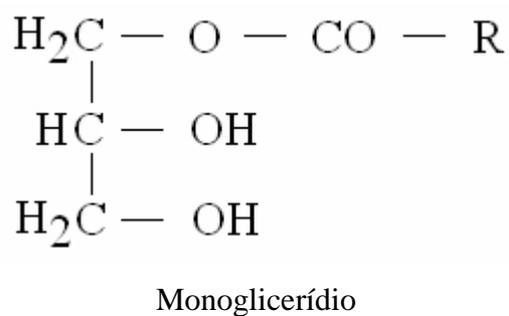
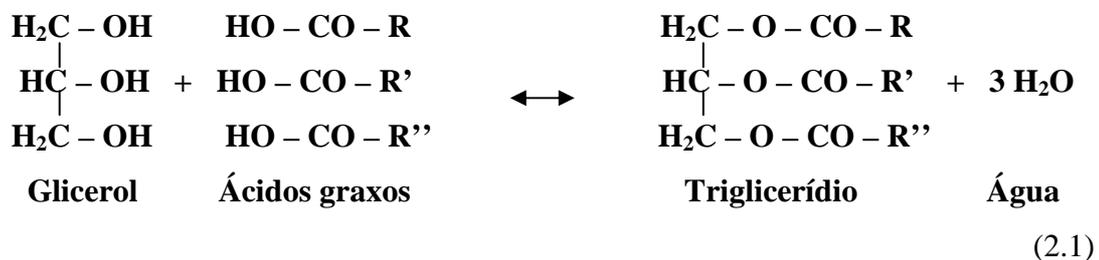


Figura 2.3. Representação de mono, di e triglicerídio

Os ácidos graxos representam a parte reativa das moléculas dos glicerídios e influenciam muito nas suas propriedades físicas e químicas. Embora inúmeros ácidos graxos sejam encontrados na natureza, a maior parte dos seus ésteres é a combinação de poucos, com cadeias hidrocarbônicas possuindo entre 8 e 22 átomos de carbono (Leal et al., 1981).

Os triglicerídios são formados pela reação entre uma molécula de glicerol e três moléculas de ácidos graxos. Os ácidos graxos unem-se à molécula de glicerol através de ligações éster (–O–COR):



Quando as cadeias hidrocarbônicas dos ácidos graxos (radicais R, R', R'') são iguais, os triglicerídios são denominados simples e, quando são diferentes, eles são chamados de mistos.

A nomenclatura dos glicerídios coloca em evidência os seus ácidos graxos formadores e a posição destes no glicerol esterificado. Trioleilglicerila é o nome dado ao triglicerídio simples que tem o glicerol esterificado por três ácidos oléicos. Palmitoestearooleína é o nome dado ao triglicerídio misto que possui o segundo carbono (posição 2) da molécula do glicerol esterificado pelo ácido palmítico, o carbono da extremidade superior (posição 1) esterificado pelo ácido esteárico e o carbono da extremidade inferior (posição 3) esterificado pelo ácido oléico (Moretto, 1998).

2.1.2.c) Não-glicerídios

Os não-glicerídios compõem todos os óleos vegetais em quantidades menores que 5 % nos óleos brutos e abaixo de 2 % nos refinados (Moretto, 1998).

Fosfatídios

Os fosfatídios (ou fosfoglicerídios) são os não-glicerídios de maior ocorrência nos óleos brutos e caracterizam-se estruturalmente pela presença do glicerol (nem sempre), esterificado por ácidos graxos e por ácido fosfórico (figura 2.4). O óleo refinado praticamente não possui fosfatídio (Caires, 1992; Moretto, 1998).

Ceras

As ceras (figura 2.5) são álcoois mono-hidroxílicos de longa cadeia hidrocarbônica, também conhecidos como álcoois graxos, que se apresentam nos óleos quase sempre esterificados aos ácidos graxos (Moretto, 1998).

Os óleos vegetais de milho, de arroz e de soja, entre outros, contêm quantidades suficientes de ceras (aproximadamente 0,005 %) para apresentarem certa turbidez quando a temperatura ambiente é baixa (Moretto, 1998).

Esteróis

Os esteróis são álcoois cristalinos de estrutura bastante complexa, sendo que os obtidos por fontes vegetais são coletivamente designados fitosteróis e compreendem, na maioria das vezes, a maior parte da chamada matéria insaponificável dos óleos (Moretto, 1998).

Além dos não-glicerídios citados, também são encontrados nas composições dos óleos vegetais: hidrocarbonetos, antioxidantes, carotenóides, clorofila e outros.

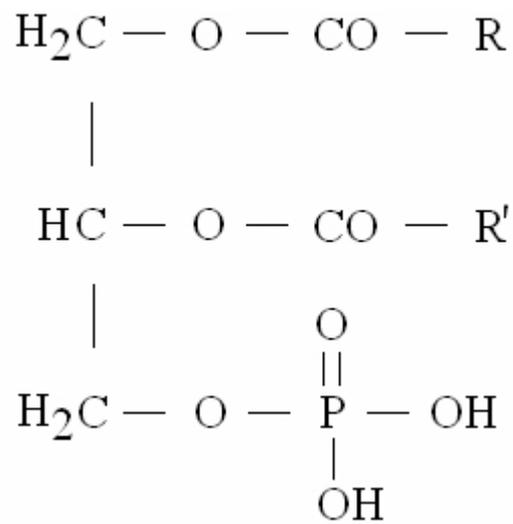


Figura 2.4. Fosfatídeo

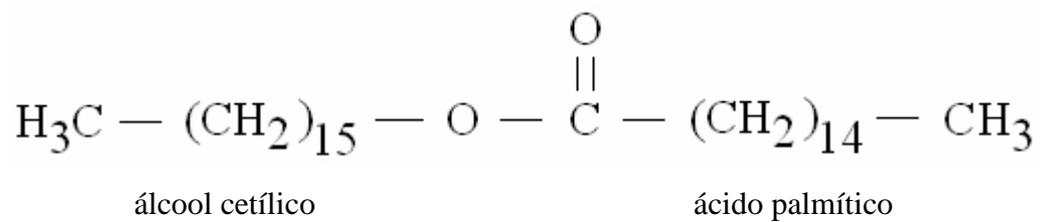
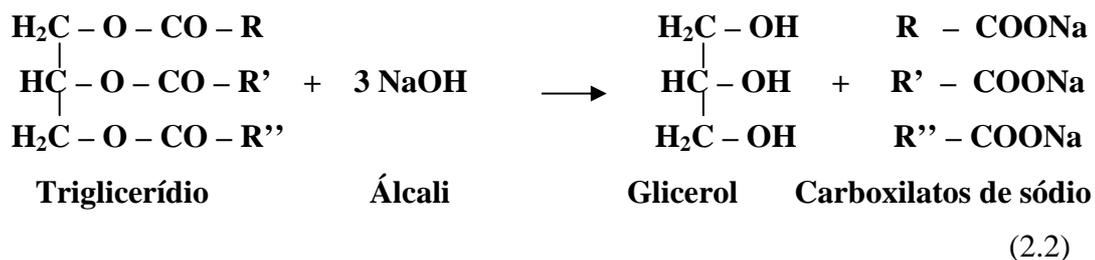


Figura 2.5. Cera

2.1.3. A reação de saponificação

O processo de hidrólise alcalina dos óleos, mais conhecido como saponificação, consiste na hidrólise total ou parcial dos triglicerídios, geralmente em meio aquoso e sob aquecimento (por vezes prescindível), tendo álcali (base) como catalisador. Os produtos da reação são moléculas de glicerol e a mistura de sais alcalinos de ácidos graxos ou os carboxilatos de sódio:



Pode-se utilizar, na saponificação dos óleos vegetais (para saponificar os ácidos graxos esterificados ao glicerol e neutralizar os ácidos graxos livres), hidróxido de sódio (normalmente o mais empregado), hidróxido de potássio, uma mistura dos hidróxidos de sódio e de potássio, ou ainda carbonatos de sódio e de potássio, amônia e bases orgânicas nitrogenadas, como as etanolaminas, por exemplo. Bases dos metais cálcio e magnésio formam sais de ácidos graxos consideravelmente insolúveis em água (Woollatt, 1985).

Em solução aquosa, o catalisador básico mais comum é o íon hidróxido. Entretanto, algumas reações podem ser catalisadas por qualquer base, sendo chamadas de catálise básica geral. Quando apenas certas bases são eficazes o fenômeno é denominado catálise básica específica, tendo a hidrólise de ésteres como exemplo clássico (Castellan, 1973).

Durante a saponificação dos óleos são formados: diglicerídio, monoglicerídio e, por último, o glicerol. O sabão que vai sendo formado age como catalisador da reação (Woollatt, 1985).

A figura 2.6 ilustra, de maneira bastante genérica, a formação de sabão em função do tempo de reação. No começo, a reação é lenta pela presença de pouca quantidade de sabão formado em solução. Com o aumento da concentração de sabão, a velocidade da reação cresce até que a maior parte do óleo seja consumida. A reação volta a ficar lenta no final, devido à baixa concentração de óleo. A velocidade de saponificação aumenta, com o aumento da temperatura.

A figura 2.7 mostra um caminho que a reação de catálise básica específica pode seguir. O mecanismo não esgota as possíveis etapas intermediárias do processo e não se pode concluir que a saponificação de todos os outros ésteres segue necessariamente o mesmo caminho. Todas as espécies são escritas de modo que cada etapa envolva uma mudança de energia tão pequena quanto possível. As etapas (a), (b) e (c) envolvem apenas transferência de prótons ou deslocamento de elétrons. A etapa (d) envolve formação de uma nova ligação carbono-oxigênio, além do rompimento de outra ligação carbono-oxigênio, podendo ser considerada a etapa de mais alta energia, que controla a velocidade da reação. Na etapa (g), o diglicerídeo sofre protonação e inicia um novo processo, assim acontecendo sucessivamente até a formação do glicerol (Clapp, 1969).

Uma maneira de provocar a saponificação completa do óleo é inicialmente adicionar óleo em excesso, obtendo-se quantidade mínima de álcali livre. Logo depois, adiciona-se excesso de álcali para completar a saponificação. O álcali livre residual retorna à primeira etapa (Woollatt, 1985).

Bhatkhande e Samant (1998) utilizaram, para saponificar alguns óleos em solução aquosa de KOH a 3 % massa/volume: agitação, ultra-som, agitação e ultra-som, temperatura de 100 °C. Também foram utilizados alguns catalisadores de transferência de fase. Entre eles, o brometo de cetil trimetil amônio proporcionou as maiores conversões dos óleos testados. As saponificações dos óleos sob as condições: temperatura de 100 °C e agitação e ultra-som apresentaram as maiores conversões (próximo a 100 %).

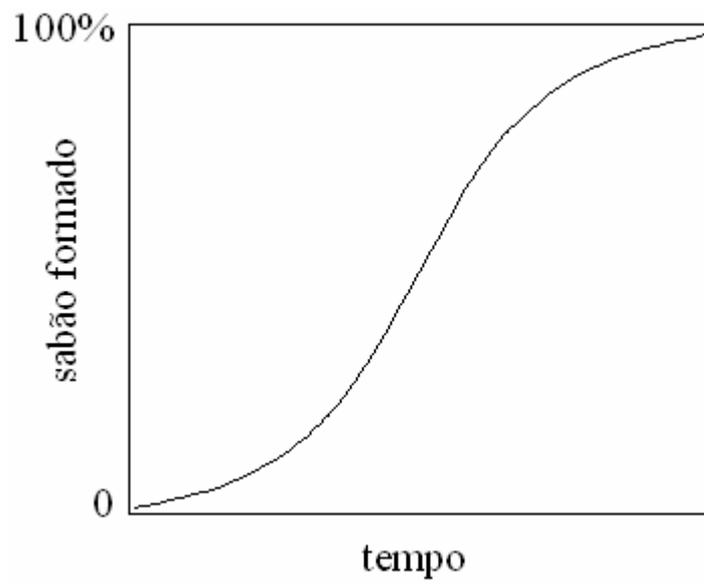


Figura 2.6. Saponificação dos óleos em função do tempo (Woollatt,1985).

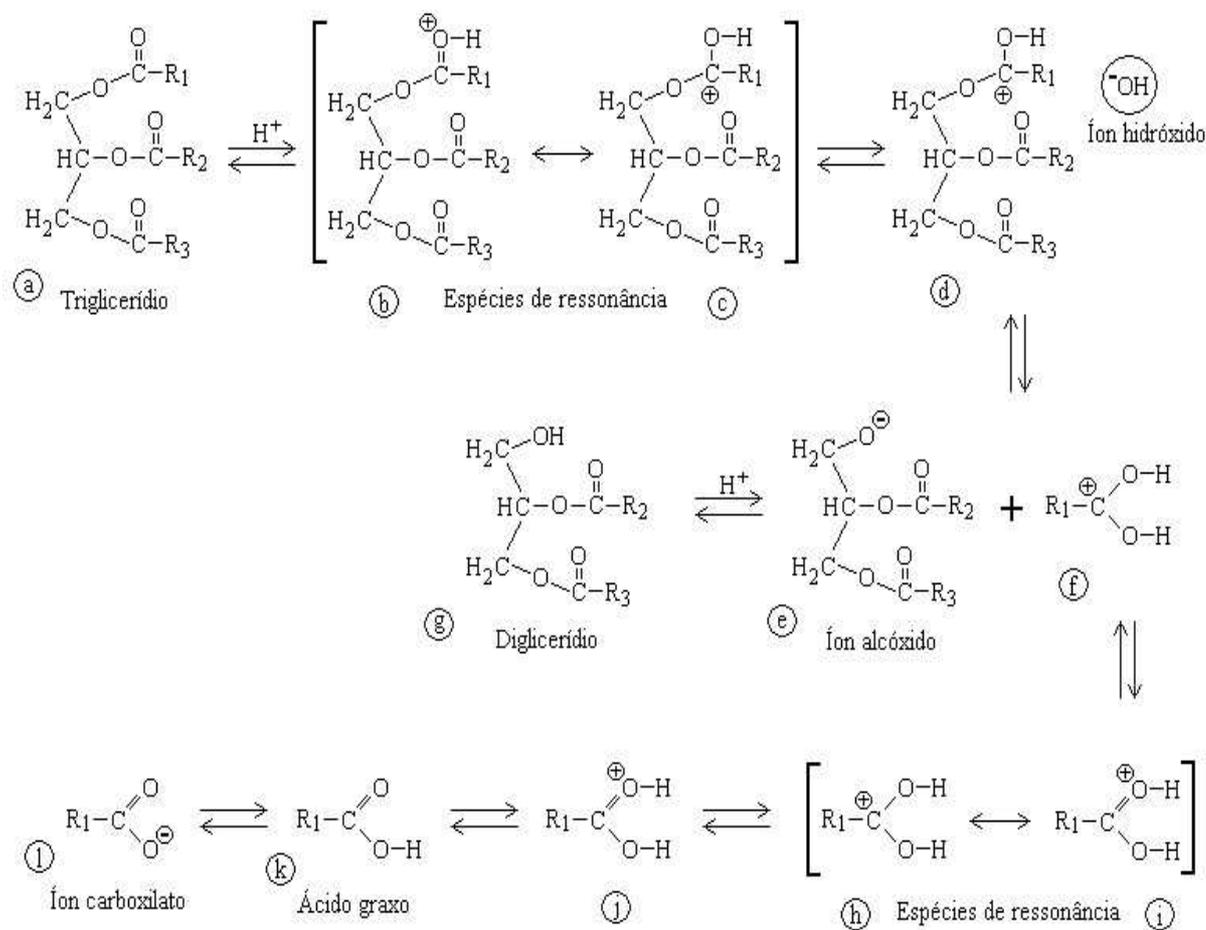


Figura 2.7. Caminho da reação de saponificação dos óleos (Alexander, 1951; Clapp, 1969; Castellan, 1973).

Castro e colaboradores (2004) utilizaram as enzimas lipases, de origem microbiana, para provocar a hidrólise seqüencial dos óleos. O procedimento aconteceu em reatores, sob agitação, contendo óleo e solução aquosa da enzima, sendo alcançadas taxas de conversão variando entre 90 e 95 %. O processo enzimático não somente reduziu os requerimentos energéticos como também preveniu a decomposição de alguns ácidos graxos. Entretanto, a duração global do processo foi de aproximadamente 72 horas. Comercialmente, a reação se mostrou menos econômica que a técnica convencional, mas pode tornar-se economicamente viável para a obtenção de produtos específicos de alto valor agregado.

Azevedo e colaboradores (1994) realizaram estudo dos processos de saponificação do óleo de arroz e do óleo de rícino, utilizando seis maneiras de desenvolver a reação: 1. com água e NaOH a 65 °C; 2. com álcool etílico, NaOH e temperatura elevada (refluxo); 3. com água, NaOH e sabão a 90 °C; 4. com água, excesso de NaOH e sabão a 90 °C; 5. com álcool, água e NaOH a 90 °C; 6. com água e NaOH em temperatura elevada (refluxo). Concluíram que o produto obtido através da reação de saponificação depende, fundamentalmente: i. da temperatura; ii. da agitação; iii. da concentração do óleo e do hidróxido de sódio; iv. do solvente utilizado (água e/ou álcool). Além disso, o método de saponificação (2.) apresentou melhor desempenho, embora tenha sido o procedimento mais complexo e mais caro, quando comparado aos outros métodos.

2.1.4. Outras reações importantes

2.1.4.a) Rancidez oxidativa

Também denominada auto-oxidação, está diretamente relacionada aos ácidos graxos insaturados. Ocorre a oxidação das insaturações presentes nos ácidos graxos, pelo oxigênio atmosférico. Quanto maior o número de insaturações na cadeia, maior a reatividade (Moretto, 1998).

2.1.4.b) Hidrogenação catalítica

O processo de hidrogenação consiste em colocar em contato, óleo e hidrogênio, na presença de um catalisador metálico que pode ser Ni (níquel) ou Pt (platina), finamente divididos, em geral a 200 °C e sob pressão. O resultado é a saturação (rompimento) das ligações duplas presentes nas cadeias hidrocarbônicas dos ácidos graxos constituintes, com a incorporação dos átomos de hidrogênio envolvidos (Solomons, 1996; Moretto, 1989).

O grau de insaturação das cadeias hidrocarbônicas dos ácidos graxos influencia a eficiência dos seus sais alcalinos como coletores, no processo de flotação. Caires (1992) demonstrou que a ordem decrescente do poder de coleta em pH acima de 7,0, após testes de microflotação com uma fluorapatita pura, foi: linoleato (2 duplas ligações), linolenato (3 duplas ligações) e oleato (1 dupla ligação). Deve-se ressaltar que essa ordem também é influenciada por características inerentes ao mineral, como a sua origem geológica, por exemplo.

2.1.5. Análise das propriedades físico-químicas

Inúmeros métodos analíticos são empregados na caracterização de óleos vegetais para determinar suas propriedades físico-químicas. A seguir, são apresentadas algumas propriedades importantes, inerentes a esses óleos, além dos princípios de alguns métodos de análise utilizados na caracterização dos mesmos.

2.1.5.a) Índice de saponificação

É definido como o número de KOH, em miligramas, necessário para neutralizar os ácidos graxos livres e saponificar os ácidos graxos esterificados, presentes em um grama de amostra (ABNT, 1951; AOAC, 1973).

2.1.5.b) Matéria insaponificável

Define-se como o conjunto dos constituintes dos óleos que não são saponificáveis por hidróxido de potássio, mas que são extraídos (se solubilizam) pelo solvente especificado no método (éter de petróleo, éter etílico ou outro) (ABNT, 1951).

2.1.5.c) Índice de acidez

É definido como o número de KOH, em miligramas, necessário para neutralizar os ácidos graxos livres, em um grama de amostra.

Pode ser definido, também, como o número de solução de KOH (ou NaOH), em mililitros, de concentração Normal, necessário para neutralizar os ácidos graxos livres contidos em 100 gramas de amostra – acidez em solução normal por cento (volume/massa) (ABNT, 1951).

E ainda, como o número de ácidos graxos livres presentes em 100 gramas de amostra, expresso em ácido oléico – (A.O. %) acidez em ácido oléico por cento (massa/massa) (ABNT, 1951; AOAC, 1973).

2.1.5.d) Índice de iodo

É definido como o número de gramas de halogênio, expresso em I (iodo), que reage com 100 gramas de amostra, sendo uma medida do grau de insaturação do óleo (ABNT, 1945; AOAC, 1973).

Representa a verdadeira insaturação dos óleos ou dos ácidos graxos quando as duplas ligações são não-conjugadas ($-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-$) e não ocupam posições adjacentes ao grupo carboxílico. No caso contrário, a adição do halogênio é incompleta, não estequiométrica (Moretto, 1998).

2.1.5.e) Índice de peróxidos

Expressa a quantidade de oxigênio reativo, em miliequivalentes de oxigênio (ou milimoles de peróxidos) por 1000 gramas de óleo (Moretto, 1986; AOAC, 1990).

É uma medida do grau de oxidação do óleo, indicando até que ponto a oxidação progrediu. Os peróxidos presentes evidenciam o desenvolvimento de rancificação (Caires, 1992). Os óleos com aceitável estabilidade de estocagem devem possuir índice de peróxidos inferior a 5 milimoles por quilograma de óleo (Klofutar e Rudan-Tasič, 1999).

2.1.5.f) Grau de saponificação do óleo vegetal

O grau de saponificação é expresso em termos percentuais e indica a fração de ácidos graxos saponificáveis (livres e esterificados), constituintes do óleo, que foi convertida em sabão. A conversão, em sabão, dos ácidos graxos ligados ao glicerol através de ligações éster, acontece através da reação de hidrólise alcalina, enquanto a conversão dos ácidos graxos livres ocorre mediante neutralização.

2.1.5.g) Cromatografia gasosa (CG)

Determina o número e a quantidade dos componentes de uma mistura, a presença de impurezas e, à primeira vista, identifica o composto analisado (Ewing, 1972).

A técnica pode ser classificada como cromatografia gás-líquido (CGL), se a fase estacionária for líquida e cromatografia gás-sólido (CGS), caso a fase estacionária seja sólida (Ewing, 1972). A utilização da CGS restringe-se à análise de gases permanentes, hidrocarbonetos de baixo ponto de ebulição e compostos apolares de baixa massa molecular (Collins, 1988).

O líquido usado como fase estacionária na CGL deve ser termicamente estável, seletivo para as substâncias constituintes da amostra e não deve interagir irreversivelmente com estas. Ele é imobilizado na forma de uma fina camada sobre

um suporte sólido finamente dividido dentro da coluna cromatográfica, tal como, terras diatomáceas, tijolos refratários moídos e pérolas de vidro (Solomons, 1996; Ewing, 1972).

Os mecanismos que governam a separação dos componentes da amostra analisada são de partição ou de diferentes solubilidades (Collins, 1988).

A coluna cromatográfica é um tubo longo (geralmente de vidro ou metal), contendo a fase estacionária e localizada em uma estufa de temperatura controlada. A amostra é inserida na coluna e instantaneamente vaporizada devido à alta temperatura, sendo carregada pelo gás de arraste ou fase móvel (gases inertes como nitrogênio, hélio, hidrogênio e argônio). Um detector diferencial recebe os componentes que emergem individualmente da coluna, os quantifica e gera um sinal que é registrado graficamente e é chamado de cromatograma (Ewing, 1972; Collins, 1988).

A tabela 2.3 apresenta a composição aproximada de alguns óleos vegetais, em relação ao conteúdo de ácidos graxos.

2.1.5.h) Espectrometria de infravermelho (EIV)

É aplicada na análise qualitativa ou quantitativa de amostras gasosas, líquidas e sólidas, cristalinas e amorfas. Uma pequena quantidade de amostra é requerida (miligramas) para uma análise relativamente rápida (Gunstone et al., 1986).

A faixa de frequência da radiação infravermelha (entre a região do visível e as microondas) engloba as frequências de vibrações das ligações químicas dos compostos orgânicos e minerais. A energia absorvida pelas moléculas é convertida em rotações ou vibrações moleculares (Ewing, 1972; Silverstein et al., 1979).

Tabela 2.3. Composição aproximada de alguns óleos vegetais (Caires, 1992).

Óleos	Ácidos graxos (%)											
	Caprónico C ₆	Caprílico C ₈	Cáprico C ₁₀	Láurico C ₁₂	Mirístico C ₁₄	Palmítico C ₁₆	Estearico C ₁₈	Araquídico C ₂₀	Palmitoléico C _{16:1}	Oléico C _{18:1}	Linoléico C _{18:2}	Linolênico C _{18:3}
Soja	-	-	-	-	0,1-0,4	7-11	2,4-6	-	0,1-1	22-34	50-60	2-10
Oliva	-	-	-	-	<1	7-20	0-3	-	0,4-2,5	65-86	5-16	-
Milho	-	-	-	-	0,2-1,5	8-13	1-4	0,4-1,5	0,2-1,5	24-46	34-61	0,6
Côco	0,2-0,8	5-9	5-10	44-51	-	7-11	1-3	0,2-1,5	0-1,3	5-8	0-2,5	-
Babaçu	traços	4-7	2-8	44-46	15-20	6-9	3-6	-	-	12-18	1-2	-
Amendoim	-	-	-	-	-	6-10	3-6	2-4	-	40-71	13-38	-
Girassol	-	-	-	-	3,5	2,9	-	-	-	33,4	57,5	-
Linhaça	-	-	-	-	-	5-10	3-8	0,5-1	-	12-30	8-29	35-67
Algodão	-	-	-	-	0,5-3	17-23	1-3	0,1-1,5	0,8-2,5	18-44	34-55	-
Arroz	-	-	-	-	0,5	17	2,5	0,5	-	45,5	32	1

A absorção é quantizada, mas o espectro vibracional aparece como uma série de bandas e não como linhas, porque cada mudança de energia vibracional corresponde a várias mudanças de energia rotacional. Sendo assim, ocorre a sobreposição das linhas e o aparecimento das bandas de vibração-rotação observadas (Silverstein et al., 1979).

Os modelos de espectrômetros a transformada de Fourier apresentam um tempo de varredura extremamente curto (alguns segundos) e são bem adequados ao estudo de espécies adsorvidas (Brandão et al., 1990).

As posições das bandas são representadas, no espectro infravermelho, através de comprimento de onda (λ), em μm , ou número de onda (ν), em cm^{-1} , também chamado de “frequência”. Já as intensidades das bandas podem ser expressas como transmitância (T) ou absorbância (A), sendo a primeira T igual à razão I / I_0 , onde I é a energia radiante transmitida por uma amostra e I_0 é a energia radiante que nela incide. Então, $\% T = 100 (I / I_0)$. Por sua vez, a absorbância é o logaritmo do inverso da transmitância, na base 10, ou seja, $A = \log_{10} (1 / T)$ ou $\log_{10} (100 / \% T)$ (Brandão et al., 1990).

O espectro IV é apresentado na forma de um gráfico, contendo a faixa de frequência varrida durante o teste, como abscissa; e a absorção de radiação correspondente, como ordenada. A utilização da unidade transmitância (T) é mais utilizada em estudos qualitativos, porque acentua as raias menores. Por ser a absorção de radiação um fenômeno exponencial, as ordenadas sempre são expressas em absorbância (A) em estudos quantitativos (Brandão et al., 1990).

A metodologia utilizada para a análise dos espectros obtidos se baseia na obtenção de um espectro IV de um composto conhecido puro (padrão), fazendo-se a correlação entre as raias observadas e os grupos funcionais e/ou entidades químicas fundamentais do mesmo. A partir dos espectros de referência, correlacionam-se as bandas observadas e as vibrações moleculares que as originaram, para amostras desconhecidas, resultando na identificação das mesmas (Brandão et al., 1990).

2.2. Sais alcalinos de ácidos graxos como coletores

Os sais alcalinos (sabões) dos ácidos graxos são os coletores aniônicos mais utilizados, na indústria mineral, para o processo de flotação de minerais não-sulfetos, principalmente dos oxi-minerais.

Quando em solução aquosa, os sabões dos ácidos graxos, por serem bastante solúveis, dão origem a espécies denominadas carboxilatos ($R-COO^-$). Essas espécies possuem um alto poder de coleta, além de baixo custo e grande disponibilidade de suas matérias-primas. Por apresentarem baixa seletividade, geralmente necessitam do uso de reagentes auxiliares. Amido de milho, como depressor de minerais de ganga, ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH), como reguladores do pH, por exemplo (Wills, 1992).

2.2.1. Características da cadeia hidrocarbônica e eficiência do coletor

Algumas características da cadeia hidrocarbônica dos carboxilatos influenciam na eficiência dos mesmos como agentes coletores. Entre elas destacam-se o número de átomos de carbono e o grau de insaturação. O aumento do número de átomos de carbonos na cadeia hidrocarbônica (porção hidrofóbica da molécula) provoca a elevação da hidrofobicidade do coletor em meio aquoso. Com isso, a atividade superficial dos carboxilatos de uma mesma série homóloga também aumenta.

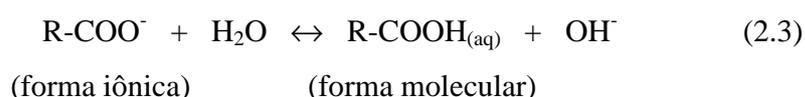
Brandão (1988) estudou a adsorção de oleato de sódio, em solução aquosa, através da técnica de espectrometria de infravermelho de reflexão-absorção múltipla. Ele concluiu que o oxigênio do ar, quando dissolvido em meio aquoso, oxidava a dupla ligação da cadeia hidrocarbônica do oleato adsorvido na superfície do mineral, levando a uma polimerização parcial. As fortes ligações covalentes C-O-C formadas entre cadeias vizinhas, juntamente com as ligações de van der Waals já existentes, tornavam o filme adsorvido extremamente estável, aumentando sua hidrofobicidade. Isso explicaria a superioridade dos ácidos graxos insaturados como coletores, já que os ácidos graxos saturados não formam filmes adsorvidos parcialmente polimerizados.

Brandão e colaboradores (1994) estudaram a microflotação de uma amostra de fluorapatita, em tudo de Hallimond modificado, com sabões dos ácidos palmítico, esteárico, oléico, linoléico e linolênico puros. A ordem decrescente da eficiência de coleta em pH acima de 7,0 foi: linoléico (2 duplas ligações), linolênico (3 duplas ligações) e oléico (1 dupla ligação). Os sabões dos ácidos palmítico e esteárico não apresentaram bons resultados, o que foi atribuído às suas solubilidades em água serem muito menores que as solubilidades dos seus homólogos insaturados, em temperatura ambiente.

Outros estudos, utilizando apatitas de origens diferentes, mostraram variação na ordem de eficiência dos sabões do ácido oléico, do ácido linoléico e do ácido linolênico como coletores. Portanto, ficou sugerido que a eficiência destes, como coletores, depende da natureza, do grau de cristalinidade e da origem geológica da apatita (Sun et al., 1957; Sun, 1959; Hsieh, 1980).

2.2.2. Comportamento do coletor em meio aquoso

Em solução aquosa, os sais de ácidos graxos se dissociam e seus íons podem interagir com a água, configurando a seguinte equação, referente ao ânion carboxilato (Fuerstenau et al., 1985):



O pKa (Ka = constante de acidez) médio dos ácidos graxos é $4,7 \pm 0,5$, por serem ácidos fracos. O pH da solução determina a concentração do íon carboxilato e da espécie molecular. Quando o pH é ácido, predomina a forma molecular e, em pH básico, predomina a forma iônica (Fuerstenau et al., 1985).

Quando uma solução de oleato de sódio é colocada em solução aquosa, a espécie molecular (RCOOH) e a iônica (RCOO⁻) podem interagir, formando os complexos: dímero ácido-sabão ((RCOO)₂H), dímero sabão ((RCOO)²⁻₂), sal ácido-sabão ((RCOO)₂HNa) e dímero

ácido ((RCOOH)₂). A partir das equações de equilíbrio das diversas espécies e da equação de balanço de massa do oleato, consegue-se determinar a concentração de cada espécie do coletor e sua distribuição na fase aquosa (Ananthapadmanabhan et al.).

A construção dos diagramas de distribuição de espécies para o oleato, utilizando-se duas concentrações totais de oleato diferentes (figuras 2.8 e 2.9), mostrou que a concentração relativa de cada espécie depende tanto do pH da solução, quanto da própria concentração total de oleato (Oliveira e Adamian, 1987).

Embora Ananthapadmanabhan e colaboradores tenham observado que o pH de flotabilidade máxima de hematita pelo oleato coincidiu com o pH de concentração máxima do dímero sabão-ácido, Pugh e colaboradores (1985) mostraram concentração muito baixa do complexo sabão-ácido, quando comparada às concentrações das outras espécies presentes, na faixa de pH de máxima flotabilidade de apatita e de fluorita e atribuíram tal fato à co-adsorção sinérgica da mistura complexa de espécies iônicas e moleculares.

Não foram encontradas, na literatura, referências de química aquática do linoleato e do linolenato.

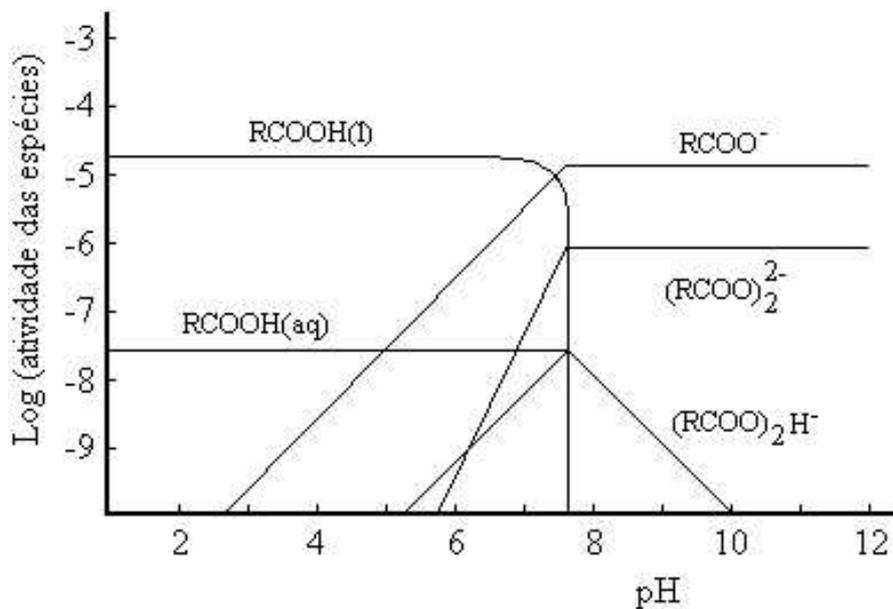


Figura 2.8. Diagrama de distribuição das diversas espécies de oleato em função do pH.
 Concentração total do oleato: $1,5 \times 10^{-5}$ mol/L (Oliveira e Adamian, 1987).

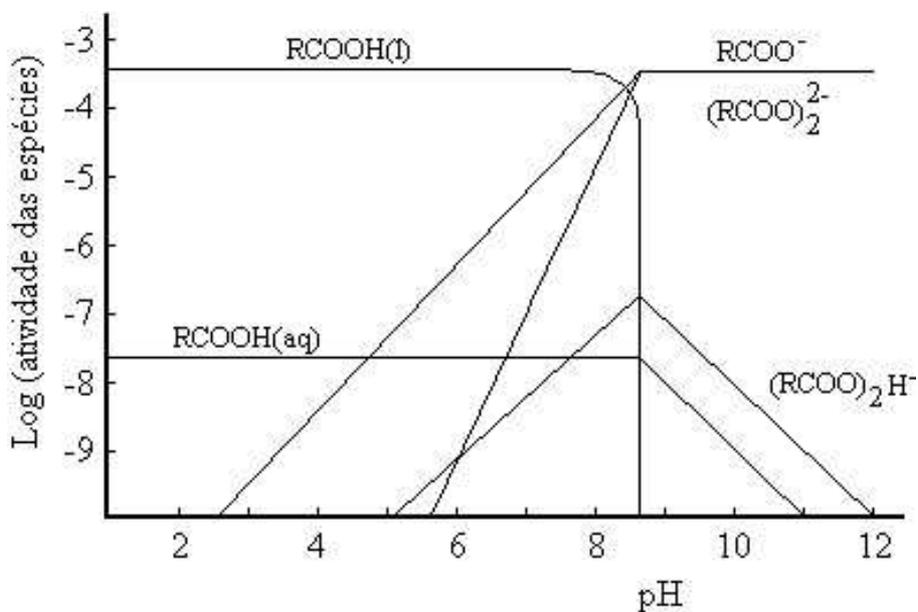


Figura 2.9. Diagrama de distribuição das diversas espécies de oleato em função do pH.
 Concentração total do oleato: $3,5 \times 10^{-4}$ mol/L (Oliveira e Adamian, 1987).

2.2.3. Formação de micelas

Quando os sais alcalinos de ácidos graxos ou sabões (figura 2.10) são adicionados em água, diminuem progressivamente a tensão superficial da solução, devido ao aumento da concentração de carboxilatos, os quais se concentram mais na superfície (interface ar/água) do que no seio da solução. As carboxilas dessas espécies são extremidades polares (hidrofílicas) e ficam voltadas para a fase aquosa, enquanto que as cadeias hidrocarbônicas apolares (hidrofóbicas) ficam voltadas para o ar. Essa concentração de carboxilatos aumenta até um certo valor, chamado de concentração micelar crítica (CMC). É quando a tensão superficial da solução atinge um valor mínimo que se mantém constante mesmo com a adição de mais sabão. Quanto maior o comprimento da cadeia hidrocarbônica do sabão, menor a CMC, que indica a concentração em que as micelas começam a se formar. A tabela 2.4 apresenta valores de CMC para alguns sabões (Woollatt, 1985; Solomons, 1996).

As micelas, em meio aquoso, são aglomerados coloidais hidrofílicos grosseiramente esféricos, onde as extremidades polares dos íons carboxilatos ficam na superfície da micela, expostas à fase aquosa (meio polar) e as cadeias hidrocarbônicas hidrofóbicas ficam acomodadas no interior da micela, permanecendo em um ambiente não polar. Os cátions sódio são individualmente solvatados (envolvidos por moléculas de água) e se apresentam dispersos na fase aquosa (figura 2.11). Micelas individuais se repelem porque possuem superfícies carregadas negativamente, ficando dispersas na fase aquosa (Solomons, 1996).

Quando estão presentes sais inorgânicos, cujos íons são contra-íons para os íons do sabão ou moléculas orgânicas neutras, como álcoois de cadeia longa, as forças repulsivas entre os grupos polares carregados são diminuídas. Conseqüentemente, a CMC também diminui (Weiss, 1985).

Abaixo de uma certa temperatura, particular para cada surfatante, não se consegue observar micelas em solução. Elas começam a se formar quando é atingida esta temperatura, conhecida como “ponto Krafft”. Seu valor depende do comprimento da cadeia hidrocarbônica e da força iônica dos contra-íons presentes na solução (Leja, 1982).



Figura 2.10. Ilustração simplificada da molécula de sabão (Bizzo et al., 1999).

Tabela 2.4. CMC de alguns sabões (Caires, 1992).

Surfatante	CMC (moles/L)	Tempetatura (°C)
Estearato	$1,8 \times 10^{-3}$	50
	$7,5 \times 10^{-5}$	70
Oleato	$2,1 \times 10^{-3}$	25
	$3,0 \times 10^{-3}$	40
	$3,5 \times 10^{-3}$	50
	$3,2 \times 10^{-3}$	60
	$3,5 \times 10^{-2}$	75
	$1,1 \times 10^{-3}$	-
Linoleato	$5,3 \times 10^{-4}$	-
Linolenato	$7,2 \times 10^{-4}$	-

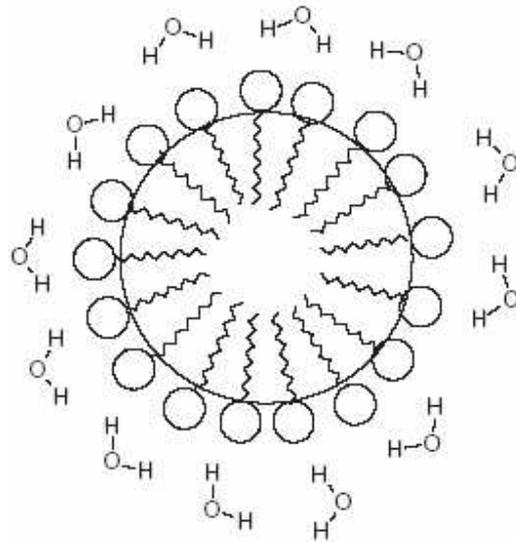


Figura 2.11. Micela de sabão envolvida por moléculas de água (Bizzo et al., 1999).

2.2.4. Solubilidade

Os ácidos graxos utilizados como coletores podem possuir entre 6 (ácido caprício) e 18 átomos de carbono (oléico, linoléico e linolênico). Os homólogos inferiores (com menos de 6 carbonos na cadeia) são muito solúveis em água e os superiores (com mais de 18 carbonos na cadeia) são pouco solúveis (Leja, 1982).

Os ácidos graxos insaturados são muito mais solúveis em água que os saturados. Essa propriedade está relacionada à presença das duplas ligações de caráter polar que atraem as moléculas de água. Entretanto, é um conceito aplicável aos isômeros cis. O comportamento dos isômeros trans correspondentes se aproxima ao dos ácidos graxos saturados. As solubilidades em água (25 °C) dos ácidos oléico ($0,6 \times 10^{-6}$), linoléico ($0,5 \times 10^{-6}$) e linolênico ($0,2 \times 10^{-6}$) são praticamente idênticas, (Fuerstenau et al., 1985). Para iguais comprimentos de cadeia hidrocarbônica, os sais de ácidos graxos insaturados são mais solúveis em água que os sais de ácidos graxos saturados (Bennet e Frienden, 1971).

O comprimento e o grau de insaturação da cadeia hidrocarbônica e o cátion metálico, influenciam na solubilidade dos sabões. As solubilidades dos sabões de metais alcalinos e de bases orgânicas nitrogenadas diminuem quando a cadeia hidrocarbônica aumenta (Markley, 1961). Sais de ácidos graxos de outros metais, cálcio e magnésio, por exemplo, são consideravelmente insolúveis em água (Woollatt, 1985).

A temperatura também influencia na solubilidade dos sabões. A solubilidade aumenta rapidamente, quando a solução é aquecida acima do “ponto Krafft”, devido à presença de micelas que começam a se formar quando este é atingido (Leja, 1982).

Nos experimentos de flotação, a dissolução dos sais de ácidos graxos é usualmente seguida pelo ajuste do pH. Como o diagrama de domínio para o ácido oléico (figura 2.12) mostra, toda a região pH-concentração para soluções aquosas de oleato de sódio pode ser dividida em duas zonas: a zona de emulsão, onde predomina a emulsão de ácido oléico e a zona de oleato, onde predominam os ânions oleato. O pH_s é o pH de precipitação e as micelas aparecem quando a CMC (concentração micelar crítica) do oleato de sódio, $2,1 \times 10^{-3} M$, é excedida (Laskowski e Nyamekye, 1994).

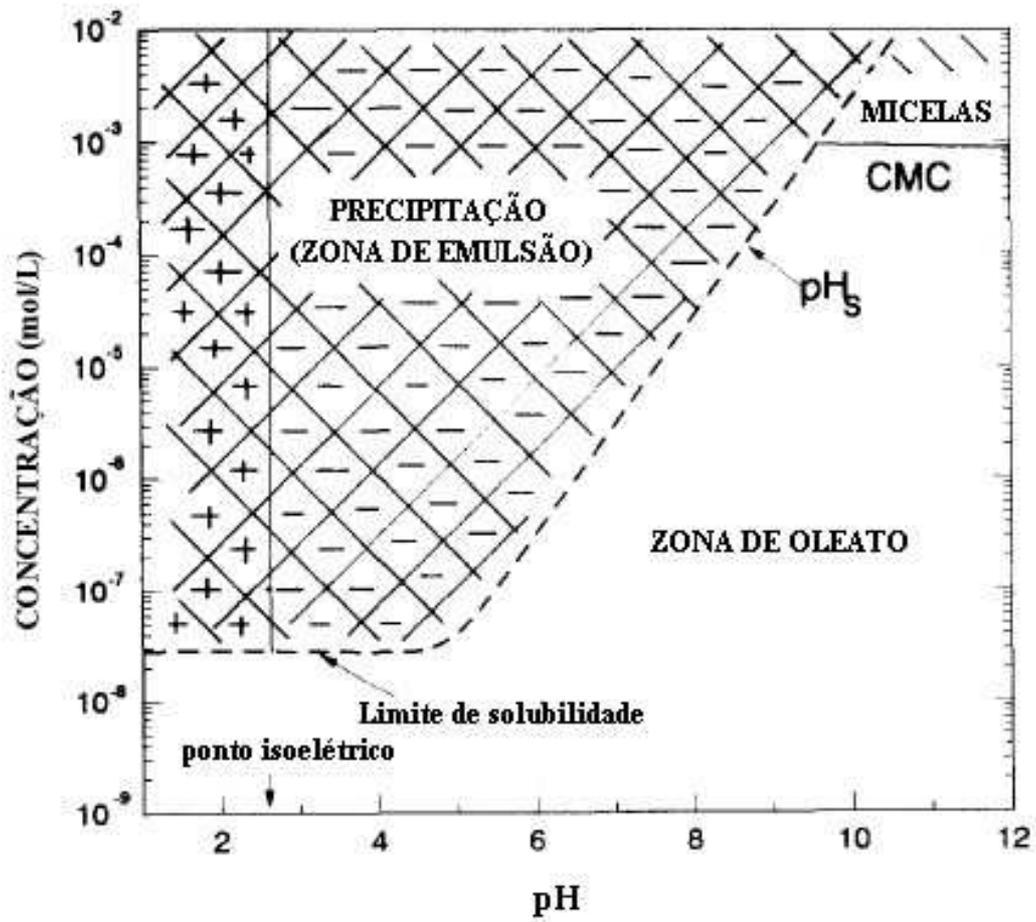


Figura 2.12. Diagrama de domínio para o ácido oléico (Laskowski e Nyamekye, 1994).

Em meio alcalino, o coletor apresenta-se predominantemente como oleato e o equilíbrio de adsorção é atingido rapidamente. Nessas condições, a flotação depende muito pouco do tempo de condicionamento do coletor, fato observado por Laskowski e Nyamekye (1994).

2.3. Outros reagentes de flotação

2.3.1. Coletores da apatita

Sulfossuccinatos e sulfossuccinamatos são coletores sintéticos, produtos da esterificação do ácido succínico [HOOC-(CH₂)₂-COOH] ou do ácido maléico por um alquil álcool (R-OH), com aquecimento subsequente do éster formado, em solução aquosa concentrada de hidrogenosulfito de sódio (NaHSO₃) (US Patent, 1975; US Patent, 1976).

Lima (1989) utilizou, para testes de flotação de minérios fosfáticos em escala de bancada, óleo de arroz previamente saponificado, um sulfosuccinato identificado como KE883B, um sulfosuccinamato identificado como Aero Promoter 830, uma mistura do KE883B com o sabão do óleo de arroz e uma mistura do Aero Promoter 830 com o sabão do óleo de arroz e concluiu que ocorria um aumento significativo das recuperações de P₂O₅ quando a flotação era realizada com as misturas dos coletores (60 % de KE883B ou Aero Promoter 830 + 40 % de sabão do óleo de arroz).

Os sulfossuccinatos e os sulfossuccinamatos podem ser utilizados industrialmente como coletores no processo de concentração de minérios fosfáticos, misturados aos sais de ácidos graxos em proporções bem menores, porque possuem um custo elevado.

Sis e Chander (2003) utilizaram três diferentes combinações de surfatantes: (i) oleato, (ii) mistura de oleato e dodecano e (iii) mistura de oleato, dodecano e outro surfatante não-iônico (NP-4) em testes de flotação em bancada (com água destilada) de minérios fosfáticos de granulometria fina e observaram altas recuperações na presença do NP-4, com menor diminuição no teor de P₂O₅ do concentrado.

Apesar de os ácidos graxos serem os coletores mais comumente utilizados na flotação direta dos minérios fosfáticos, outros tipos de coletores podem ser empregados. Para a coleta do mineral apatita, são utilizáveis os coletores aniônicos: dodecil fosfato dissódico, dodecil sulfato de sódio, fosfatos e sulfonatos etoxilados, hidroxamatos; o coletor catiônico: Armaque T amina e os coletores anfotéricos (podem agir como cátions ou como ânions): sarcosinato de sódio e Atrac 1562 (Sis e Chander, 2003).

Johansson e Svensson (2001) publicaram um trabalho de revisão intitulado: “Surfatantes baseados em ácidos graxos e outros hidrófobos naturais”, onde são apresentados os possíveis derivados de ácidos graxos, não-iônicos e aniônicos (figura 2.13).

Na flotação da apatita, as condições alcalinas favorecem a predominância de espécies ionizadas do coletor (carboxilatos) que atuam no sistema tanto como coletores quanto como espumantes. Em escala industrial, quando a extensão da reação de saponificação, que dá origem ao coletor, atinge níveis próximos de 100 %, ocorre espumação persistente que é prejudicial ao processo de flotação (Peres e Guimarães, 1999).

2.3.2. Depressores

Os depressores são reagentes capazes de inibir a ação do coletor, protegendo a superfície dos minerais que se destinam ao afundado. Entre os depressores orgânicos estão o amido de milho, depressor dos minerais de ferro e dos carbonatos, a carboximetil celulose, depressor dos carbonatos e o silicato de sódio, depressor de sílica e dos carbonatos (Sis e Chander, 2003).

Peres e Guimarães (1999) estudaram a utilização de polímeros na indústria mineral brasileira, substituindo o amido puro, convencionalmente utilizado na flotação de minérios fosfáticos, como depressor dos minerais de ganga, por um produto mais fino que o fubá, conhecido como creme de milho e com teor de óleo entre 3 % e 4 %. Foi observada benéfica modulação na espumação devido ao teor de óleo mais elevado no creme de milho, comparando-se com o amido puro.

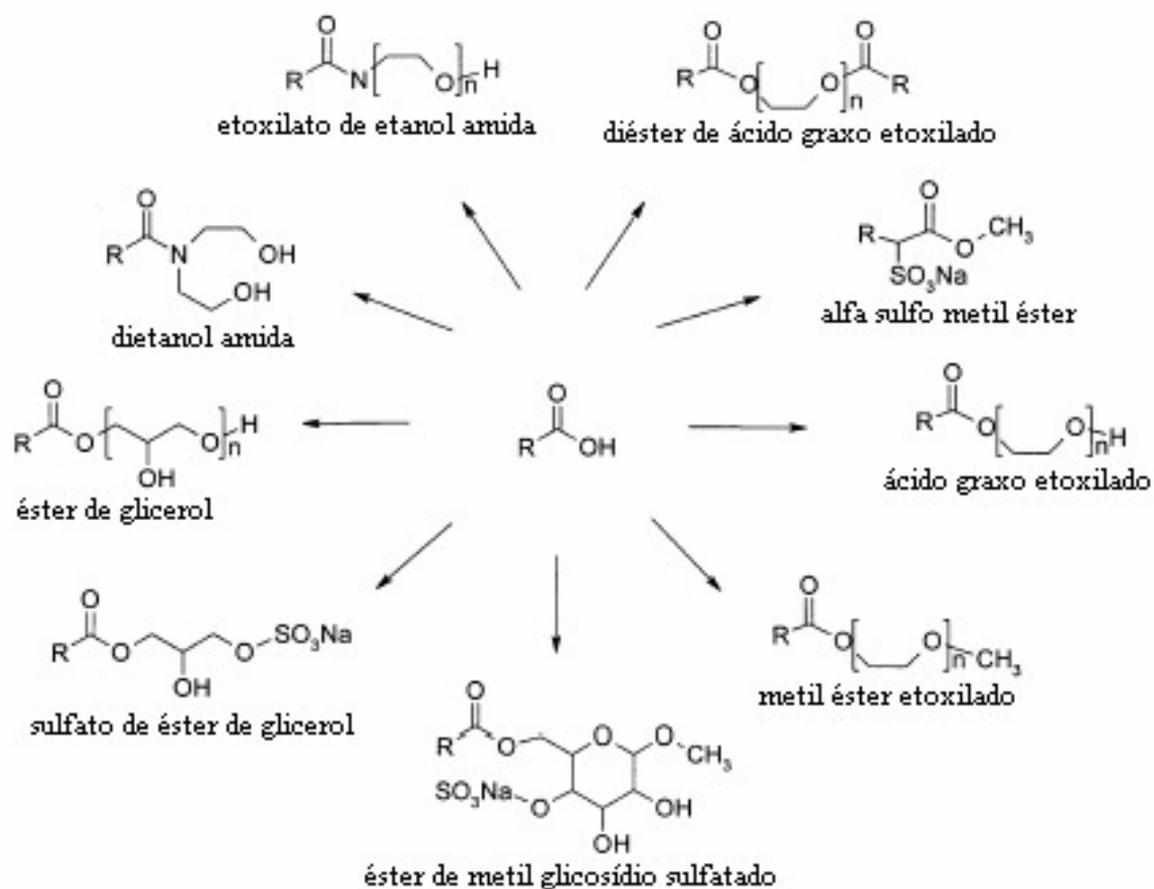


Figura 2.13. Surfatantes derivados de ácidos graxos (Johansson e Svensson, 2001).

2.3.3. Moduladores de pH

O ajuste do pH da solução é obtido mediante adição de ácidos (HCl, HNO₃, por exemplo) e de bases (NaOH, KOH, por exemplo). O procedimento deve ser feito de uma só vez, não devendo acontecer em sentido contrário caso o valor desejado tenha sido ultrapassado. Quando os íons adicionados são comuns aos íons formados nas superfícies dos minerais em solução, pode ocorrer a alteração das características das interfaces envolvidas, devido à adsorção específica do ânion do ácido e do cátion da base.

2.4. Rochas Fosfáticas

2.4.1. Reservas brasileiras

Os depósitos de rochas fosfáticas podem ser de origem ígnea, sedimentar ou biogenética. No Brasil, cerca de 80 % das jazidas conhecidas são de origem ígnea, com acentuada presença de rocha carbonatítica e minerais micáceos com baixo teor de P₂O₅, enquanto que mundialmente esse percentual apresenta-se em torno de 17 % (DNPM, 2001).

Os depósitos ígneos são formados por rochas fosfáticas com um conteúdo de P₂O₅ que pode variar entre 5 % e 20 % e são responsáveis por 15 a 20 % da produção mundial de rocha fosfática, enquanto os de origem sedimentar, por 80 a 85 % dessa produção (CMT Fوسفertil, 2001)

A mineralogia complexa, o baixo teor de apatita e o teor considerável de carbonatos, fazem com que os minérios fosfatados brasileiros necessitem de um tratamento diferenciado e de um complicado beneficiamento. As perdas de fósforo nas etapas de lavra e processamento chegam a 15 % e 40 %, respectivamente. No transporte e manuseio do concentrado, as perdas ficam entre 2 e 5 %. Esses índices, somados à baixa assimilação do fósforo presente nos fertilizantes, pelas plantas, de 10 a 30 %, levam ao aproveitamento global de, no máximo, 8 % do fósforo inicial (Barros, 1997).

No ano 2000, as reservas nacionais medidas, de rocha fosfática (tabela 2.5), atingiram cerca de 222 milhões de toneladas de P_2O_5 contido em aproximadamente 2.288 milhões de toneladas de minério, concentradas principalmente nos estados de Minas Gerais, Santa Catarina, São Paulo e Goiás, sendo a maioria relacionada a ambientes geológicos vulcânicos. Os estados produtores: Minas Gerais, com 73,8 %, Goiás, com 8,3 % e São Paulo, com 7,3 %, participaram juntos com 89,4 % das reservas totais do país, seguidos dos estados de Santa Catarina, Ceará, Pernambuco, Bahia e Paraíba, com os 10,6 % restantes (DNPM, 2001).

2.4.2. Complexo de Mineração de Tapira-MG

O Complexo Alcalino Carbonatítico de Tapira possui 70 milhões de anos e está situado a oeste do estado de Minas Gerais, aproximadamente 35 km a sudeste da cidade de Araxá (CMT Fosfertil, 2001).

Produz um concentrado fosfático com teor de aproximadamente 35,5 % de P_2O_5 , a partir de um minério com aproximadamente 8,3 % de P_2O_5 , cuja polpa é transportada por mineroduto de 120 km até o complexo industrial de Uberaba, onde é utilizada na fabricação de fertilizantes e outros produtos. A composição química média dos concentrados de rocha fosfática produzidos pela Fosfertil, no ano de 2000, foi a seguinte: P_2O_5 (35,28 %), Fe_2O_3 (1,34 %), MgO (0,56 %), CaO (50,94 %), relação CaO/ P_2O_5 (1,44) (CMT Fosfertil, 2001).

A produção anual de concentrado fosfático oscila em torno de 1,6 milhão de toneladas. Os fluxogramas dos circuitos de concentração do minério fosfático granulado, do friável e do ultrafino, da Fosfertil de Tapira-MG, estão apresentados no anexo II (CMT Fosfertil, 2001).

Tabela 2.5. Reservas brasileiras oficiais de rocha fosfática – 2000 (DNPM, 2001).

Estado	Reserva total (10 ⁶ t)	Reserva medida (10 ⁶ t)	P ₂ O ₅ contido (10 ⁶ t)	Teor médio (% P ₂ O ₅)
BA	30,2	19,7	3,0	15,3
CE	94,3	89,2	9,8	11,0
GO	337,7	287,8	31,4	10,9
MG	2.981,7	1.484,8	138,0	9,3
PB	19,9	9,7	11,6	11,9
PE	33,5	21,5	4,5	21,1
SC	247,8	247,7	15,3	6,2
SP	295,3	127,8	8,7	6,9
Total	4.040,4	2.288,2	222,4	

2.4.3. Utilização do concentrado fosfático

No ano de 2004, o Brasil ocupou o 7º lugar na produção mundial de concentrado de rocha fosfática, com uma participação de 4,4 % do montante ofertado de 138 milhões de toneladas (DNPM, 2005).

O concentrado fosfático é utilizado na produção de ácido fosfórico e dos seguintes produtos intermediários para fertilizantes fosfatados: fosfatos diamônio, fosfatos monoamônio, superfosfato simples, superfosfato triplo, termofosfato e fosfato natural de aplicação direta. As mesmas empresas que produzem o concentrado de rocha fosfática e o ácido fosfórico, também produzem os intermediários fosfatados (DNPM, 2005).

Segundo Sis e Chander (2003), a indústria de fertilizantes fosfatados exige concentrado fosfático com relação (CaO/P₂O₅) menor que 1,65, além de um conteúdo de P₂O₅ acima de 30 % e de MgO abaixo de 1 %.

Oba (2004) observou que, no Brasil, a planta química de fertilizantes fosfatados demanda concentrado de rocha fosfática com teor de P₂O₅ de 36 a 37 % e baixos teores dos contaminantes SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, MgO, CaO.

2.5. Características do mineral apatita e do minério fosfático de Tapira

2.5.1. O mineral apatita

Nos minérios fosfáticos, a apatita ocorre associada a outros minerais chamados de ganga. Através do processo de concentração por flotação, a apatita é separada dos minerais não carbonatados com certa facilidade. Já que a separação da apatita dos carbonatos é prejudicada pela leve seletividade de ambos, torna-se muito importante desvendar as suas propriedades antes de processá-los (Lima, 1989).

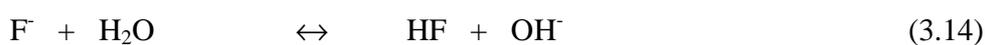
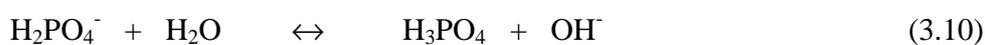
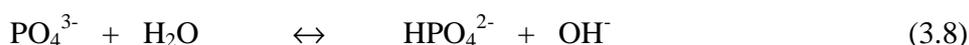
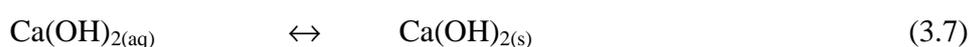
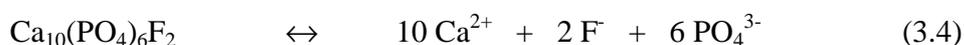
Os minerais do grupo da apatita são levemente solúveis em água (10⁻⁴ mol/L), pertencem ao sistema hexagonal, possuem ligações iônicas e podem sofrer substituições isomórficas em suas redes cristalinas (Fuerstenau et al., 1985). Os tipos de apatitas mais comuns são a

fluorapatita: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$; a hidroxiapatita: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$; e a cloroapatita $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2$.

Em apatitas naturais, Mn, Sr, Mg, terras-raras, Na, K, Cu, Sn, Pb e outros podem substituir o cálcio. O fosfato pode ser substituído por CO_3^{2-} , SiO_4^{4-} , SO_4^{2-} , $\text{H}_4\text{O}_4^{4-}$ e outros (Hanna e Somasundaran, 1976; Lima, 1989).

Em meio aquoso, os íons da rede cristalina do mineral são parcialmente dissolvidos, até a igualdade dos potenciais químicos das espécies comuns às fases sólida e líquida. Energia de rede, grau de hidratação, presença de impurezas no sólido ou na solução e tendência à hidrólise, influenciam na solubilidade do mineral (Hanna e Somasundaran, 1976).

O mecanismo de geração de carga da apatita é muito complexo porque os íons dissolvidos sofrem reações de hidrólise e complexação (Pugh et al., 1985). As reações de dissolução e hidrólise que acontecem quando uma fluorapatita é colocada em meio aquoso são (Somasundaran, 1968; Somasundaran e Agar, 1972):



Dois mecanismos de geração de carga fornecem o mesmo resultado final. O primeiro evidencia a hidrólise de espécies presentes na superfície da apatita, como Ca^{2+} , F^- e PO_4^{3-} . A extensão da hidrólise para cada espécie determinaria a carga superficial do mineral. O outro mecanismo consiste na hidrólise dos íons em solução, seguida de adsorções na interface (Somasundaran, 1968). As espécies iônicas que determinam a carga superficial do mineral são chamadas de íons determinadores de potencial ou IDP's.

Sendo o pH da solução superior ao valor do ponto de carga zero (PCZ: valor de pH onde a atividade de um dos íons determinadores de potencial é zero) da apatita, os equilíbrios das reações (3.8), (3.9), (3.10) e (3.14) deslocam-se para a esquerda e os das reações (3.5) e (3.6) deslocam-se para a direita, de forma que o mineral adquire carga líquida negativa (Somasundaran, 1968).

Algumas propriedades físicas, a composição química e a origem do mineral apatita podem interferir diretamente na sua flotabilidade. Sorensen (1973) concluiu que com o aumento do teor de flúor na apatita, a flotabilidade do mineral aumenta devido às fortes ligações formadas entre os átomos de oxigênio do oleato (carboxilato) e os átomos de flúor da apatita. A adsorção química do oleato nos sítios de cálcio existentes no mineral apatita realmente é o mecanismo mais amplamente aceito (Rietz, 1975; Hanna e Somasundaran, 1976; Ananthapadmanabhan e Somasundaran, 1985). Sugere-se que a adsorção do oleato na apatita ocorre eletrostaticamente abaixo do seu ponto de carga zero e quimicamente acima dele (Yehia et al., 1993).

Mishra (1982) concluiu que, para iguais recuperações na flotação, deve-se utilizar concentração de oleato dez vezes maior para fluorapatita amorfa, comparando-se com fluorapatita bem cristalizada. A melhor flotabilidade da apatita cristalina foi atribuída às extremidades pontiagudas formadas pela boa orientação cristalográfica. Houot (1982) atribuiu a maior flotabilidade da apatita endogênica (bem cristalizada), frente à outra, de origem sedimentar (amorfa), à sua menor área superficial.

Rodrigues e Brandão (1993) realizaram testes de microflotação com apatitas de diferentes origens e observaram que as apatitas com maiores graus de cristalinidade apresentaram melhores performances. Os piores resultados revelados pelas apatitas com menores graus de cristalinidade foram atribuídos às suas maiores solubilidades e menores estabilidades na interface água-mineral.

Sobre os efeitos da área superficial na flotabilidade da apatita deve ser considerado que: (i) para cobrir uma certa área superficial, as partículas mais finas requerem maiores concentrações de surfatantes; (ii) a taxa de dissolução dos íons cálcio, que precipitam o oleato dissolvido, é maior para as partículas menores. Zhong e colaboradores (1993) estudaram os efeitos do tipo de minério fosfático e da área superficial na flotabilidade da apatita frente ao oleato e concluíram que as características de dissolução e adsorção dependem da área superficial da partícula mineral e da área do poro, sendo as taxas de dissolução diretamente ligadas à difusão através dos poros.

Somasundaran e colaboradores (1985) e Ananthapadmanbhan e Somasundaran (1985) postularam que quando a taxa de liberação de cátions em solução (pela solubilização do próprio mineral) e a difusão através das camadas de ligação forem maiores que a difusão do coletor na superfície mineral, a interação entre os cátions e o coletor ocorrerá, ocasionando a precipitação de sais do coletor e o consumo excessivo do mesmo para alcançar a propriedade da flotação. Entretanto, se a precipitação desses sais ocorrer na própria partícula mineral, a flotação será favorecida devido à sua natureza hidrofóbica.

Feng e Aldrich (2004) analisaram a influência de parâmetros operacionais tais como: dosagem do coletor, pH da polpa, temperatura e método de moagem (a seco ou a úmido), na flotação da apatita e observaram que: (i) o pH de polpa elevado aumentou a recuperação e a cinética da flotação e diminuiu o teor de P_2O_5 no concentrado; (ii) uma alta dosagem de coletor resultou no aumento da recuperação e na aceleração da cinética de flotação; (iii) altas temperaturas favoreceram a flotação da apatita; (iv) o método de moagem não afetou a cinética de flotação significativamente.

Luz (1987) estudou o efeito do estado de agregação na separação entre calcita, dolomita e apatita por flotação e observou que: (i) os valores de pH de agregação máxima correspondiam aos de máxima flotação; (ii) para calcita, dolomita e apatita, isolados, em presença de amido, observou-se “correlação direta de segunda ordem” entre as curvas de agregação e as respectivas curvas de flotabilidade; (iii) aparentemente, há grau de simultaneidade que sugere interdependência, sob certas circunstâncias, entre fenômenos de agregação e os fenômenos envolvidos em flotação.

2.5.2. O minério fosfático de Tapira

Em 2000, a mina de Tapira, em Minas Gerais, possuía reserva geológica total de minério fosfático de aproximadamente 1,4 bilhão de toneladas, com teor médio de P_2O_5 próximo de 8,3 % (CMT Fosfertil, 2001).

Os minerais encontrados na mina com maior frequência são: apatita, anatásio, calcita, dolomita, perovskita, schorlomita, vermiculita, flogopita, biotita, piroxênio, quartzo, goethita, magnetita e diopsídio (CMT Fosfertil, 2001).

Barros e colaboradores (2001) revelaram a existência de dois principais tipos de minérios em Tapira, o minério fosfático friável (associado predominantemente à ganga silicatada) e o minério fosfático granulado (associado predominantemente à ganga carbonatada). Ensaios de flotação em escala de bancada indicaram a necessidade de circuitos individuais para cada tipo de minério. Para o minério granulado, foi proposto novo esquema de reagentes (coletores), baseado na utilização de mistura contendo sulfosuccinatos, sulfosuccinamatos e ácidos graxos de origem vegetal. O minério friável foi dividido em dois circuitos, um para as frações grossas e outro para as frações mais finas.

A tabela 2.6 apresenta a composição mineralógica típica dos minérios: friável (granulometria abaixo de 7,1 mm), granulado (granulometria entre 7,1 e 28 mm) e do “run of mine (ROM)” (CMT Fosfertil, 2001).

Tabela 2.6. Composição típica dos minérios de Tapira-MG (CMT Fosfertil, 2001).

Minerais	% Minério Friável	% Minério Granulado	% ROM
Apatita	21	16	20
Magnetita	22	19	21
Calcita / Dolomita	2	21	7
Mica	22	6	18
Quartzo	10	21	13
Diopsídio	5	5	5
Perovskita / Anatásio	12	10	11
Opacos / outros	6	2	5

3. OBJETIVOS

A saponificação de óleos vegetais, na indústria mineral, é realizada a fim de se obter o coletor do mineral apatita, o carboxilato de sódio. Em geral, a extensão da reação de saponificação não é bem controlada, impossibilitando qualquer comparação e análise dos parâmetros operacionais de flotação do mineral apatita, buscando a otimização do processo.

Portanto, este trabalho teve como objetivos:

- i. Caracterizar quimicamente os óleos vegetais utilizados em Tapira-MG e comparar os desempenhos de seus sabões com o desempenho do sabão de ácido oléico, como coletores na flotação de apatita;
- ii. verificar o efeito da variação do grau de saponificação (conversão) de diferentes reagentes à base de ácidos graxos (ácido oléico, óleo de babaçu refinado, Hidrocol sem hidrogenação e Hidrocol parcialmente hidrogenado) na flotação de apatita, através de ensaios de microflotação e de flotação em bancada.

4. RELEVÂNCIA DO TRABALHO

A mineralogia complexa, o baixo grau de uniformidade, o baixo teor de P_2O_5 e o considerável teor de carbonatos dos minérios fosfáticos brasileiros, dificultam o beneficiamento dos mesmos. Grande perda de fósforo ocorre durante o beneficiamento do minério, cerca de 40 % do total das perdas. O aprimoramento do processo de concentração pode levar ao melhor aproveitamento das reservas fosfáticas.

O presente trabalho visa auxiliar na otimização dos parâmetros operacionais do circuito de reagentes de flotação, no sentido de encontrar caminhos para melhores condições de flotação da apatita, para duas tipologias de minérios fosfáticos, granulado e friável, utilizando-se diferentes óleos, de origem vegetal, como fontes de ácidos graxos, que são as principais matérias-primas para os coletores do mineral.

O trabalho é de importância acadêmica, pois apresenta a caracterização tecnológica tanto das amostras minerais quanto das amostras de óleos vegetais utilizadas. Destaca-se a inédita caracterização dos dois óleos produzidos a partir da borra do óleo de soja, o Hidrocol parcialmente hidrogenado e o Hidrocol sem hidrogenação. Também tem aplicabilidade prática, uma vez que todos os procedimentos operacionais e os esquemas de reagentes utilizados no decorrer dos trabalhos foram baseados em dados reais de um circuito de concentração em operação.

A escassez de pesquisas que verificam os efeitos da variação do grau de saponificação de óleos vegetais na flotação de apatita, ratifica a importância do presente trabalho e o torna uma das principais referências sobre o assunto.

5. METODOLOGIA

5.1. Caracterização das amostras minerais

Uma amostra de fluorapatita, procedente de Monteiro-PB, foi cominuída em gral de ágata e classificada entre -149 e +74 μm por peneiras da série ABNT, a fim de ser utilizada na realização dos testes de microflotação em tubo de Hallimond modificado. Foi feita a análise mineralógica qualitativa da amostra mineral de fluorapatita, por difratometria de raios X, através do aparelho LabX-XRD Shimadzu, com tubo de cobalto, confirmando a presença de fluorapatita.

As amostras de minérios provenientes do Complexo Carbonatítico Alcalino de Tapira foram coletadas na usina de beneficiamento de minério da Fosfertil, após as etapas de moagem, separação magnética de baixa intensidade e deslamagens, nos dois circuitos de beneficiamento, o granulado e o friável; foram homogeneizadas e quarteadas pelo método das pilhas longitudinais, para serem realizadas suas análises granulométricas utilizando-se a série de peneiras ABNT, as determinações de densidades relativas pelo método do picnômetro e os ensaios de flotação seletiva em escala de bancada. Essas amostras foram analisadas quimicamente por via úmida para a obtenção de seus teores de P_2O_5 , Fe_2O_3 , MgO e CaO . A análise mineralógica qualitativa foi feita por difratometria de raios X, através do aparelho LabX-XRD Shimadzu, com tubo de cobalto.

A determinação da densidade relativa pelo método do picnômetro consiste em anotar as massas, em gramas: P = massa do picnômetro vazio, P_m = massa do picnômetro com minério, $P_{(m+a)}$ = massa do picnômetro com minério e água, P_a = massa do picnômetro com água. Obtem-se a densidade relativa (ρ) do minério utilizando-se a fórmula:

$$\rho = \frac{(P_m - P)}{(P_a + P_m) - (P + P_{(m+a)})}$$

5.2. Caracterização dos óleos vegetais

Como fontes de ácidos graxos, as matérias-primas para os coletores da apatita, utilizou-se o Hidrocol parcialmente hidrogenado, o Hidrocol sem hidrogenação, o ácido oléico e o óleo de babaçu refinado. Os resultados dos dois últimos foram utilizados para comparação com os resultados obtidos para os óleos da família do Hidrocol.

O óleo de babaçu refinado, adquirido através da All Chemistry do Brasil Ltda., possui as seguintes características, informadas pelo fabricante:

- Índice de saponificação: 247 mg KOH / g amostra;
- índice de iodo: 15 cg I (iodo) / g amostra;
- matéria insaponificável: 0,20 %.

A caracterização química dos óleos vegetais foi realizada através de análises de cromatografia gasosa, para obter as suas composições em ácidos graxos, por via úmida, para obter as suas principais propriedades tais como índice de saponificação (IS), matéria insaponificável (MI), índice de acidez (IA), índice de iodo (II), índice de peróxidos (IP), umidade e por espectrometria de infravermelho à transformada de Fourier (FTIR), para a obtenção dos espectros das amostras. Como exemplo, algumas metodologias de análise por via úmida estão descritas no anexo I.

As análises químicas por via úmida: índice de peróxidos, matéria insaponificável e teor de umidade, bem como as análises por cromatografia gasosa, utilizando-se o Cromatógrafo GC9001 – Finnigan, gerenciado pelo software Labquest, foram realizadas no Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa - UFV.

As análises químicas por via úmida: índice de saponificação (IS), índice de acidez (IA) e índice de iodo (II) foram realizadas no laboratório químico da Fosfertil de Tapira-MG.

As análises químicas por espectrometria de infravermelho foram realizadas na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, utilizando-se o Espectrômetro à Transformada de Fourier (FTIR), Perkin-Elmer modelo 1760X, gerenciado pelo software Spectrum versão 2.0.

As viscosidades cinemáticas dos óleos vegetais, em diferentes temperaturas, foram determinadas utilizando-se:

- Viscosímetros capilares de Ostwald, marca Cannon-Fenske;
- banho termostático CT52, marca SCHOTT;
- aparelho digital de medida AVS350, marca SCHOTT;
- suporte de medição para os viscosímetros AVS/S, marca SCHOTT;
- cronômetro digital, modelo BOE240;
- chapa térmica com agitação magnética Fisatom, modelo 703A.

5.3. Saponificação dos óleos vegetais

A saponificação dos óleos foi baseada no procedimento operacional padrão utilizado pela planta piloto da Fosfertil de Tapira, descrito no anexo III. Diferencia-se pela concentração de NaOH utilizada, aproximadamente 11,5 % m/v e pela forma de agitação e homogeneização, feita mecanicamente por um pequeno impelidor de pás. Os óleos foram aquecidos em 40 °C para total liquefação.

A extensão da reação foi verificada por via úmida, através da determinação do grau de saponificação (ou grau de conversão). A seguir, é apresentado o procedimento adotado na determinação do grau de saponificação dos óleos vegetais, baseado no que foi descrito por Rittner (1995), tendo como referência o método AOCS Db-3-48 de determinação de álcali livre em sabões:

Procedimento:

- Coletar uma alíquota de sabão (aproximadamente 5 g).
- Pesar a amostra e anotar o valor.
- Adicionar 200 mL de álcool etílico 95 % v/v, em início de fervura e neutralizado com NaOH 5 % m/v até cor levemente rosada de indicador de fenolftaleína, pouco antes de sua utilização.
- Agitar até dissolução completa do sabão.
- Adicionar 0,5 mL de solução de indicador de fenolftaleína (1 % m/v, em álcool etílico a 95 % v/v).
- Deixar sob agitação com bastão magnético.
- Titular com solução de HCl de normalidade conhecida (0,1 N).

Cálculo da concentração de NaOH livre (%)

$$\% NaOH = \frac{V_{HCl} \times N_{HCl} \times 0,04}{M_{amostra}} \times 100 = (\text{g NaOH} / 100 \text{ g de amostra})$$

Onde:

V_{HCl} = volume, em mL, da solução de HCl gasto na titulação;

N_{HCl} = normalidade da solução de HCl;

$M_{amostra}$ = massa da amostra, em gramas.

0,04 = miliequivalente da soda.

Cálculo da massa de NaOH reagida

$$M_{NaOH\text{reag}} = (V_{NaOH} \times C_{NaOH}) - (M_{sabão} \times \% NaOH)$$

Onde:

V_{NaOH} = volume, em mL, da solução de NaOH adicionada na preparação do sabão;

C_{NaOH} = concentração, em % m/v (g NaOH / 100 mL de solução), da solução de NaOH utilizada na preparação do sabão;

$M_{sabão}$ = massa do sabão formado, em gramas: ($M_{óleo}$) + ($M_{água}$) + ($V_{NaOH} \times C_{NaOH}$);

$\% NaOH$ = concentração de $NaOH_{livre}$, em g NaOH / 100 g de amostra.

Cálculo da massa de óleo reagida

$$M_{\text{óleoreag}} = \frac{M_{\text{NaOHreag}}}{E_{\text{óleo}}}$$

Onde:

M_{NaOHreag} = massa reagida de NaOH, em gramas;

$E_{\text{óleo}}$ = estequiometria do óleo (veja nota).

Nota

Calcula-se a estequiometria do óleo (g NaOH / g óleo) da seguinte maneira:

$$E_{\text{óleo}} = \frac{I.S. \times \left(\frac{MM_{\text{NaOH}}}{MM_{\text{KOH}}} \right)}{1000}$$

Onde:

I.S. = índice de saponificação do óleo (mg KOH / g óleo);

MM_{NaOH} = massa molecular do NaOH (40 g/mol);

MM_{KOH} = massa molecular do KOH (56,1 g/mol).

Cálculo do grau de saponificação (conversão) do óleo

$$S_{\text{óleo}} = \frac{M_{\text{óleoreag}}}{M_{\text{óleo}}} \times 100$$

Onde:

$M_{\text{óleoreag}}$ = massa de óleo reagida, em gramas;

$M_{\text{óleo}}$ = massa do reagente óleo adicionada na preparação do sabão, em gramas.

Foi feito um estudo sobre a habilidade de saponificação de cada óleo vegetal, a fim de descobrir a dosagem de NaOH a aproximadamente 11,5 % m/v a ser adicionada para alcançar o grau de saponificação desejado.

Tendo-se a massa de óleo vegetal a ser saponificado, calcula-se o volume de NaOH a aproximadamente 11,5 % m/v a ser adicionado para atingir o grau de saponificação desejado, através da estequiometria do óleo. Após a saponificação do óleo, determina-se o grau de saponificação e avalia-se a saponificabilidade de cada óleo. Deve-se tomar o cuidado de homogeneizar o óleo e armazená-lo em alíquotas, em vidro âmbar e, de preferência dentro de um freezer, para que o mesmo conserve suas características físico-químicas.

Na prática industrial, procura-se trabalhar com grau de saponificação entre 55 % e 75 %. De acordo com Leja (1982), a fração ionizada desses sais de ácido graxos atua no sentido de estabilizar a espuma formada durante o processo de flotação e, portanto, a fração não saponificada desses óleos atua como anti-espumante, podendo auxiliar na recuperação da apatita.

5.4. Ensaio de Microflotação

Os ensaios de microflotação foram realizados em tubo de Hallimond modificado, empregando-se os seguintes equipamentos como auxiliares:

- pH-metro Digimed DMPH-1;
- agitador magnético FANEM modelo 257;
- cronômetro digital, modelo BOE240.

Utilizou-se o mineral fluorapatita cuja origem, preparação e caracterização encontra-se descrita no item 5.1.

Utilizaram-se as matérias-primas para coletores, identificadas como:

- Ácido oléico – oleína, fabricado pela Química Sulfal Ltda.;
- Hidrocol parcialmente hidrogenado, fabricado pela Hidroveg;
- Hidrocol sem hidrogenação, fabricado pela Hidroveg;
- óleo de babaçu refinado, adquirido da All Chemistry do Brasil Ltda.

Os óleos vegetais foram previamente saponificados com NaOH a aproximadamente 11,5 % m/v para serem utilizados como coletores. A saponificação foi realizada em temperatura entre 35 e 45 °C e sob agitação constante. Adicionou-se solução de NaOH em dosagem necessária para atingir o grau de saponificação desejado. Os graus de saponificação adotados foram de aproximadamente 40, 55, 70, 85 e 100 %, para cada óleo vegetal. A solução de sabão preparada foi diluída até a concentração adotada, aproximadamente $5,0 \times 10^{-5}$ mol/L, mantendo-se o pH sempre igual ou superior a 10 para garantir total dissociação do sabão. A solução de sabão não pode ser estocada, devendo-se preparar nova solução diariamente. Os ensaios foram realizados em duplicata.

Os controladores de pH utilizados foram o hidróxido de sódio (NaOH) 5 % m/v e o ácido clorídrico (HCl) 5 % v/v e como gás inerte foi empregado o nitrogênio.

As condições nas quais realizaram-se os testes de microflotação foram:

- Massa de mineral: aproximadamente 1 g;
- volume de solução do coletor: aproximadamente 270 mL;
- tempo de condicionamento do coletor: 2 min.;
- tempo de flotação: 1 min.;
- vazão de nitrogênio: aproximadamente 60 mL/min.

Adotou-se como pH do teste de microflotação, aquele determinado ao final do experimento e, através da razão entre a massa flotada e a massa total da amostra, encontrou-se a porcentagem flotada do mineral.

5.5. Ensaios de Flotação em escala de bancada

5.5.1. Etapa de desbaste (*rougher*)

As amostras dos minérios fosfáticos: granulado e friável, descritas no item 5.1, foram submetidas a ensaios de flotação em escala de bancada, etapa de desbaste (*rougher*).

Os óleos vegetais: ácido oléico, Hidrocol parcialmente hidrogenado, Hidrocol sem hidrogenação e óleo de babaçu refinado foram utilizados como matérias-primas para os coletores, sendo saponificados com NaOH, como descrito no item 5.3. Utilizou-se amido de milho gelatinizado com hidróxido de sódio como depressor de minerais de ganga, segundo procedimento operacional padrão utilizado pela planta piloto da Fosfertil de Tapira (descrito no anexo III). NaOH e HCl, ambos a 5 % e com grau de pureza analítica (P.A.), foram utilizados como modificadores de pH.

Os graus de saponificação estudados foram de aproximadamente 40, 55, 70, 85 e 100 %, para cada óleo vegetal. Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

Os ensaios de flotação foram realizados em célula de flotação de bancada CIMAQ, modelo CFB 1000, nas seguintes condições:

- Concentração mássica de sólidos: 60 % no condicionamento e 30 % na flotação;
- volume de polpa: 1 litro no condicionamento e 2 litros na flotação;
- agitação: 1100 rpm no condicionamento e 1400 rpm na flotação;
- tempo de condicionamento do depressor: 5 min;
- tempo de condicionamento do coletor: 2 min;
- dosagem do depressor: 500 g/t;
- dosagem do coletor: 400 g/t;
- pH 9,5.

Os testes de flotação em bancada para os minérios fosfáticos foram baseados em procedimentos operacionais padrões utilizados pela planta piloto da Fosfertil de Tapira, descritos no anexo III. Diferencia-se por ter sido realizada apenas a etapa *rougher* e pelo tempo de condicionamento adotado para o coletor, 2 minutos.

5.5.2. Etapa de limpeza (*cleaner*)

Para os dois minérios fosfáticos, foram realizados ensaios de flotação etapa de desbaste (*rougher*) como descrito no item 5.5.1. e, imediatamente, etapa de limpeza (*cleaner*), com o grau de saponificação de cada óleo vegetal que apresentou o melhor resultado, tendo como indicadores de qualidade o teor de P_2O_5 e das impurezas Fe_2O_3 e MgO no concentrado, a recuperação de P_2O_5 e a relação CaO/P_2O_5 . Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

Os ensaios foram realizados tendo como base os procedimentos operacionais padrões utilizados pela planta piloto da Fosfertil de Tapira, descritos no anexo III. Diferencia-se no tempo de condicionamento do coletor, na velocidade rotacional adotada para a etapa de condicionamento e pela não utilização do CF da usina (“finos”) na flotação do minério fosfático friável.

5.5.3. Etapa de limpeza (*cleaner*) com coletor sintético KE883B

Os mesmos ensaios foram realizados em duplicata, com iguais procedimentos empregados no item 5.5.2. A diferença é a utilização de um coletor sintético da família dos sulfosuccinatos, o KE883B, como descrito por Lima (1989), juntamente com os sabões dos óleos vegetais, nas seguintes proporções:

- Minério fosfático granulado: 70 % de sabão e 30 % de KE883B, em massa;
- minério fosfático friável: 85 % de sabão e 15 % de KE883B, em massa.

Apenas como esclarecimento, a mistura dos coletores foi utilizada na flotação em bancada etapa de desbaste (*rougher*), uma vez que o procedimento de flotação etapa de limpeza (*cleaner*) não demanda adição de coletor (ver em anexo III).

Todas as soluções de reagentes foram preparadas com água destilada e todas as flotações foram realizadas utilizando-se água potável.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Caracterização dos minérios fosfáticos

Os gráficos das distribuições granulométricas do minério fosfático granulado e do friável e os dados referentes a essas análises são apresentados no apêndice II. Para o minério granulado: 82,06 % da amostra ficou abaixo de 250 μm e 14,23 % abaixo de 45 μm . Para o minério friável: 81,93 % da amostra ficou abaixo de 250 μm e 2,66 % abaixo de 45 μm .

A densidade relativa obtida, através do método do picnômetro, para o minério granulado foi de 3,17 g/cm^3 e para o minério friável foi de 3,26 g/cm^3 . Os dados referentes a essas determinações são apresentados no apêndice III.

Os resultados das análises químicas, via úmida, das amostras de minério, para a obtenção de seus teores de P_2O_5 , Fe_2O_3 , MgO e CaO , são apresentados na tabela 6.1. Nota-se que os valores das análises, para o minério friável, foram sempre superiores aos valores obtidos para o minério granulado. Vale ressaltar que o teor de P_2O_5 no minério friável, 11,86 %, é superior ao teor de P_2O_5 no minério granulado, 9,23 %.

Os difratogramas das análises mineralógicas qualitativas dos minérios, por difratometria de raios X, através do aparelho LabX-XRD Shimadzu, são apresentados no apêndice I. Foi observada, principalmente, a presença de fluorapatita, magnetita e quartzo.

6.2. Caracterização físico-química dos óleos vegetais

6.2.1. Viscosidade cinemática (ν)

A tabela 6.2 contém os resultados experimentais e os valores encontrados na literatura, das viscosidades cinemáticas da água destilada nas temperaturas de 25, 30, 35 e 40 $^{\circ}\text{C}$. Esses ensaios foram realizados como critério de validação das análises de viscosidade cinemática. Observa-se que os valores obtidos experimentalmente ficaram bem próximos aos valores de literatura (CRC Handbook of Chemistry and Physics, 1977).

Tabela 6.1. Composição química dos minérios fosfáticos de Tapira-MG.

Minério fosfático	Teor médio (%)			
	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO
Granulado	9,23	15,25	1,94	13,83
Friável	11,86	24,25	2,31	17,77

Tabela 6.2. Viscosidade cinemática (ν) da água destilada em diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	ν literatura* (mm ² /s)	ν experimental (mm ² /s)	Fator de multiplicação f
25	0,8963	0,9465	0,9451
30	0,8042	0,8479	0,9390
35	0,7268	0,7832	0,9317
40	0,6611	0,7129	0,9228
			f médio = 0,9347

* CRC Handbook of Chemistry and Physics, 1977.

Analisando-se a figura 6.1, que compara os valores experimentais e os de literatura de viscosidade cinemática da água destilada, em função da temperatura, chega-se a um fator de multiplicação para a correção dos resultados obtidos para os óleos vegetais, f médio = 0,9347.

A figura 6.2 apresenta as viscosidades cinemáticas dos óleos vegetais, já corrigidas pelo fator de multiplicação, em função da temperatura. Observa-se que a viscosidade cinemática do óleo de babaçu refinado a 25 °C, 55 mm²/s (1 cSt = 1 mm²/s) é superior à viscosidade cinemática do ácido oléico na mesma temperatura, 33 mm²/s. Isso porque o óleo de babaçu refinado é formado, essencialmente por triglicerídios, ao contrário do que ocorre para o ácido oléico, que é composto, em sua maioria, por ácidos graxos livres. As viscosidades cinemáticas obtidas para o ácido oléico foram inferiores às dos outros óleos, devido à sua composição em ácidos graxos livres, na grande maioria insaturados.

Não foi possível determinar as viscosidades cinemáticas do Hidrocol parcialmente hidrogenado e do Hidrocol sem hidrogenação nas temperaturas de 25 °C e 30 °C devido ao entupimento dos viscosímetros pelas alíquotas dessas amostras. A viscosidade cinemática do Hidrocol parcialmente hidrogenado a 35 °C, 38 mm²/s, é pouco superior ao valor obtido para o Hidrocol sem hidrogenação na mesma temperatura, 35 mm²/s. Pelas inclinações das curvas desses dois óleos, nota-se que as viscosidades cinemáticas decrescem de maneira semelhante, com o aumento da temperatura.

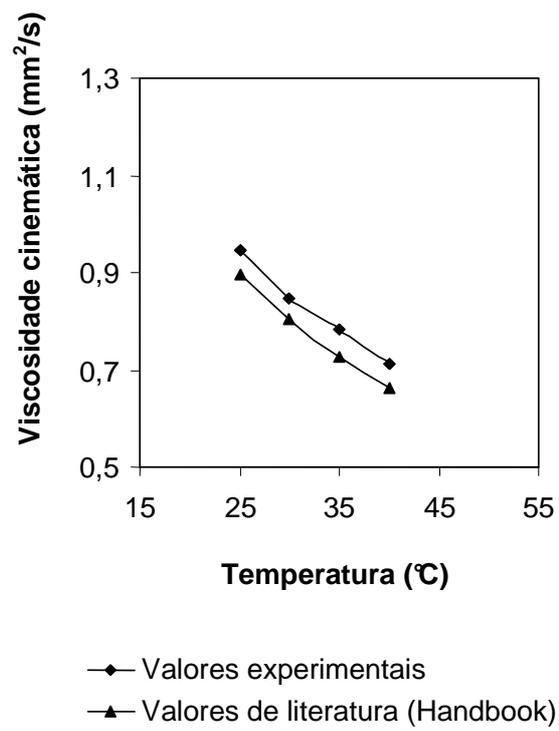
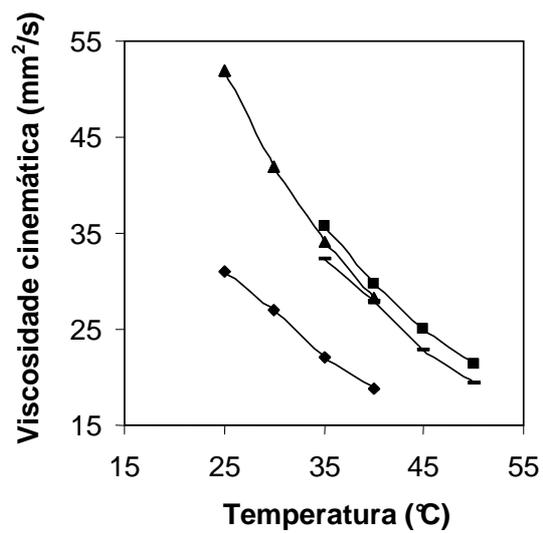


Figura 6.1. Viscosidade cinemática da água destilada versus temperatura.



- ▲— Óleo de babaçu refinado
- ◆— Ácido oléico
- Hidrocol parcialmente hidrogenado
- ×— Hidrocol sem hidrogenação

Figura 6.2. Viscosidades cinemáticas dos óleos versus temperatura.

6.2.2. Análises via úmida

A tabela 6.3 contém os resultados das determinações de índice de acidez dos óleos, obtidos experimentalmente. Observa-se que houve concordância entre o valor de literatura, 200,00 mg de KOH por grama de óleo (Gunstone, 1986) e o valor experimental, 201,49 mg de KOH por grama de óleo, encontrado para o ácido oléico. O valor de índice de acidez do óleo de babaçu refinado informado pelo fabricante (All Chemistry do Brasil Ltda.), 0,010 %, é expresso em unidade de medida diferente daquela apresentada na análise química experimental, 1,05 mg de KOH por grama de óleo, impossibilitando a comparação. Mesmo assim, o resultado experimental indica que o óleo de babaçu refinado possui pequena quantidade de ácidos graxos livres. Os valores experimentais de índice de acidez do Hidrocol parcialmente hidrogenado e do Hidrocol sem hidrogenação, respectivamente 134,67 e 152,48 mg de KOH por grama de óleo, demonstram que ambos possuem grande quantidade de ácidos graxos livres. Não foram encontrados, na literatura, valores de referência de índice de acidez para o Hidrocol parcialmente hidrogenado e para o Hidrocol sem hidrogenação.

A tabela 6.4 contém os resultados das determinações de índice de saponificação dos óleos. Observa-se que o valor do índice de saponificação do ácido oléico, 201,61 mg de KOH por grama de óleo, coincide com o seu valor de índice de acidez, 201,49 mg de KOH por grama de óleo, mostrando que o reagente realmente é constituído, essencialmente, de ácidos graxos livres. Não foram encontrados, na literatura, valores de referência de índice de saponificação para o Hidrocol parcialmente hidrogenado e para o Hidrocol sem hidrogenação, os quais apresentaram valores experimentais muito próximos, respectivamente 191,16 e 190,38 mg de KOH por grama de óleo, indicando que possuem, aproximadamente, a mesma quantidade de matéria saponificável. Quanto ao óleo de babaçu refinado, o fato de o valor do índice de saponificação, 246,91 mg de KOH por grama de óleo, estar muito superior ao valor do índice de acidez, 1,05 mg de KOH por grama de óleo, indica que a maior parte dos ácidos graxos presentes no óleo apresenta-se ligada ao glicerol através de ligações éster, formando os triglicerídios. O valor também se apresenta bem próximo ao valor de índice de saponificação informado pelo fabricante (All Chemistry do Brasil Ltda.), 247,00 mg KOH por grama de óleo.

Tabela 6.3. Índices de acidez dos óleos.

Amostra	Índice de acidez (mg KOH / g de amostra)	
	Valor da análise	Valor de referência*
Ácido oléico	201,49	200,00
Hidrocol parcialmente hidrogenado	134,67	-
Hidrocol sem hidrogenação	152,48	-
Óleo de babaçu refinado	1,05	-

* Gunstone, 1986.

Tabela 6.4. Índices de saponificação dos óleos.

Amostra	Índice de saponificação (mg KOH / g de amostra)	
	Valor da análise	Valor de referência*
Ácido oléico	201,61	200,00
Hidrocol parcialmente hidrogenado	191,16	-
Hidrocol sem hidrogenação	190,38	-
Óleo de babaçu refinado	246,91	247,00

* Kirk-Othmer; All Chemistry do Brasil.

Os resultados das determinações de índice de iodo são apresentados na tabela 6.5. O valor experimental de índice de iodo obtido para o óleo de babaçu refinado, 17,59 cg de I por grama de óleo, apresenta-se bem próximo do valor informado pelo fabricante (All Chemistry do Brasil Ltda.), 15,00 cg de I por grama de óleo. O valor experimental de índice de iodo obtido para o ácido oléico, 97,04 cg de I por grama de óleo, foi pouco superior àquele citado pela literatura (Gunstone,1986), 92,00 cg de I por grama de óleo. Não foram encontrados valores de referência de índice de iodo para o Hidrocol parcialmente hidrogenado e para o Hidrocol sem hidrogenação. O índice de iodo indica a extensão das insaturações (ligações duplas e/ou triplas) nos óleos vegetais. Nota-se que o valor de índice de iodo do Hidrocol parcialmente hidrogenado, 115,58 cg de I por grama de óleo, apresenta-se ligeiramente superior ao valor encontrado para o Hidrocol sem hidrogenação, 111,78 cg de I por grama de óleo, ao contrário do que se esperava, uma vez que a hidrogenação reduz a quantidade de duplas ligações (insaturações) das cadeias hidrocarbônicas dos ácidos graxos. A ordem crescente de índice de iodo encontrada para os óleos vegetais analisados foi: óleo de babaçu refinado, ácido oléico, Hidrocol sem hidrogenação e Hidrocol parcialmente hidrogenado.

Os resultados das determinações de índice de peróxidos são apresentados na tabela 6.6. O valor experimental de índice de peróxido obtido para o óleo de babaçu refinado, 2,3 miliequivalentes de peróxido por kg de óleo, mostra que este óleo apresenta-se oxidado, já que o valor informado pelo fabricante é de 0,10 miliequivalentes de peróxido por kg de óleo. Nos óleos onde predomina a oxidação do ácido oléico, a rancificação se inicia quando o valor do índice de peróxido atingir entre 10 e 20 miliequivalentes de peróxido por kg de óleo e que nos óleos onde predomina a oxidação dos ácidos linoléico e linolênico, quando o índice de peróxido estiver entre 0,5 e 2,0 miliequivalentes de peróxido por kg de óleo, (Data-Sheel Química). Portanto, o valor experimental de índice de peróxido encontrado para o Hidrocol parcialmente hidrogenado, 9,1 miliequivalentes de peróxido por kg de óleo, demonstra que esse óleo apresenta-se bastante oxidado. O valor experimental de índice de peróxido encontrado para o Hidrocol sem hidrogenação, 1,9 miliequivalentes de peróxidos por kg de óleo, demonstra que esse óleo não apresenta oxidação significativa. O valor

Tabela 6.5. Índices de iodo dos óleos.

Amostra	Índice de iodo (cg I absorvido / g de amostra)	
	Valor da análise	Valor de referência*
Ácido oléico	97,04	92,00
Hidrocol parcialmente hidrogenado	115,58	-
Hidrocol sem hidrogenação	111,78	-
Óleo de babaçu refinado	17,59	15,00

* Gunstone, 1986; All Chemistry do Brasil.

Tabela 6.6. Índices de peróxidos dos óleos.

Amostra	Índice de peróxidos (miliequivalentes de peróxidos / kg de amostra)	
	Valor da análise	Valor de referência*
Ácido oléico	32,6	-
Hidrocol parcialmente hidrogenado	9,1	-
Hidrocol sem hidrogenação	1,9	-
Óleo de babaçu refinado	2,3	0,10

* All Chemistry do Brasil.

experimental de índice de peróxido encontrado para o ácido oléico, 32,6 miliequivalentes de peróxido por kg de óleo, demonstra que esse óleo apresenta um grau de oxidação bastante elevado.

Os resultados das determinações de teor de umidade estão na tabela 6.7. O valor experimental encontrado para o óleo de babaçu refinado, 0,29 %, apresenta-se superior ao valor informado pelo fabricante, 0,15 %. Os respectivos valores experimentais de teor de umidade do ácido oléico, do Hidrocol parcialmente hidrogenado e do Hidrocol sem hidrogenação são: 0,06 %, 2,27 % e 4,86 %. Não foram encontrados valores de referência de teor de umidade para esses óleos.

O valor superior de teor de umidade do Hidrocol sem hidrogenação, comparando-se ao valor encontrado para o Hidrocol parcialmente hidrogenado, pode auxiliar na explicação da diferença de viscosidade cinemática entre os dois óleos, uma vez que o óleo com maior quantidade de água (maior umidade) sempre apresentou maior escoamento, ou seja, menor viscosidade.

Os resultados das determinações de matéria insaponificável são apresentados na tabela 6.8. Não foram encontrados valores de referência de matéria insaponificável para o Hidrocol parcialmente hidrogenado e para o Hidrocol sem hidrogenação, sendo seus respectivos valores experimentais os seguintes: 3,31 % e 4,32 %. O valor experimental de matéria insaponificável encontrado para o óleo de babaçu refinado, 0,23 %, apresenta-se em concordância com o valor informado pelo fabricante (All Chemistry do Brasil Ltda.), 0,20 %. O valor experimental de matéria insaponificável encontrado para o ácido oléico, 0,44 %, mostra que o mesmo contém outra(s) substância(s) e não apenas ácidos graxos.

Tabela 6.7. Teores de umidade dos óleos.

Amostra	Umidade (%)	
	Valor da análise	Valor de referência*
Ácido oléico	0,06	-
Hidrocol parcialmente hidrogenado	2,27	-
Hidrocol sem hidrogenação	4,86	-
Óleo de babaçu refinado	0,29	0,15

* All Chemistry do Brasil.

Tabela 6.8. Teores de matéria insaponificável dos óleos.

Amostra	Matéria insaponificável (%)	
	Valor da análise	Valor de referência*
Ácido oléico	0,44	-
Hidrocol parcialmente hidrogenado	3,31	-
Hidrocol sem hidrogenação	4,32	-
Óleo de babaçu refinado	0,23	0,20

* All Chemistry do Brasil.

6.2.3. Cromatografia gasosa

A tabela 6.9 apresenta a composição química das amostras de óleo, referente aos seus conteúdos em ácidos graxos. Os cromatogramas correspondentes são apresentados nas figuras 6.3, 6.4, 6.5 e 6.6.

De maneira geral, os resultados obtidos para o óleo de babaçu refinado estão de acordo com os dados da tabela 2.3 e encontram-se próximos aos valores citados por Gunstone e colacoradores (1986).

Os resultados obtidos para o Hidrocol parcialmente hidrogenado e para o Hidrocol sem hidrogenação mostram que estes possuem composições muito parecidas com a composição em ácidos graxos do óleo de soja (tabela 2.3).

Comprovou-se que o ácido oléico é, na verdade, uma oleína com 58,70 % de ácido oléico, tendo sua composição muito parecida com a composição do óleo de canola hidrogenado, como sugerido pelo Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa.

Houve coerência na correlação entre índice de iodo e grau de insaturações, já que os óleos vegetais compostos por maior quantidade de ácidos graxos com maior grau de insaturações (ácido linoléico e ácido linolênico) apresentaram valores de índice de iodo mais altos.

Também se percebe que os teores dos ácidos graxos insaturados, principalmente o ácido oléico, o ácido linoléico e o ácido linolênico, presentes no Hidrocol parcialmente hidrogenado, são ligeiramente superiores aos teores encontrados para o Hidrocol sem hidrogenação, confirmando as análises de índice de iodo (tabela 6.5).

Tabela 6.9. Composição dos óleos, por cromatografia gasosa.

Óleos	Ácidos graxos (%)										
	Caprílico C ₈	Cáprico C ₁₀	Láurico C ₁₂	Mirístico C ₁₄	Palmítico C ₁₆	Esteárico C ₁₈	Araquídico C ₂₀	Palmitoléico C _{16:1}	Oléico C _{18:1}	Linoléico C _{18:2}	Linolênico C _{18:3}
Ácido oléico	-	-	-	2,66	7,30	2,98	-	4,64	58,70	14,22	1,90
Hidrocol*	-	-	0,42	0,39	16,43	4,14	0,30	0,14	18,37	52,80	4,33
Hidrocol**	-	-	0,30	0,46	20,28	4,35	0,40	0,09	17,56	51,06	3,87
Babaçu	1,45	3,36	44,31	17,62	10,48	3,95	0,07	-	15,87	0,11	-

* Hidrocol parcialmente hidrogenado

** Hidrocol sem hidrogenação

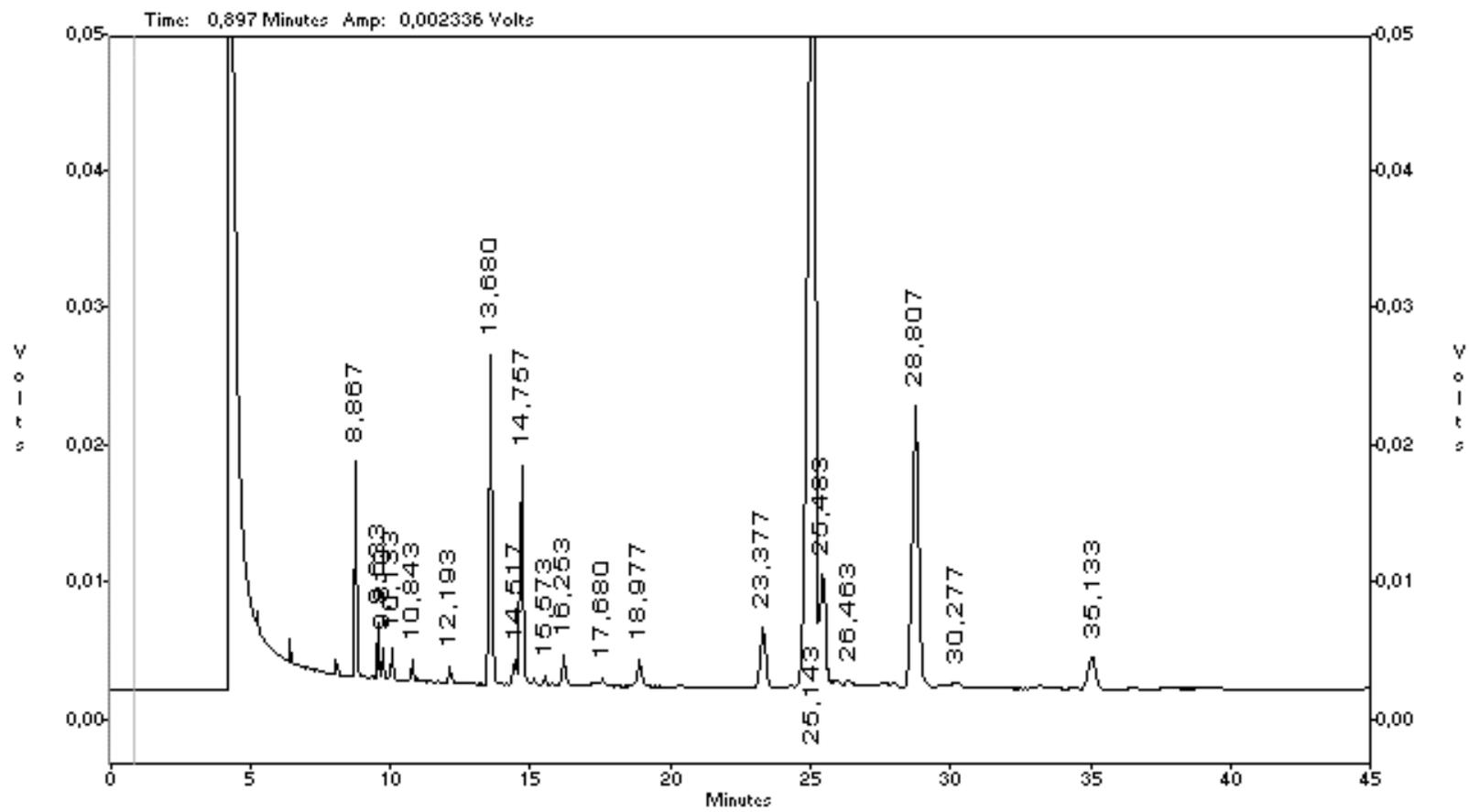


Figura 6.3. Cromatograma do ácido oléico.

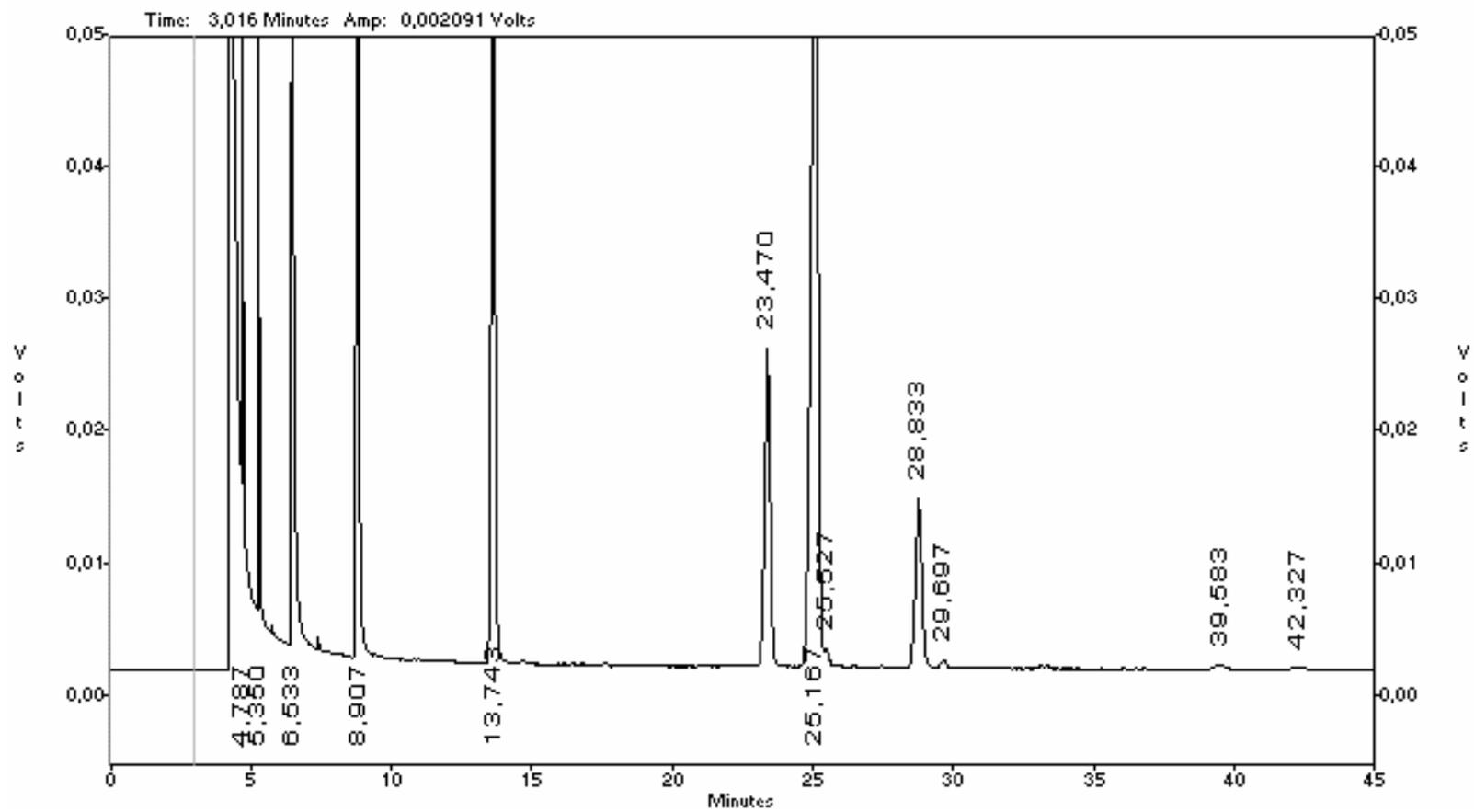


Figura 6.4. Cromatograma do óleo de babaçu refinado.

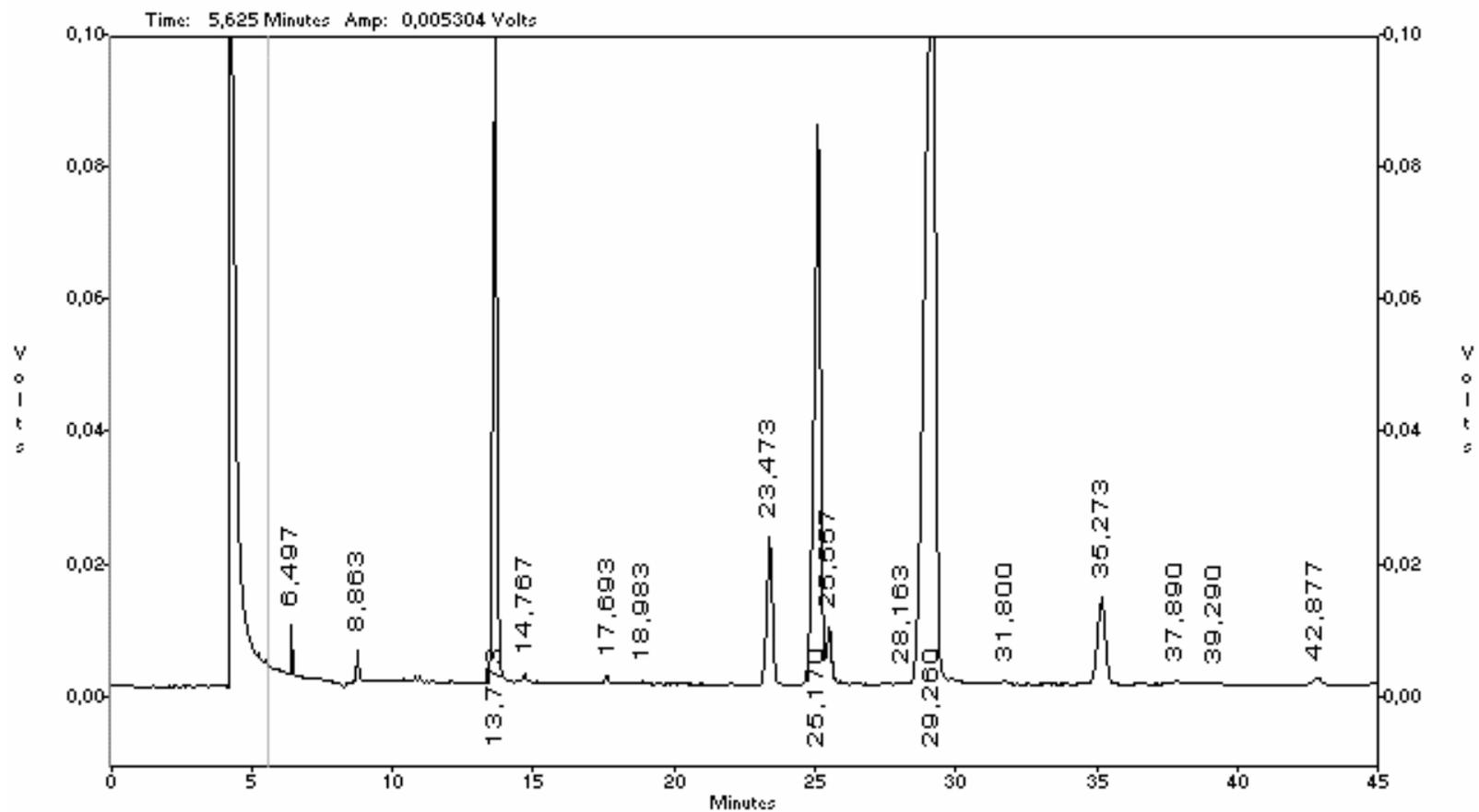


Figura 6.5. Cromatograma do Hidrocol sem hidrogenação.

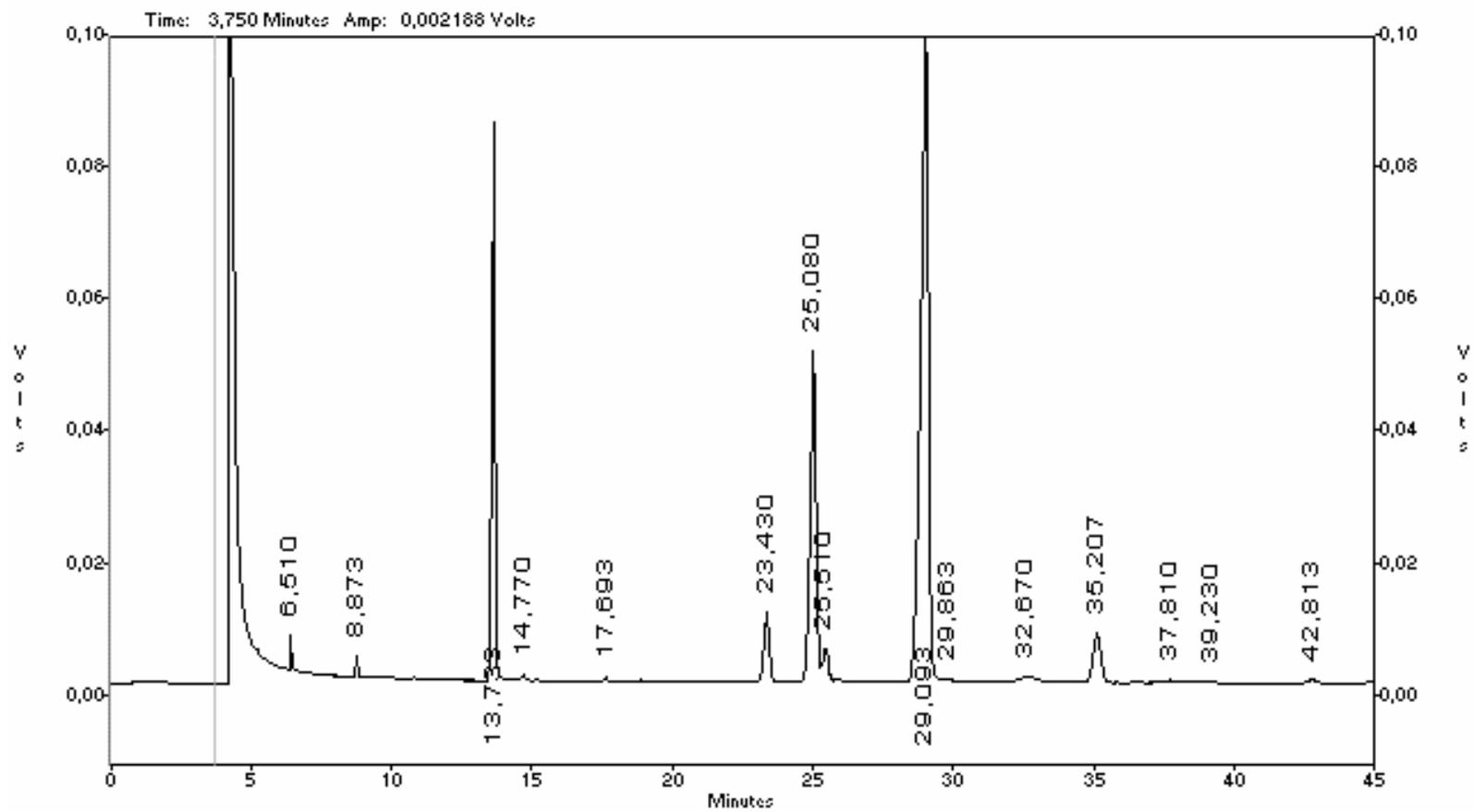


Figura 6.6. Cromatograma do Hidrocol parcialmente hidrogenado.

6.2.4. Espectrometria de infravermelho

Os espectros de transmissão, obtidos através das análises de espectrometria de infravermelho do ácido oléico e dos óleos vegetais, são apresentados nas figuras 6.7 a 6.10.

Analisando-se o espectro do ácido oléico (figura 6.7), nota-se que a principal banda ocorre em 1710 cm^{-1} e indica a presença de ácidos graxos livres, podendo ser atribuída à deformação axial do grupo carboxila (C=O). Observam-se ainda outras bandas decorrentes da deformação axial da hidroxila (OH) do dímero em 2672 cm^{-1} e da deformação angular (fora do plano da hidroxila) em 939 cm^{-1} , que indica a presença de trans-isômeros. Também estão presentes: as bandas atribuídas à interação C-O-H, uma em 1414 cm^{-1} , referente à deformação angular no plano de C-OH e outra em 1285 cm^{-1} , referente à deformação axial de C-O (dímero).

O espectro do Hidrocol sem hidrogenação e o do Hidrocol parcialmente hidrogenado (figuras 6.9 e 6.10) apresentam-se praticamente idênticos. A banda característica à deformação axial do grupo carbonila (C=O) dos triglicérides (ésteres ou triglicerídios) está presente em 1746 cm^{-1} . Entretanto, a banda atribuída à deformação axial do grupo carbonila em 1711 cm^{-1} , que indica a presença de ácidos graxos livres, também está bem evidenciada. As bandas decorrentes da deformação angular (fora do plano da hidroxila), que indicam a presença de trans-isômeros, são notadas respectivamente em 937 cm^{-1} e 932 cm^{-1} . Não foi observada a banda em 965 cm^{-1} , que caracteriza a hidrogenação do óleo vegetal, para nenhum dos dois óleos, o que indica que, caso a reação tenha ocorrido, não foi completa.

A principal banda presente no espectro do óleo de babaçu refinado (figura 6.8) está em 1743 cm^{-1} e indica que a maioria dos ácidos graxos constituintes apresenta-se esterificada. Verifica-se que a banda atribuída à deformação axial do C-H vizinho à dupla ligação ($3011 - 3005\text{ cm}^{-1}$), que indica a presença de insaturações, aparece em todos os espectros, em menor extensão para o óleo de babaçu refinado, confirmando os resultados das determinações de índice de iodo e das análises por cromatografia gasosa.

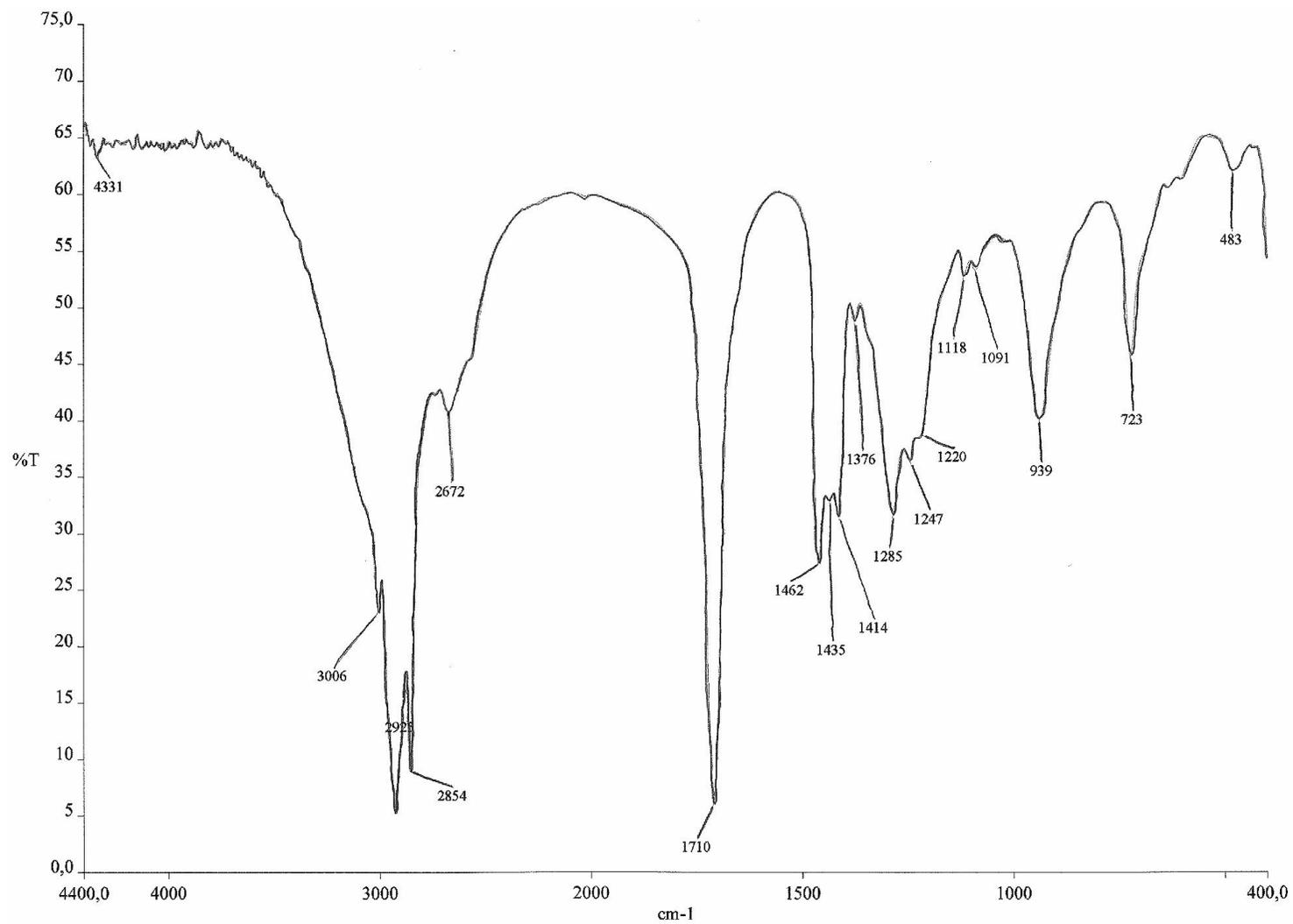


Figura 6.7. Espectro de infravermelho de transmissão do ácido oléico.

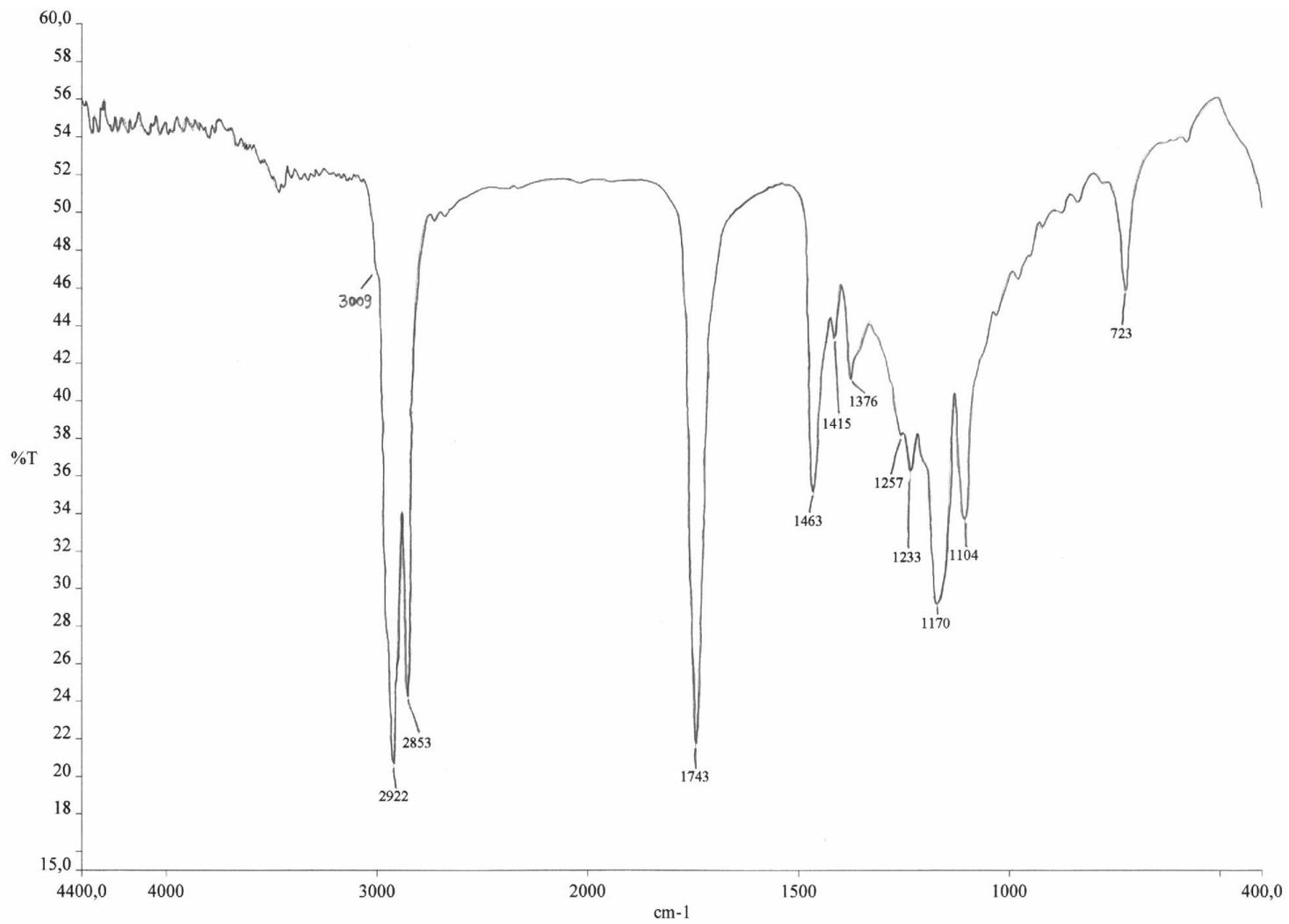


Figura 6.8. Espectro de infravermelho de transmissão do óleo de babaçu refinado.

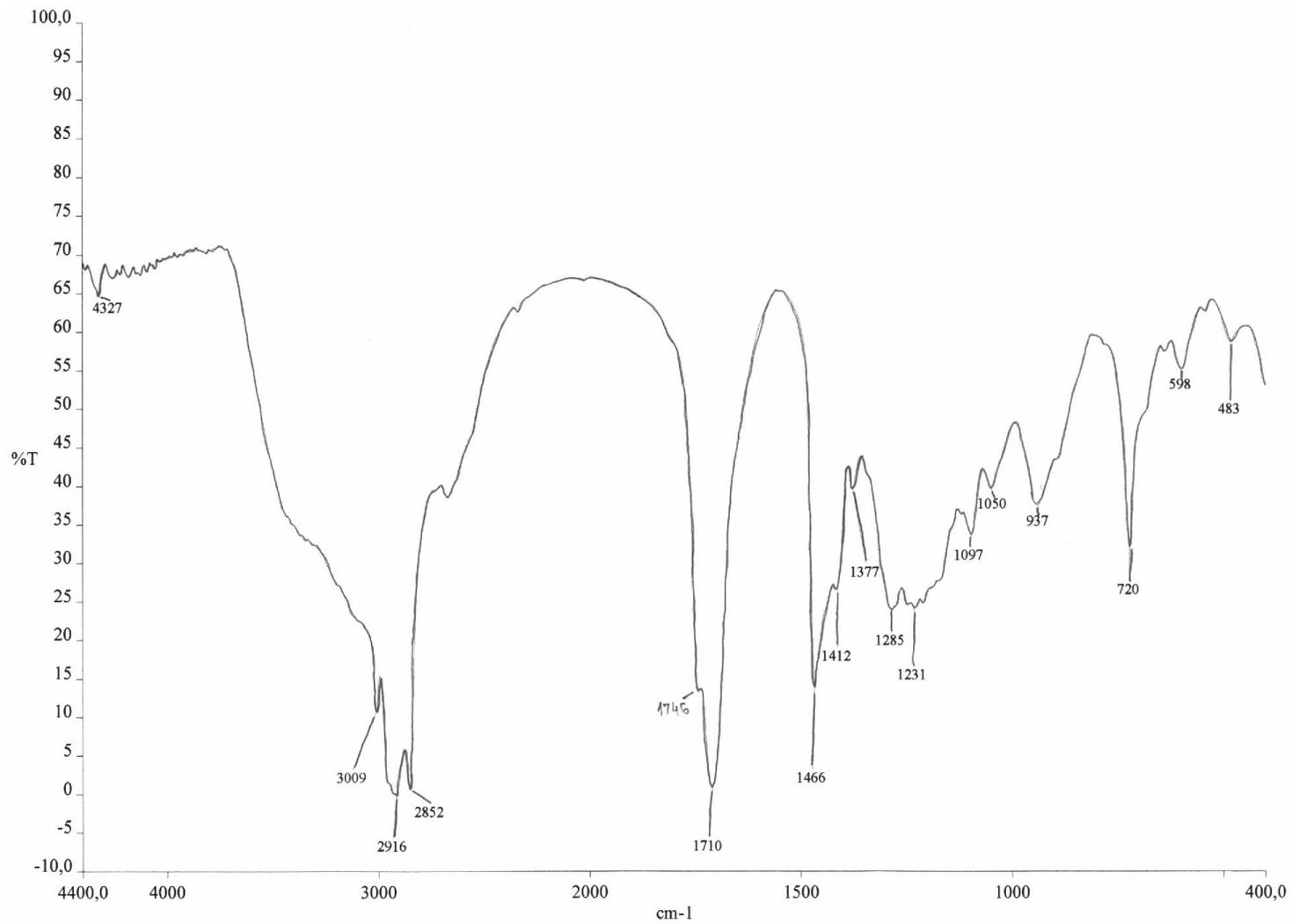


Figura 6.9. Espectro de infravermelho de transmissão do Hidrocol sem hidrogenação.

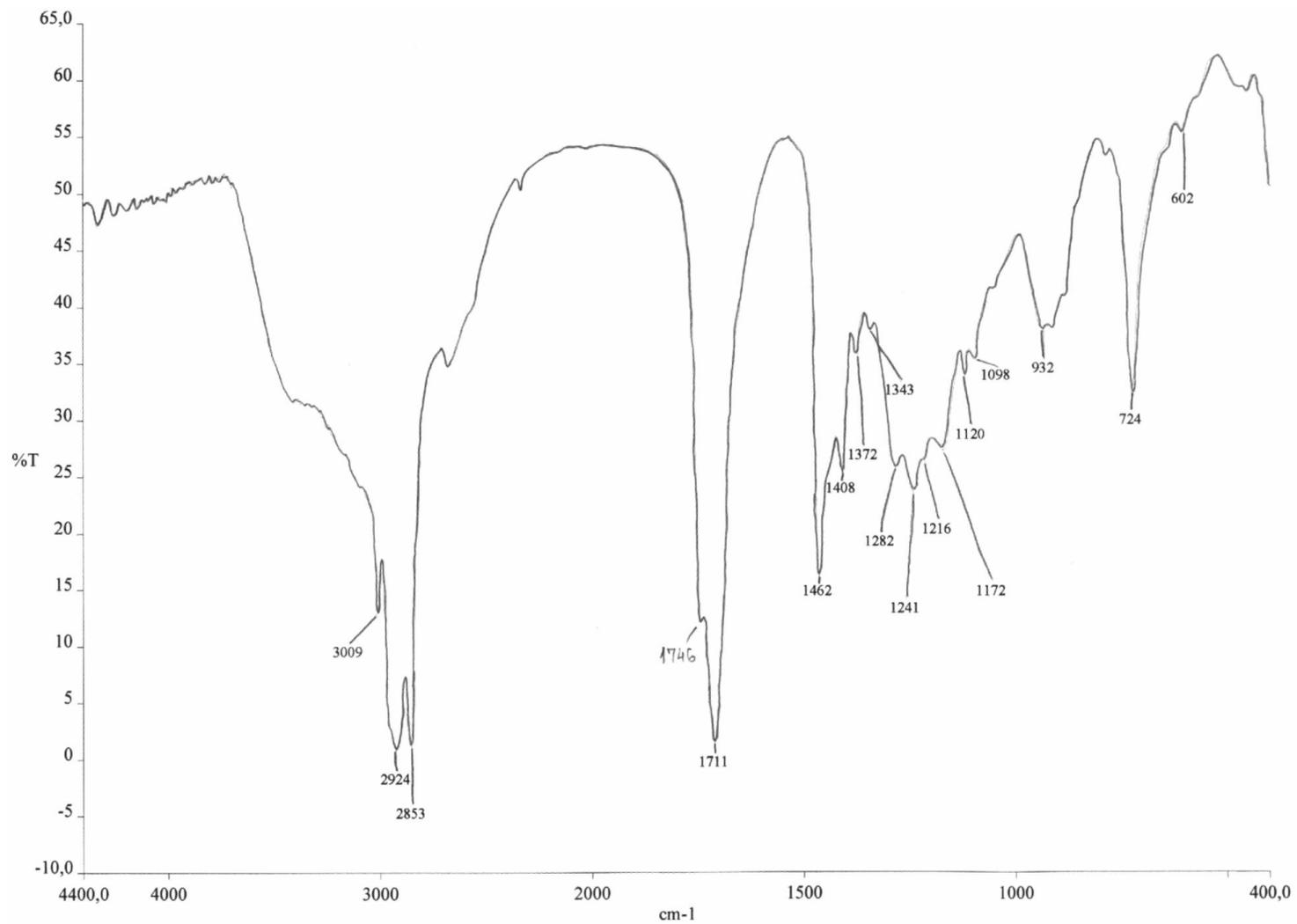


Figura 6.10. Espectro de infravermelho de transmissão do Hidrocol parcialmente hidrogenado.

6.3. Habilidade de saponificação dos óleos vegetais

A figura 6.11 apresenta a habilidade de saponificação dos óleos, utilizando-se NaOH a 11,5 % m/v, adicionado estequiometricamente de acordo com o grau de saponificação desejado: 40, 55, 70, 85 e 100 %.

A saponificação do ácido oléico sempre aconteceu de maneira estequiométrica, uma vez que sua curva de habilidade de saponificação coincidiu com a curva de completa saponificação, que representa o comportamento ideal para o processo. A saponificação do Hidrocol sem hidrogenação respeitou a estequiometria até o grau de saponificação de 85 %, apresentando deficiência na habilidade de saponificação para o grau de 100 %. O Hidrocol parcialmente hidrogenado foi saponificado estequiometricamente até o grau de saponificação de 70 %, apresentando deficiência na habilidade de saponificação para os graus de 85 % e 100 %. O óleo de babaçu refinado não foi saponificado estequiometricamente em nenhum dos graus de saponificação pretendidos, sendo que o máximo grau de saponificação alcançado foi de 39,8 % quando se esperava 100 % de saponificação.

Mostraram-se necessárias adições de quantidades de hidróxido de sódio superiores às estequiométricas, nos procedimentos de preparação dos seguintes sabões: Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 100 %, Hidrocol parcialmente hidrogenado com graus de saponificação de 85 % e 100 % e óleo de babaçu refinado com o grau de saponificação de 40 %, o único alcançado para este óleo.

A extensão da reação foi verificada por via úmida, através da determinação do grau de saponificação (ou grau de conversão), segundo procedimento citado no item 5.3, baseado no que foi descrito por Rittner (1995), tendo como referência o método AOCS Db-3-48 de determinação de álcali livre em sabões.

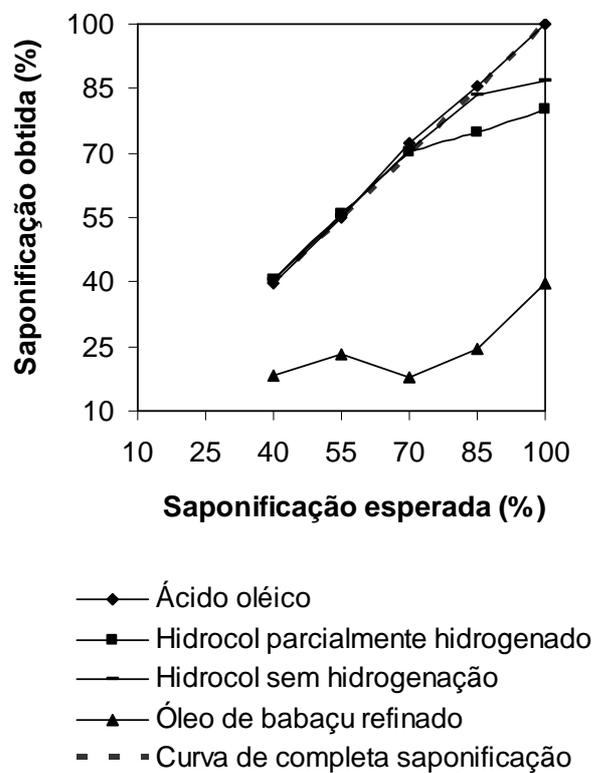


Figura 6.11. Habilidade de saponificação dos óleos. Temperatura de saponificação: aproximadamente 40 °C.

6.4. Ensaio de Microflotação

A figura 6.12 apresenta o gráfico de flotabilidade da fluorapatita em função do grau de saponificação dos óleos vegetais, em pH 10,4 e com os coletores utilizados na concentração de $5,0 \times 10^{-5}$ mol/L. A dosagem dos coletores foi propositalmente baixa, para se permitir análise de tendência em função da variação do parâmetro da abscissa, o grau de saponificação. O aumento da dosagem dos coletores levaria ao mascaramento das interações, vindo a resultar em patamares de alta flotabilidade em toda a faixa estudada. Foram estimadas as médias aritméticas dos ensaios em duplicata.

Os máximos de flotabilidade de fluorapatita foram obtidos para: o sabão do Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 70 % (flotabilidade de 29 %); o sabão do ácido oléico com grau de saponificação de 100 % (flotabilidade de 36,7 %); o sabão do Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 70 % (flotabilidade de 36,9 %).

O óleo de babaçu refinado, quando utilizado como matéria-prima para coletor de apatita, não apresentou saponificação acima de 40 %, demonstrando flotabilidade de fluorapatita abaixo de 10 %. Esse resultado retrata a sua composição em ácidos graxos (tabela 6.9) com baixo percentual de ácido linoléico, linolênico e oléico.

Estudos de microflotação realizados por Brandão e colaboradores (1994), com apatita, para diferentes sais de ácidos graxos puros, mostraram que os melhores resultados de flotabilidade foram encontrados para os sais de sódio produzidos com o ácido linoléico, seguido pelo ácido linolênico e, finalmente, pelo ácido oléico.

6.5. Ensaio de flotação em escala de bancada

Todos os dados analisados na discussão dos resultados, obtidos através das flotações em escala bancada, foram submetidos ao ajuste estatístico pelo algoritmo de Wills-Manser, como proposto por Luz (1999). As planilhas de balanços metalúrgicos dos testes de flotação etapa *rougher* e etapa *cleaner* são apresentadas no apêndice IV.

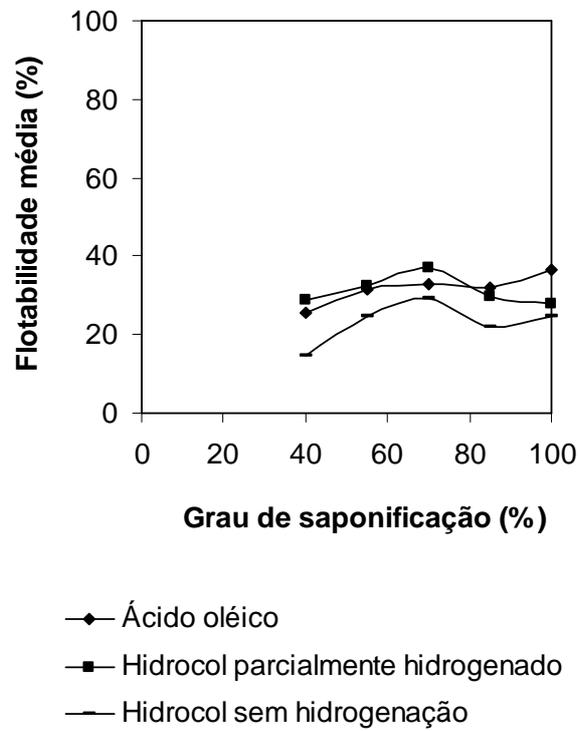


Figura 6.12. Flotabilidade média da apatita em função do grau de saponificação dos óleos, em pH 10,4. Concentração do coletor: $5,0 \times 10^{-5}$ mol/L.

O óleo de babaçu refinado, com grau de saponificação de 40 %, o único atingido, não apresentou eficiência como coletor do mineral apatita, tanto na flotação do minério granulado quanto na flotação do minério friável. Todos os valores foram obtidos através da estimação da média aritmética dos resultados dos ensaios em duplicata.

6.5.1. Etapa de desbaste (*rougher*)

As figuras 6.13 e 6.14 apresentam os gráficos de recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado em função do grau de saponificação do ácido oléico, para os minérios fosfáticos granulado e friável, respectivamente. Analisando os resultados obtidos para os dois minérios, observou-se que, com o aumento do grau de saponificação do óleo, a recuperação de P_2O_5 diminuiu e o teor de P_2O_5 no concentrado teve um ligeiro aumento. As recuperações de P_2O_5 obtidas para o minério granulado foram sempre superiores e os teores de P_2O_5 no concentrado foram sempre inferiores aos obtidos para o minério friável. O grau de saponificação de 55 % apresentou os melhores resultados de recuperação de P_2O_5 tanto para o minério granulado, 78,82 %, com teor de P_2O_5 no concentrado de 32,87 %, quanto para o friável, 57,19 %, com teor de P_2O_5 no concentrado de 37,15 %.

As figuras 6.15 e 6.16 apresentam os gráficos de recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado em função do grau de saponificação do Hidrocol parcialmente hidrogenado, para os minérios fosfáticos granulado e friável, respectivamente. As recuperações de P_2O_5 obtidas para o minério granulado foram sempre superiores e os teores de P_2O_5 no concentrado foram sempre inferiores aos obtidos para o minério friável. Comparando-se os resultados obtidos para esse óleo, aos obtidos para o ácido oléico, considerando os dois minérios, os teores de P_2O_5 no concentrado foram sempre inferiores e as recuperações de P_2O_5 foram sempre superiores, para o Hidrocol parcialmente hidrogenado. O grau de saponificação de 40 % apresentou as maiores recuperações de P_2O_5 tanto para o minério granulado, 89,05 %, com teor de P_2O_5 no concentrado de 29,08 %, quanto para o friável, 85,76 %, com teor de P_2O_5 no concentrado de 34,05 %. O grau de saponificação de 55 % apresentou os respectivos resultados: 88,31 % de recuperação e 29,60 % de teor de P_2O_5 no

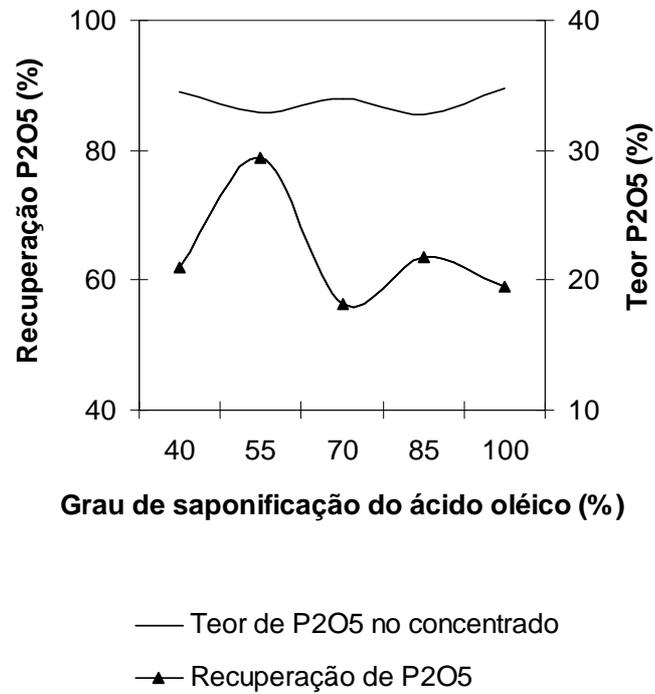


Figura 6.13. Recuperação de P₂O₅ e teor de P₂O₅ no concentrado versus grau de saponificação do ácido oléico, para o minério granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

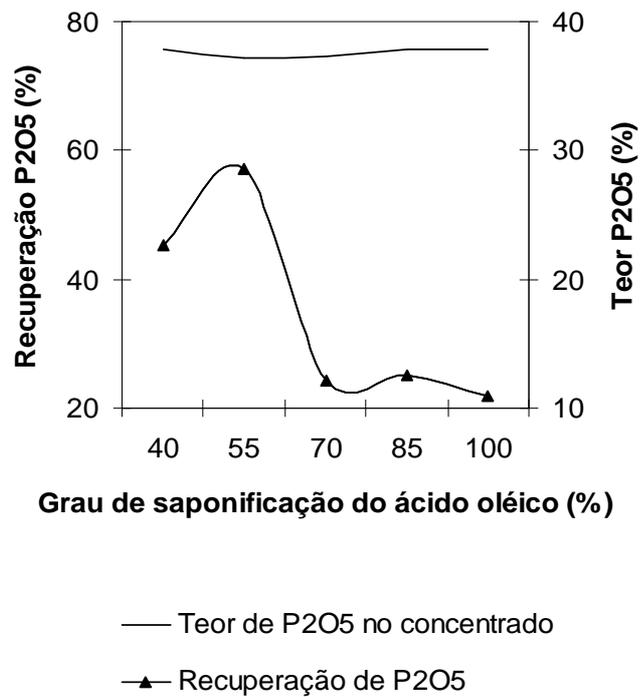


Figura 6.14. Recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado versus grau de saponificação do ácido oléico, para o minério friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

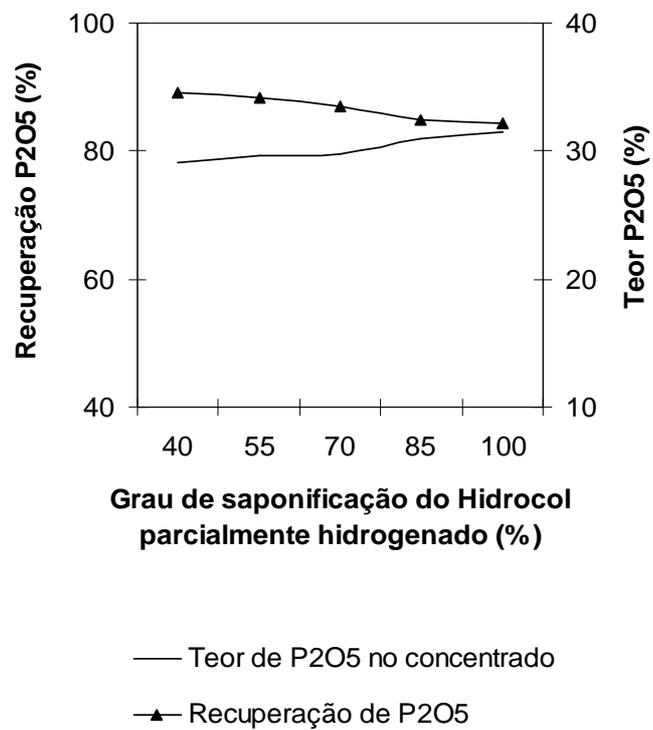


Figura 6.15. Recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado versus grau de saponificação do Hidrocol parcialmente hidrogenado, para o minério granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

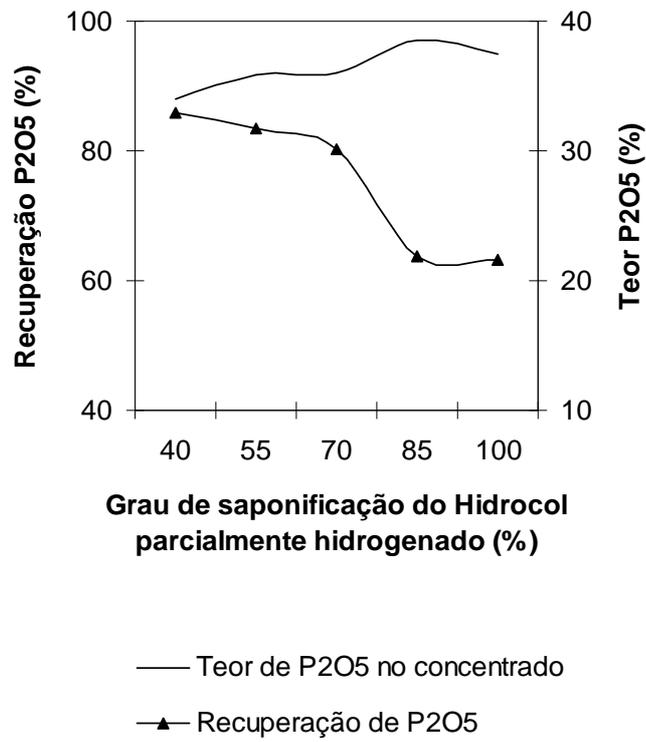


Figura 6.16. Recuperação de P₂O₅ e teor de P₂O₅ no concentrado versus grau de saponificação do Hidrocol parcialmente hidrogenado, para o minério friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

concentrado, para o minério granulado; e 83,47 % de recuperação e 35,83 % de teor de P_2O_5 no concentrado, para o minério friável. O aumento do grau de saponificação, a partir de 55 %, provocou significativa diminuição da recuperação de P_2O_5 .

As figuras 6.17 e 6.18 apresentam os gráficos de recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado em função do grau de saponificação do Hidrocol sem hidrogenação, para os minérios fosfáticos granulado e friável, respectivamente. As recuperações de P_2O_5 obtidas para o minério granulado foram sempre superiores e os teores de P_2O_5 no concentrado foram sempre inferiores aos obtidos para o minério friável. Comparando-se os resultados obtidos para esse óleo, aos obtidos para o Hidrocol parcialmente hidrogenado, considerando os dois minérios, os teores de P_2O_5 no concentrado foram sempre ligeiramente inferiores e as recuperações de P_2O_5 foram sempre ligeiramente superiores, para o Hidrocol sem hidrogenação. O grau de saponificação de 40 % apresentou os melhores resultados de recuperação de P_2O_5 tanto para o minério granulado, 88,07 %, com teor de P_2O_5 no concentrado de 27,87 %, quanto para o friável, 85,86 %, com teor de P_2O_5 no concentrado de 30,63 %. O grau de saponificação de 55 % apresentou os respectivos resultados: 87,75 % de recuperação e 28,40 % de teor de P_2O_5 no concentrado, para o minério granulado; e 86,87 % de recuperação e 32,62 % de teor de P_2O_5 no concentrado, para o minério friável. O aumento do grau de saponificação, a partir de 55 %, provocou significativa diminuição da recuperação de P_2O_5 .

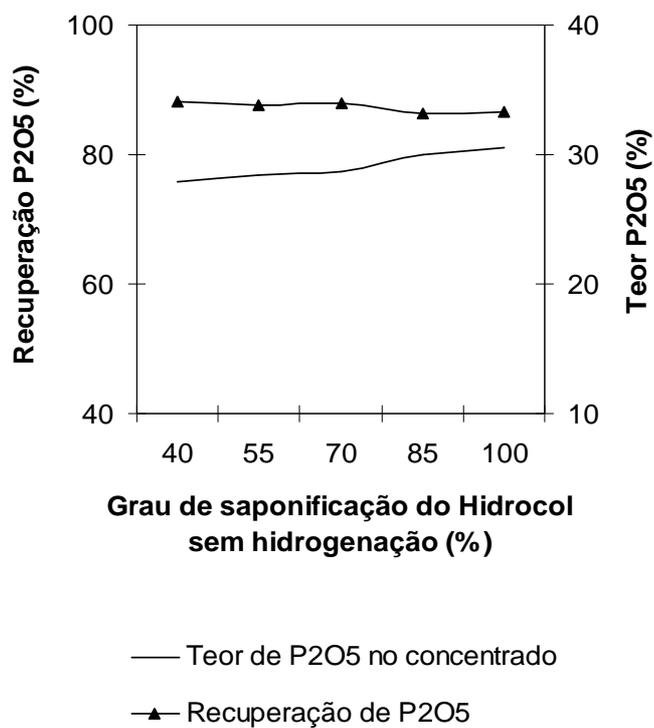


Figura 6.17. Recuperação de P₂O₅ e teor de P₂O₅ no concentrado versus grau de saponificação do Hidrocol sem hidrogenação, para o minério granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

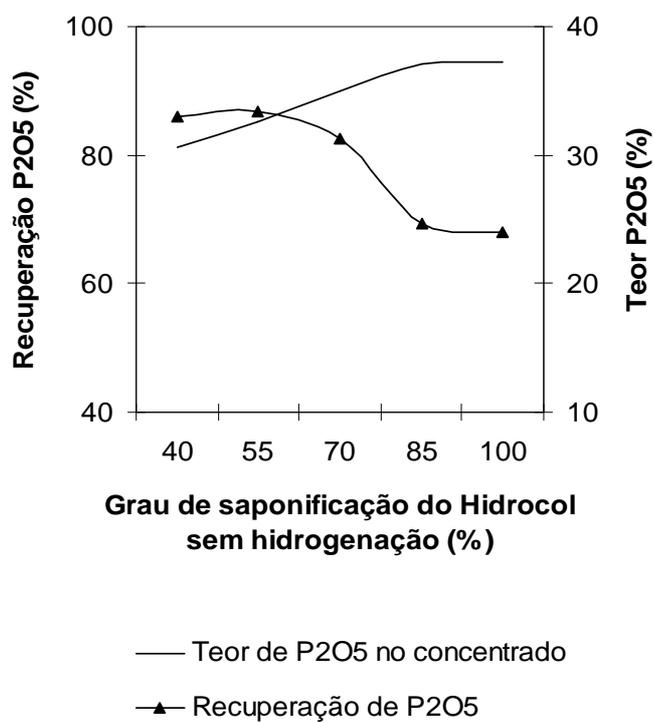


Figura 6.18. Recuperação de P_2O_5 e teor de P_2O_5 no concentrado versus grau de saponificação do Hidrocol sem hidrogenação, para o minério friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

As figuras 6.19 e 6.20 apresentam os gráficos de relação ($\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$) em função do grau de saponificação dos óleos, para os minérios fosfáticos granulado e friável, respectivamente. Não houve variação significativa nos valores encontrados de relação ($\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$) em função do grau de saponificação dos óleos, para os dois tipos de minérios fosfáticos. O valor médio obtido de relação ($\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$) para o minério granulado foi de 1,43 e para o minério friável foi de 1,39. Os resultados demonstram coerência, uma vez que se apresentam superiores ao valor de relação ($\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$) estequiométrico (1,32). Caso tivessem sido encontrados valores inferiores ao estequiométrico, levantar-se-ia a suspeita de erro na análise de CaO.

As figuras 6.21 e 6.22 apresentam os gráficos de teor de Fe_2O_3 no concentrado em função do grau de saponificação dos óleos vegetais, para os minérios fosfáticos granulado e friável, respectivamente. Houve diminuição do teor de Fe_2O_3 com o aumento do grau de saponificação, para os dois tipos de minérios, quando foram utilizados o Hidrocol parcialmente hidrogenado e o Hidrocol sem hidrogenação como coletores. Sendo o ácido oléico o coletor, houve variação no comportamento da curva, com tendência de aumento do teor de Fe_2O_3 com o aumento do grau de saponificação. Para o minério granulado, os menores teores de Fe_2O_3 foram obtidos com os graus de saponificação de 100 % , sendo 2,37 % para o ácido oléico, 3,56 % para o Hidrocol parcialmente hidrogenado e 3,45 % para o Hidrocol sem hidrogenação. Com os graus de saponificação de 55 % , os valores encontrados foram: 2,82 % para o ácido oléico, 4,18 % para o Hidrocol parcialmente hidrogenado e 4,85 % para o Hidrocol sem hidrogenação. O maior teor de Fe_2O_3 , 4,91 % , foi obtido para o Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 40 % . Para o minério friável, os menores teores de Fe_2O_3 foram obtidos da seguinte forma: com os graus de saponificação de 100 % , sendo 1,39 % para o Hidrocol parcialmente hidrogenado, 1,63 % para o Hidrocol sem hidrogenação e com o grau de saponificação de 40 % , sendo 1,18 % para o ácido oléico. Com os graus de saponificação de 55 % , os valores encontrados foram: 1,59 % para o ácido oléico, 2,71 % para o Hidrocol parcialmente hidrogenado e 4,06 % para o Hidrocol sem hidrogenação. O maior teor de Fe_2O_3 , 4,60 % , também foi obtido para o Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 40 % .

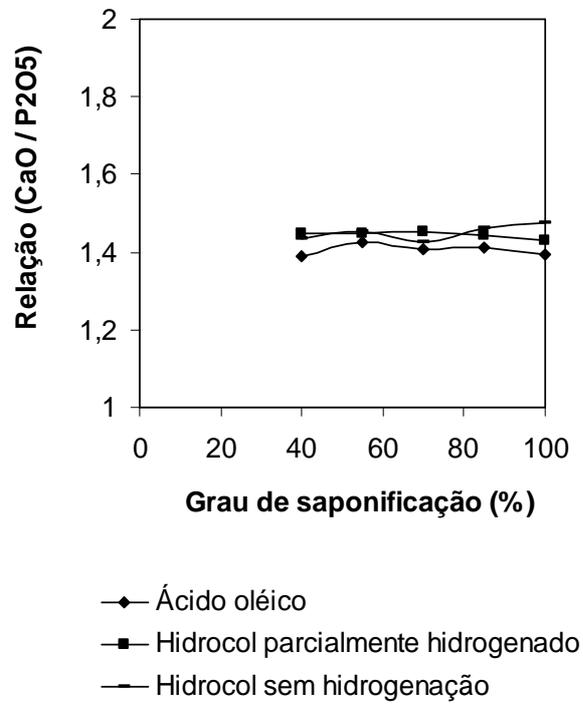


Figura 6.19. Relação (CaO/P₂O₅) versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

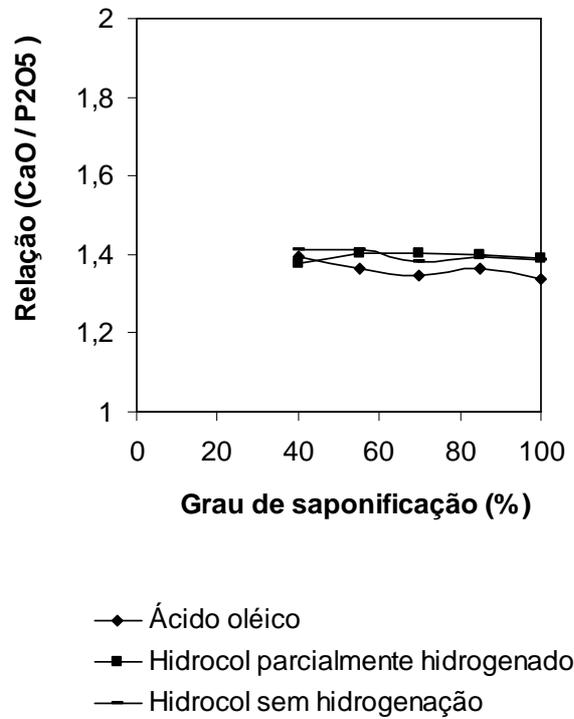


Figura 6.20. Relação (CaO/P₂O₅) versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

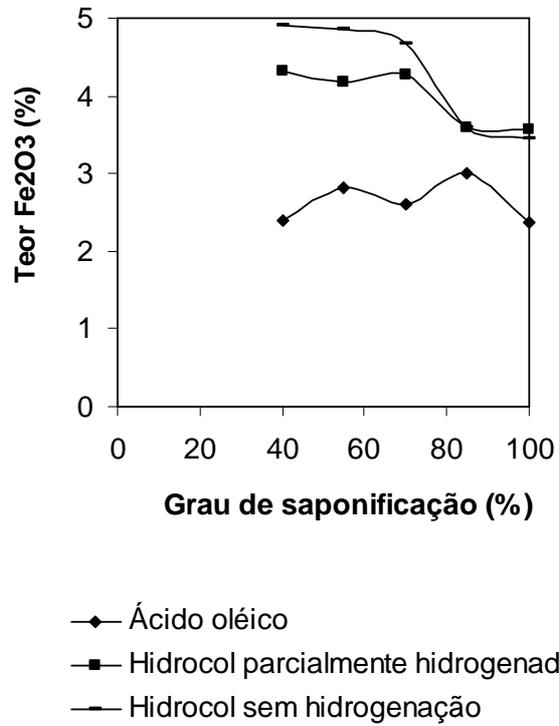


Figura 6.21. Teor de Fe₂O₃ no concentrado versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

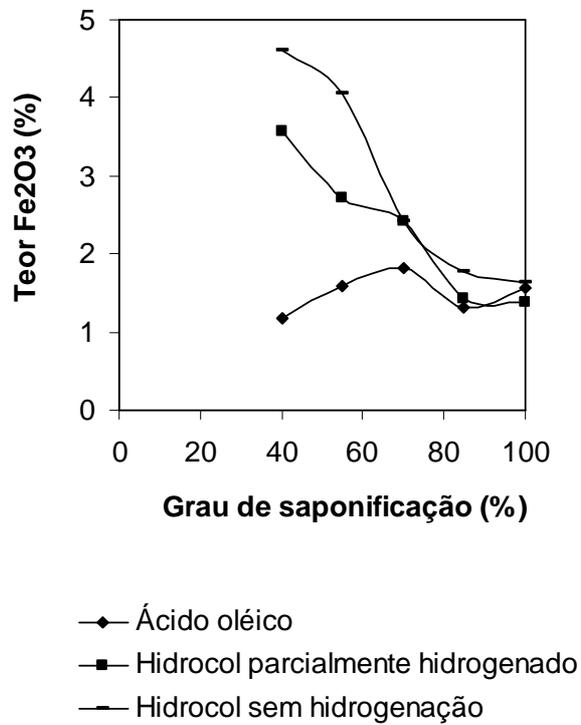


Figura 6.22. Teor de Fe_2O_3 no concentrado versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

As figuras 6.23 e 6.24 apresentam os gráficos de teor de MgO no concentrado em função do grau de saponificação dos óleos vegetais, para os minérios fosfáticos granulado e friável, respectivamente. Os teores de MgO no concentrado obtidos para o minério fosfático granulado apresentaram-se superiores aos valores encontrados para o minério friável. Os teores de MgO obtidos para o minério granulado variam entre 0,66 % e 0,95 %, sendo que os teores encontrados para os óleos vegetais com grau de saponificação de 55 % foram: 0,82 % para o ácido oléico, 0,78 % para o Hidrocol parcialmente hidrogenado e 0,92 % para o Hidrocol sem hidrogenação. Para o minério friável, os teores de MgO no concentrado variam entre 0,29 % e 0,55 %, sendo que os teores encontrados para os óleos vegetais com grau de saponificação de 55 % foram: 0,38 % para o ácido oléico, 0,35 % para o Hidrocol parcialmente hidrogenado e 0,49 % para o Hidrocol sem hidrogenação.

As figuras 6.25 e 6.26 apresentam os gráficos de índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 em função do grau de saponificação dos óleos vegetais, para os minérios fosfáticos granulado e friável, respectivamente. O cálculo do índice de seletividade foi realizado segundo a expressão de Gaudin:

$$I.S. = \sqrt{(R_1 \times T_2) / (R_2 \times T_1)}$$

onde: I.S. = índice de seletividade entre 1 e 2;
 R_1 = recuperação de 1 no concentrado;
 R_2 = recuperação de 2 no concentrado;
 T_1 = recuperação de 1 no rejeito;
 T_2 = recuperação de 2 no rejeito.

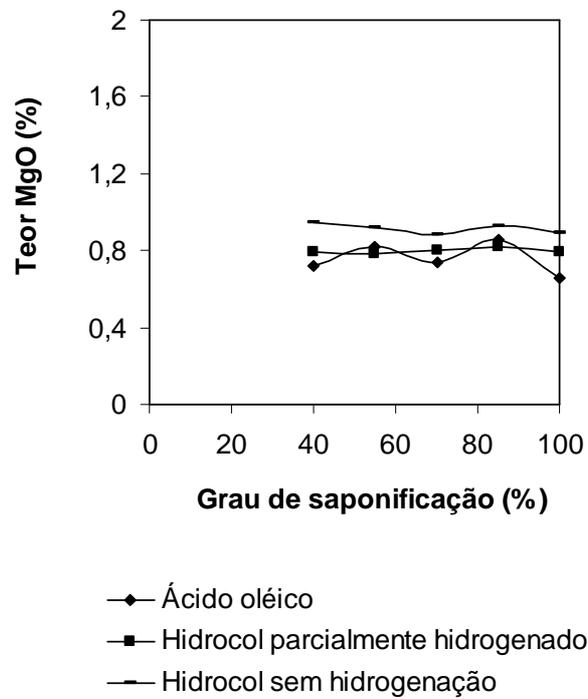


Figura 6.23. Teor de MgO no concentrado versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

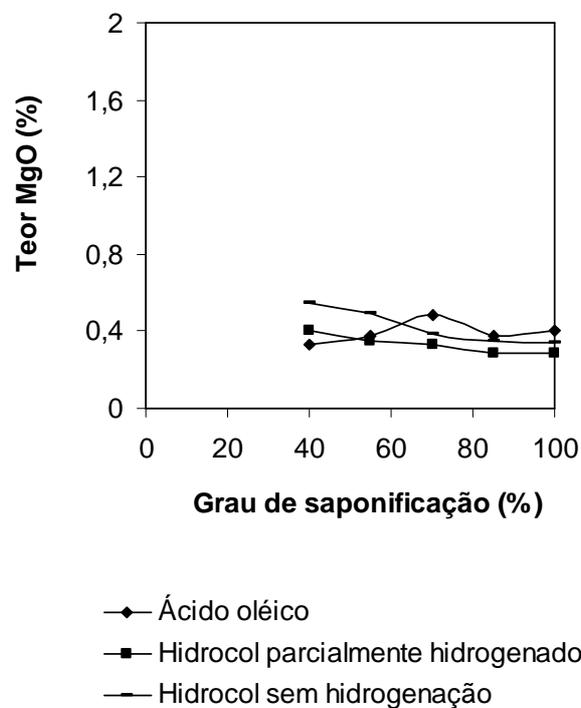


Figura 6.24. Teor de MgO no concentrado versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

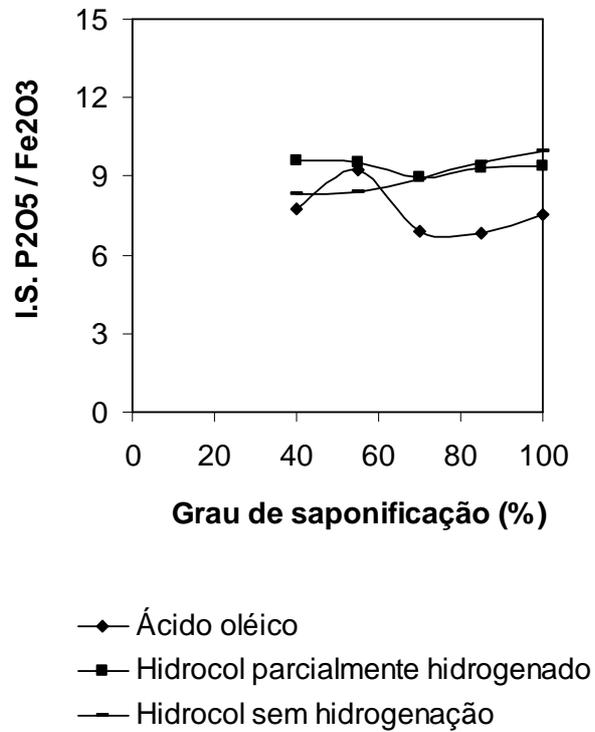


Figura 6.25. Índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático granulado. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

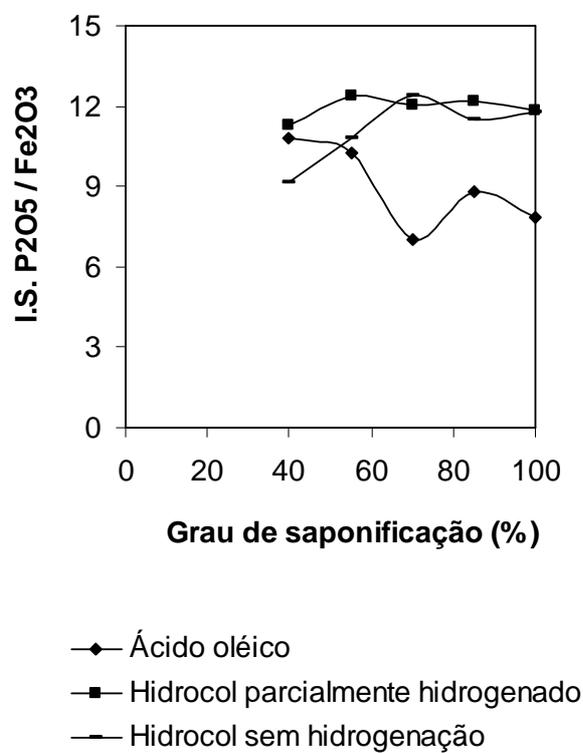


Figura 6.26. Índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 versus grau de saponificação dos óleos, para o minério fosfático friável. Dosagem do coletor: 400 g/t. Dosagem do depressor: 500 g/t. pH de flotação 9,5.

Os índices de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 atingiram valores inferiores para o minério fosfático granulado, quando comparados aos valores obtidos para o minério friável, analisando-se óleo por óleo. Os maiores valores de índice de seletividade obtidos e os respectivos graus de saponificação dos óleos foram: para o ácido oléico, 9,25 e 55 % para o minério granulado e 10,79 e 40 % para o minério friável; para o Hidrocol parcialmente hidrogenado, 9,59 e 40 % para o minério granulado e 12,38 e 55 % para o friável; para o Hidrocol sem hidrogenação, 9,92 e 100 % para o minério granulado e 12,39 e 70 % para o friável. Os índices de seletividade variaram entre 6,84 e 9,92 para o minério granulado e entre 7,04 e 12,39 para o minério friável.

6.5.2. Etapa de limpeza (*cleaner*)

Embora tenham sido adicionadas, aos sabões dos óleos, proporções diferentes do coletor sintético KE883B, para cada tipo de minério, vale ressaltar que os resultados das flotações etapa (*cleaner*) com o coletor sintético KE883B, obtidos para o minério granulado, foram comparados aos resultados encontrados para o minério friável.

As tabelas 6.10 e 6.11 mostram os resultados dos balanços metalúrgicos referentes aos concentrados de flotação em escala de bancada do minério fosfático granulado, etapa *cleaner*, respectivamente sem e com o coletor sintético KE883B, utilizando-se os óleos com grau de saponificação de 55 %, avaliado como o que gerou os melhores resultados, nos ensaios de flotação etapa de desbaste (*rougher*), com relação aos indicadores de qualidade: teor de P_2O_5 e das impurezas Fe_2O_3 e MgO no concentrado, a recuperação de P_2O_5 e a relação CaO/P_2O_5 .

Para o ácido oléico, observa-se que no concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B, tabela 6.10, o teor de P_2O_5 obtido foi 36,89 %, sendo superior aos 32,87 % do concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.13) e também superior aos 31,94 % do concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B, tabela 6.11. Com o aumento da recuperação, diminuiu-se o teor, conforme o esperado. Os valores de recuperação de P_2O_5 encontrados foram de 62,85 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B, 78,82 % para o concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.13) e 87,56 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B.

Tabela 6.10. Dados referentes ao concentrado de flotação em escala de bancada, etapa *cleaner* e sem KE883B, do minério fosfático granulado, após ajuste estatístico pelo algoritmo de Wills-Manser.

Concentrado da flotação em bancada, etapa cleaner, do minério fosfático granulado (sem KE883B)												
Óleo vegetal	Grau de saponificação (%)	Massa (%)	Teor médio (%)				Distribuição média (%)				Relação (CaO/P ₂ O ₅)	I.S. (P ₂ O ₅ /Fe ₂ O ₃)
			P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO		
Oléico	55	15,75	36,89	1,15	0,40	51,30	62,85	1,26	3,12	59,60	1,39	11,51
Hidrocol*	55	22,03	34,92	1,95	0,47	48,81	82,57	2,93	5,17	78,86	1,40	12,53
Hidrocol**	55	26,04	32,14	2,54	0,57	45,84	86,04	4,22	7,26	84,93	1,43	11,83

* Hidrocol parcialmente hidrogenado

** Hidrocol sem hidrogenação

Tabela 6.11. Dados referentes ao concentrado de flotação em escala de bancada, etapa *cleaner* e com KE883B, do minério fosfático granulado, após ajuste estatístico pelo algoritmo de Wills-Manser.

Concentrado da flotação em bancada, etapa cleaner, do minério fosfático granulado (com KE883B)													
Óleo vegetal	Grau de saponificação (%)	Massa (%)	Teor médio (%)				Distribuição média (%)				Relação (CaO/P ₂ O ₅)	I.S. (P ₂ O ₅ /Fe ₂ O ₃)	
			P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO			
Oléico	55	26,80	31,94	2,53	0,56	45,68	87,56	4,33	7,33	86,80	1,43	12,47	
Hidrocol*	55	22,53	34,76	1,99	0,38	48,63	82,54	2,89	4,32	79,43	1,40	12,60	
Hidrocol**	55	23,36	34,11	2,22	0,41	47,92	83,44	3,30	4,94	81,23	1,40	12,15	

* Hidrocol parcialmente hidrogenado

** Hidrocol sem hidrogenação

O teor de Fe_2O_3 encontrado para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 2,82 % (figura 6.21), passou a 1,15 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e passou a 2,53 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O teor de MgO obtido para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 0,82 % (figura 6.23), passou a 0,40 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e passou a 0,56 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O maior valor de índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 encontrado foi 12,47 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B, seguido de 11,51 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e, finalmente, de 9,25 para o concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.25).

Para o Hidrocol parcialmente hidrogenado, observa-se que no concentrado da flotação etapa *cleaner* sem o coletor sintético KE883B, tabela 6.10, o teor de P_2O_5 obtido foi 34,92 %, sendo muito próximo aos 34,76 % do concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B (tabela 6.11) e superior aos 29,60 % do concentrado da flotação etapa *rougher* figura 6.15. Os valores de recuperação de P_2O_5 encontrados foram 82,57 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B, muito próximo aos 82,54 % obtidos para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B e 88,31 % para o concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.15). O teor de Fe_2O_3 encontrado para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 4,18 % (figura 6.21), passou a 1,95 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e passou a 1,99 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O teor de MgO obtido para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 0,78 % (figura 6.23), passou a 0,47 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e passou a 0,88 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O maior valor de índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 encontrado foi 12,60 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B, seguido de 12,53 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e, finalmente, de 9,52 para o concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.25).

Para o Hidrocol sem hidrogenação, observa-se que no concentrado da flotação etapa *cleaner* com o coletor sintético KE883B, tabela 6.11, o teor de P_2O_5 obtido foi 34,11 %, sendo superior aos 32,14 % do concentrado da flotação etapa *cleaner* sem

KE883B (tabela 6.10) e também superior aos 28,40 % do concentrado da flotação etapa *rougher*, figura 6.17. Os valores de recuperação de P_2O_5 encontrados foram de 83,44 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B, 86,04 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e 87,75 % para o concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.17). O teor de Fe_2O_3 encontrado para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 4,85 % (figura 6.21), passou a 2,54 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e passou a 2,22 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O teor de MgO obtido para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 0,92 % (figura 6.23), passou a 0,57 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e passou a 0,41 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O maior valor de índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 encontrado foi 12,15 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B, seguido de 11,83 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e de 8,39 para o concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.25).

Os valores de relação (CaO/P_2O_5) encontrados na flotação etapa *cleaner* do minério fosfático granulado, sem KE883B e com KE883B, utilizando-se os óleos vegetais com grau de saponificação de 55 %, se apresentaram muito próximos, não havendo variação significativa, sendo que o valor médio obtido foi 1,42.

As tabelas 6.12 e 6.13 mostram os resultados dos balanços metalúrgicos referentes aos concentrados de flotação em escala de bancada do minério fosfático friável, etapa *cleaner*, respectivamente sem e com KE883B, utilizando-se os óleos com grau de saponificação de 55 %.

Para o ácido oléico, observa-se que no concentrado da flotação etapa *cleaner* sem o coletor sintético KE883B, tabela 6.12, o teor de P_2O_5 obtido foi 39,05 %, sendo superior aos 37,15 % do concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.14) e aos 36,84 % do concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B, tabela 6.13. Com o aumento da recuperação, diminuiu-se o teor, conforme o esperado. Os valores de recuperação de P_2O_5 encontrados foram de 38,19 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B, 57,19 % para o concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.14) e 80,11 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B.

Tabela 6.12. Dados referentes ao concentrado de flotação em escala de bancada, etapa *cleaner* e sem KE883B, do minério fosfático friável, após ajuste estatístico pelo algoritmo de Wills-Manser.

Concentrado da flotação em bancada, etapa cleaner, do minério fosfático friável (sem KE883B)												
Óleo vegetal	Grau de saponificação (%)	Massa (%)	Teor médio (%)				Distribuição média (%)				Relação (CaO/P ₂ O ₅)	I.S. (P ₂ O ₅ /Fe ₂ O ₃)
			P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO		
Oléico	55	12,03	39,05	0,52	0,15	52,86	38,19	0,26	0,75	36,12	1,35	15,40
Hidrocol*	55	24,88	37,31	1,28	0,21	51,54	75,64	1,34	2,11	72,28	1,38	15,12
Hidrocol**	55	27,27	36,12	1,92	0,28	50,04	80,25	2,18	3,10	76,39	1,39	13,50

* Hidrocol parcialmente hidrogenado

** Hidrocol sem hidrogenação

Tabela 6.13. Dados referentes ao concentrado de flotação em escala de bancada, etapa *cleaner* e com KE883B, do minério fosfático friável, após ajuste estatístico pelo algoritmo de Wills-Manser.

Concentrado da flotação em bancada, etapa cleaner, do minério fosfático friável (com KE883B)												
Óleo vegetal	Grau de saponificação (%)	Massa (%)	Teor médio (%)				Distribuição média (%)				Relação (CaO/P ₂ O ₅)	I.S. (P ₂ O ₅ /Fe ₂ O ₃)
			P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO		
Oléico	55	26,64	36,84	1,66	0,27	50,70	80,11	1,86	3,01	76,74	1,38	14,58
Hidrocol*	55	24,16	37,67	1,40	0,20	51,71	74,76	1,43	1,98	71,60	1,37	14,29
Hidrocol**	55	26,01	36,60	1,80	0,25	50,56	78,13	1,95	2,69	74,56	1,38	13,40

* Hidrocol parcialmente hidrogenado

** Hidrocol sem hidrogenação

O teor de Fe_2O_3 encontrado para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 1,59 % (figura 6.22), passou a 0,52 %, valor muito baixo que levanta a possibilidade de erro experimental, para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e passou a 1,66 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O teor de MgO obtido para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 0,38 % (figura 6.24), passou a 0,15 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem o coletor sintético KE883B e passou a 0,27 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O maior valor de índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 encontrado foi 15,40 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B, seguido de 14,58 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B e, finalmente, de 10,23 para o concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.26).

Para o Hidrocol parcialmente hidrogenado, observa-se que no concentrado da flotação etapa *cleaner* com o coletor sintético KE883B, tabela 6.13, o teor de P_2O_5 obtido foi 37,67 %, bem próximo aos 37,31 % do concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B (tabela 6.12) e superior aos 35,83 % do concentrado da flotação etapa *rougher*, figura 6.16. Os valores de recuperação de P_2O_5 encontrados foram de 74,76 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B, 75,64 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e 83,47 % para o concentrado da flotação etapa *rougher*, figura 6.16. O teor de Fe_2O_3 encontrado para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 2,71 % (figura 6.22), passou a 1,28 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e passou a 1,40 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O teor de MgO obtido para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 0,35 % (figura 6.24), passou a 0,21 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e passou a 0,20 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O maior valor de índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 encontrado foi 15,12 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B, seguido de 14,29 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B e, finalmente, de 12,38 para o concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.26).

Para o Hidrocol sem hidrogenação, observa-se que no concentrado da flotação etapa *cleaner* com o coletor sintético KE883B, tabela 6.13, o teor de P_2O_5 obtido foi 36,60 %, próximo aos 36,12 % do concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B (tabela 6.12) e superior aos 32,62 % do concentrado da flotação etapa *rougher*, figura 6.18. Os valores de recuperação de P_2O_5 encontrados foram de 78,13 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B, 80,25 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e 86,87 % para o concentrado da flotação etapa *rougher*, figura 6.18. O teor de Fe_2O_3 encontrado para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 4,06 % (figura 6.22), passou a 1,92 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e passou a 1,80 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O teor de MgO obtido para o concentrado da flotação etapa *rougher*, 0,49 % (figura 6.24), passou a 0,28 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B e passou a 0,25 % para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B. O maior valor de índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 encontrado foi 13,50 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* sem KE883B, seguido de 13,40 para o concentrado da flotação etapa *cleaner* com KE883B e, finalmente, de 10,78 para o concentrado da flotação etapa *rougher* (figura 6.26).

Os valores de relação (CaO/P_2O_5) encontrados na flotação etapa *cleaner* do minério fosfático friável, sem KE883B e com KE883B, utilizando-se os óleos vegetais com grau de saponificação de 55 %, se apresentaram muito próximos, não havendo variação significativa, sendo que o valor médio obtido foi 1,38.

Observando-se a etapa *rougher* e analisando individualmente os dois tipos de minérios, figuras 6.13 a 6.18, 6.21 a 6.24 e tabelas 6.10 a 6.13, todos os resultados das flotações, após a etapa *cleaner*, mostraram diminuição da recuperação e aumento do teor de P_2O_5 no concentrado, exceto para o ácido oléico com KE883B, que apresentou comportamento inverso, levantando a hipótese de erro experimental. Também foi observada a diminuição dos teores dos contaminantes MgO e Fe_2O_3 .

Considerando-se as flotações etapa *cleaner* sem e com KE883B (tabelas 6.10 a 6.13) e também analisando individualmente os dois minérios, observa-se que, com adição do coletor sintético: para o ácido oléico, houve aumento da recuperação de P_2O_5 , diminuição do teor de P_2O_5 no concentrado e ligeiro aumento dos teores de Fe_2O_3 e MgO no concentrado; para o Hidrocol parcialmente hidrogenado, os resultados se aproximaram muito; e para o Hidrocol sem hidrogenação, houve diminuição da recuperação de P_2O_5 , aumento do teor de P_2O_5 no concentrado e ligeira diminuição dos teores de Fe_2O_3 e MgO no concentrado.

Em nenhum dos ensaios de flotação em bancada foi observada geração de espumação excessiva. A espumação persistente ocorre em circuitos industriais de flotação de apatita, que utilizam sabões de óleos vegetais como coletores, à medida que os graus de saponificação (conversão) dos óleos se aproximam de 100 %.

7. CONCLUSÕES

Os óleos derivados do óleo de soja identificados como “Hidrocol parcialmente hidrogenado” e “Hidrocol sem hidrogenação” possuem composições muito parecidas, diferenciando-se pelo índice de acidez mais elevado do último, 134,67 e 152,48 miligramas de KOH por grama de amostra, respectivamente, evidenciando a presença de maior quantidade de ácidos graxos livres. Pela análise química por espectrometria de infravermelho, percebe-se que nenhum dos dois óleos apresentou características de produto hidrogenado, o que indica que, caso a reação tenha ocorrido, não foi completa.

A análise por cromatografia gasosa mostra que o ácido oléico possui 58,70 % desse ácido graxo e 14,22 % de ácido linoléico em sua composição, caracterizando-se como uma oleína e não como ácido oléico (P.A.).

Os máximos de flotabilidade de fluorapatita foram obtidos: para o sabão do Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 70 % (flotabilidade de 29,0 %); para o sabão do ácido oléico com grau de saponificação de 100 % (flotabilidade de 36,7 %); para o sabão do Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 70 % (flotabilidade de 36,9 %). A extensão da saponificação para o óleo de babaçu refinado não ultrapassou os 40 %, com flotabilidade de fluorapatita abaixo de 10 %.

Considerando os dois tipos de minérios e os ensaios de flotação etapa de desbaste (*rougher*), onde foram variados os graus de saponificação dos óleos, de maneira geral, o aumento do grau de saponificação dos óleos: i. agiu no sentido de diminuir a recuperação de P_2O_5 e aumentar o teor de P_2O_5 no concentrado; ii. agiu no sentido de diminuir o teor de Fe_2O_3 , para os óleos da família do Hidrocol, acontecendo o contrário para o ácido oléico; iii. agiu no sentido de aumentar o índice de seletividade entre P_2O_5 e Fe_2O_3 , para os óleos da família do Hidrocol, acontecendo o contrário para o ácido oléico; iv. não provocou variação significativa no teor de MgO no concentrado e na relação (CaO/ P_2O_5).

Com relação aos resultados dos testes de flotação em bancada, etapa rougher, o Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 % apresentou melhores resultados, levando-se em conta o teor de P_2O_5 no concentrado, a recuperação de P_2O_5 , a relação (CaO/P_2O_5) e o teor de MgO no concentrado. Para o minério fosfático granulado: 29,61 %, 88,31 %, 1,45 e 0,78 %, respectivamente. E para o minério fosfático friável: 35,83 %, 83,47 %, 1,40 e 0,35 %, respectivamente. A natureza geológica do mineral fluorapatita pode ter influenciado na obtenção dos máximos patamares de flotabilidade em 70 %, nos ensaios de microflotação, diferenciando-se do grau de saponificação destacado nos ensaios de flotação em bancada, 55 %.

Os resultados das flotações em bancada, etapa cleaner, comparados aos resultados da etapa rougher, mostraram, como seria de se esperar, diminuição na recuperação e aumento no teor de P_2O_5 no concentrado, exceto para os resultados do ácido oléico com o coletor sintético KE883B, que se comportaram de maneira inversa, levantando a hipótese de erro experimental, apesar do grande aumento na recuperação de P_2O_5 .

Nas flotações etapa cleaner sem e com a adição do coletor sintético KE883B, destacam-se os resultados obtidos para o Hidrocol parcialmente hidrogenado sem a adição de KE883B, tendo-se como indicadores de qualidade a recuperação de P_2O_5 , o teor de P_2O_5 do concentrado, a relação (CaO/P_2O_5) e o teor de MgO do concentrado. Respectivamente, para o minério fosfático granulado: 82,57 %, 34,92 %, 1,40 e 0,47 %; e para o minério fosfático friável: 75,64 %, 37,31 %, 1,38 e 0,21 %.

Em geral, os resultados obtidos através dos ensaios de flotação aniônica direta de apatita mostraram que, após a etapa de limpeza *cleaner* realizada utilizando-se os coletores com grau de saponificação de 55%: os teores de P_2O_5 ficaram próximos ou superiores a 36 %; as razões (CaO/P_2O_5) estiveram abaixo de 1,50; os teores de MgO ficaram abaixo de 0,60 %; os teores de Fe_2O_3 ficaram abaixo de 2,50 %; portanto, os resultados sugerem que a saponificação dos óleos coletores a níveis elevados, próximos a 100 %, não necessariamente implicará na melhor condição de flotação da apatita, apenas aumentando a demanda de reagentes.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- i. Proceder ensaios de microflotação, como realizado no presente trabalho, variando-se os valores de pH.

- ii. Obter a tensão superficial das soluções dos coletores, podendo assim avaliar seus valores de concentração micelar crítica através dos gráficos de concentração da solução em função da tensão superficial.

- iii. Realizar testes de flotação em bancada, baseando-se no presente trabalho e variando-se as dosagens dos coletores e do depressor.

- iv. Utilizar óleos vegetais com maiores teores de ácidos graxos insaturados, principalmente de ácido linoléico e oléico, como matérias-primas para coletores de apatita. Sugere-se o óleo de semente de girassol refinado, que é facilmente encontrado e possui cerca de 57 % de ácido linoléico e 33 % de ácido oléico em sua composição.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, E. R. (1951). *Principles of ionic organic reactions*. John Wiley & Sons, Inc. 224-234.
- Ananthapadmanabhan, K. P.; Somasundaran, P. (1985). *Surface precipitation of inorganics and surfactants and its role in adsorption and flotation*. *Colloids Surf.* 13: 151-167.
- Ananthapadmanabhan, K. P.; Somasundaran, P.; Healy, T. W. *Chemistry of oleate and amine solutions in relation to flotation*. *Trans. AIME*, v.266, p2003-2009.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1951). *Norma MB-75: determinação do índice de saponificação de óleos e gorduras vegetais*.
- Association of Official Analytical Chemists (1973). *Official method Cd 3-25: saponification value*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1951). *Norma MB-76: determinação de matéria insaponificável de óleos e gorduras vegetais*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1951). *Norma MB-74: determinação da acidez de óleos e gorduras vegetais*.
- Association of Official Analytical Chemists (1973). *Official method Cd 3a-63: acid value*.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1945). *Norma MB-77: determinação do índice de iodo de óleos e gorduras vegetais*.

- Association of Official Analytical Chemists (1973). *Official method Cd 1-25: iodine value.*

- Association of Official Analytical Chemists (1990). *Official method Cd 8-53: peroxide value.*

- American Oil Chemists' Society. *Official method Db 3-48: free alkali in soaps.*

- Azevedo, J. C. S.; Palheiros, W. S.; Brandão, P. R. G. (1994). *Estudo dos processos de saponificação do óleo de arroz e do óleo de rícino.* Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, Departamento de Engenharia de Minas. 42p. (Relatório).

- Barros, L. A. F. (1997). *Flotação da apatita da jazida de Tapira – MG.* São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 106p. (Dissertação de Mestrado).

- Barros, L. A. F.; Filho, L. S. L.; Peres, A. E. C. (2001). *Technical note: Plant practice innovations in a phosphate concentrator.* Minerals Engineering 14(1):117-121.

- Bennet, T. P.; Frienden, E. (1971). *Tópicos modernos de bioquímica: estrutura e função das moléculas biológicas.* Tradução: Lara, F. J. S. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. p.97-113.

- Bhatkhande, B. S.; Samant, S. D. (1998). *Ultrasound assisted PTC catalyzed saponification of vegetable oils using aqueous alkali.* Ultrasonics Sonochemistry 5: 7-12.

- Bizzo, H. R.; Costa, V. G.; Filha, A. M. B. B. (1999). *Avaliação da qualidade de detergentes a partir do volume de espuma formado.* Química Nova na Escola 9:43-45.

- Brandão, P. R. G. (1988). *A oxidação do oleato durante a flotação de oxi-minerais e suas conseqüências*. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA 13:324-336, São Paulo. *Anais....*
- Brandão, P. R. G.; Caires, L. G.; Queiroz, D. S. B. (1994). *Vegetable lipid oil-based collectors in the flotation of apatite ores*. *Minerals Engineering* 7(7):917-925, Printed in Great Britain.
- Brandão, P. R. G.; Araújo, A. C.; Peres, A. E. C. (1990). *Espectrometria infravermelha na investigação de espécies adsorvidas*. In: I SIMPÓSIO EPUSP. *Anais: I SIMPÓSIO EPUSP SOBRE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA NA ENGENHARIA E INDÚSTRIA MINERAL*. São Paulo, 1990. p. 211-230.
- Caires, L. G. (1992). *Óleos vegetais como matérias-primas para coletores*. Belo Horizonte: UFMG, 251p. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais).
- Castellan, G. W. (1973). *Físico-Química*. Tradução: Guimarães, L.C. Rio de Janeiro. Editora Ao Livro Técnico S.A. v.2. p.844-845.
- Castro, H. F.; Mendes, A. A.; Santos, J. C.; Aguiar, C. L. (2004). *Modificação de óleos e gorduras por biotransformação*. *Química Nova* 27(1):146-156.
- Clapp, L. B. (1969). *Química do grupo OH*. Tradução: Ambrogi, A.; Chaib, N.; Ferreira, A. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. e Editora da Universidade de São Paulo, p.39-44.
- Collins, C. H.; Braga, G. L. (1988). *Introdução a métodos cromatográficos*. 3ª. Ed., Campinas: Editora da Unicamp.

- Complexo de Mineração de Tapira – CMT (2001). *Dados Gerais*. Rev.01. SEPCO/CMT. Fosfertil (Relatório).

- DNPM (2001). *Balanço Mineral Brasileiro - Fosfato*. Souza, A. E. <http://www.dnpm.gov.br>.

- DNPM (2005). *Sumário Mineral Brasileiro - Fosfato*. Souza, A. E. <http://www.dnpm.gov.br>.

- Ewing, G. W. (1972). *Métodos instrumentais de análise química*. Trad. Albanese, A.G.; Campos, J.T.S. São Paulo: Editora Edgard Blucher.

- Feng, D.; Aldrich, C. (2004). *Influence of operating parameters on the flotation of apatite*. *Minerals Engineering* 17:453-455.

- Fuerstenau, M. C.; Miller, J. D.; Kuhn, M. C. (1985). *Chemistry of Flotation*. New York, 177p.

- Guimarães, R. C.; Araújo, A. C.; Peres, A. E. C. (2005) *Reagents in igneous phosphate ores flotation*. *Minerals Engineering* 18:199-204.

- Gunstone, F. D.; Harwood, J. L.; Padley F. B. (1986). *The lipid handbook*. Cambridge: Chapman and Hall Ltda.

- Hanna, H. S.; Somasundaran, P. (1976). *Flotation of salt-type minerals*. In: Fuerstenau, M.C. Flotation: A.M. Gaudin Memorial Volume. New York: AIME Publications, p.197-272.

- Houot, R. (1982). *Beneficiation of phosphatic ores through flotation review of industrial applications and potencial developments*. *Int. J. Miner Process* 9:353-384.

- Hsieh, S. S. (1980). *Flotation studies on carboxylic acid components of tall oils*. Minnesota: SME-AIME. Fall Meeting Minneapolis. 10p.
- _____ *Ionol-CP em gorduras, oleos e alimentos*. Data-Sheel Química.
- Johansson, I.; Svensson, M. (2001). *Surfactants based on fatty acids and other natural hydrophobes*. *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 6:178-188.
- Kirk-Othmer. *Encyclopedia of chemical technology*. V.4.
- Klofutar, C.; Rudan-Tasič, D. (1999). *Characteristics of vegetable oils of some Slovene manufacturers*. *Acta Chim. Slov.* 46(4):511-521.
- Laskowski, J. S.; Nyamekye, G. A. (1994). *Colloid chemistry of weak electrolyte collectors: the effect of conditioning on flotation with fatty acids*. *International Journal of Mineral Processing* 40:245-256.
- Leal, K. Z.; Costa, V. E. U.; Seidl, P.R.; Campos, M. P. A.; Colnago, L. A. (1981). *Análise imediata do conteúdo oleaginoso de sementes por ressonância magnética nuclear de carbono-13*. *Ciência e Cultura* 33(11):1475-1484.
- Lehninger, A. L. (1976). *Bioquímica*. Tradução: Magalhães, J.R. São Paulo: Editora Edgard Blucher, v.1, p.190-211.
- Leja, J. (1982). *Surface chemistry of froth flotation*. New York: Plenum Press, 758p.
- Lima, R. M. F. (1989). *Novos coletores na flotação do minério fosfático de Tapira – MG*. Belo Horizonte: UFMG, 200p. (Dissertação de Mestrado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais).

- Luz, J. A. M. (1987). *Efeito do estado de agregação na separação entre calcita, dolomita e apatita por flotação*. Belo Horizonte: UFMG, 189p. (Dissertação de Mestrado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais).

- Luz, J. A. M. (1999). *Uso de vazões na compatibilização de teores via multiplicadores de Lagrange*. Revista Escola de Minas 52(4):269-274.

- Markley, K. S. (1961). *Salts of fatty acids*. In: FATTY ACIDS. New York: Ed. Interscience Publishers. p.715-756.

- Mishra, S. K. (1982). *Electrokinetic properties and flotation behavior of apatite and calcite in the presence of sodium oleate and sodium metasilicate*. Int. J. Miner Process 9:59-73.

- Moretto, E.; Alves, R. F. (1986). *Óleos e gorduras vegetais: processamento e análise*. 1ª. Ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 179p.

- Moretto, E.; Fett, R. (1989). *Óleos e gorduras vegetais – processamento e análises*. 2ª. Ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 179p.

- Moretto, E.; Fett, R. (1998). *Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos*. São Paulo: Livraria Varela.

- Oba, C. A. I. (2004). *Fabricação de um fertilizante organo-fosfatado*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. Série Estudos e Documentos, 62. 35p.

- Oliveira, J. F.; Adamian, R. (1987). *Adsorção de ácido oléico em cassiterita e fluorita*. In: II ENCONTRO DO HEMISFÉRIO SUL SOBRE TECNOLOGIA MINERAL, XII ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA. *Anais...* Rio de Janeiro, p.296-311.

- Peres, A. E. C.; Guimarães, R. C. (1999). *The use of polymers in the Brazilian mineral industry*. In: Laskowski, J.S. ed. *Polymers in Mineral Industry*, Met. Soc. CIM, Montreal. p.127-137.

- Pereira, A. M. T; Brandão, P. R. G. (1992). *Ácidos graxos insaturados (isômeros cis/trans) e saturados na flotação seletiva de minerais levemente solúveis*. *Anais: XV Enc. Nac. Trat. Minérios Hidromet., Flotação*, p.19-38, São Lourenço, MG.

- Pugh, R.; Stenius, P. (1985). *Solution chemistry studies and flotation behavior of apatite calcite and fluorite minerals with sodium oleate collector*. *Int. J. Miner. Process.*, v.15, p.193-218.

- Rietz, C. D. (1975). *Chemisorption of collectors in flotation*. In: XI Int. Miner. Process Congress. p.375-403.

- Rittner, H. (1995). *Sabão: tecnologia e utilização*. 1ª. Ed. São Paulo: Câmara Brasileira do Livro.

- Rodrigues, A. J.; Brandão, P. R. G. (1993). *The influence of crystal chemistry properties on the floatability of apatites with sodium oleate*. *Minerals Engineering* 6 (6):643-653.

- Sis, H.; Chander, S. (2003). *Reagents used in the flotation of phosphate ores: a critical review*. *Minerals Engineering* 16:577-585.

- Sis, H.; Chander, S. (2003). *Improving froth characteristics and flotation recovery of phosphate ores with nonionic surfactants*. *Minerals Engineering* 16:587-595.

- Solomons, T. W. G. (1996). *Química orgânica*. 6ª. Ed. Tradução: Macedo, H. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A., v.1 e 2.

- Somasundaran, P. (1968). *Zeta potencial of apatite in aqueous solutions and its charge during equilibration. alcite-apatite* J. Colloid Interface Sci. 27(4)659-666.

- Somasundaran, P.; Agar, G. E. (1972). *Further streaming potencial studies on apatite in inorganic electrolytes*. Trans. SME AIME, v.252, p348-352.

- Somasundaran, P.; Amankonah, O. J.; Ananthapadmanabhan, K. P. (1985). *Calcite-apatite interactions and their effects in selective flotation using oleates*. XVth. Inter. Min. Proc. Cong. Cannes. p.244-254.

- Sorensen, E. (1973). *On the adsorption of some anionic collectors on fluoride minerals*. J. Colloid Interface Sci. 45(3):601-607.

- Stryer, L. (1996). *Bioquímica*. 4ª. Ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., p.571-573.

- Silverstein, R. M. et al.. (1979). *Identificação espectrométrica de compostos orgânicos*. 3ª. Ed. Tradução: Alencastro, R. B.; Faria, R. B. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, p.65-40.

- Sun, S. C.; Snow, R. E.; Purcell, V. I. (1957). *Flotation characteristics of Florida leached zone phosphate ore with fatty acids*. Trans. AIME, v.208, p.70-75.

- Sun, S. C. (1959). *Single mineral flotation with linolenic, linoleic, oleic and stearic acids*. In: AIME ANNUAL MEETING.

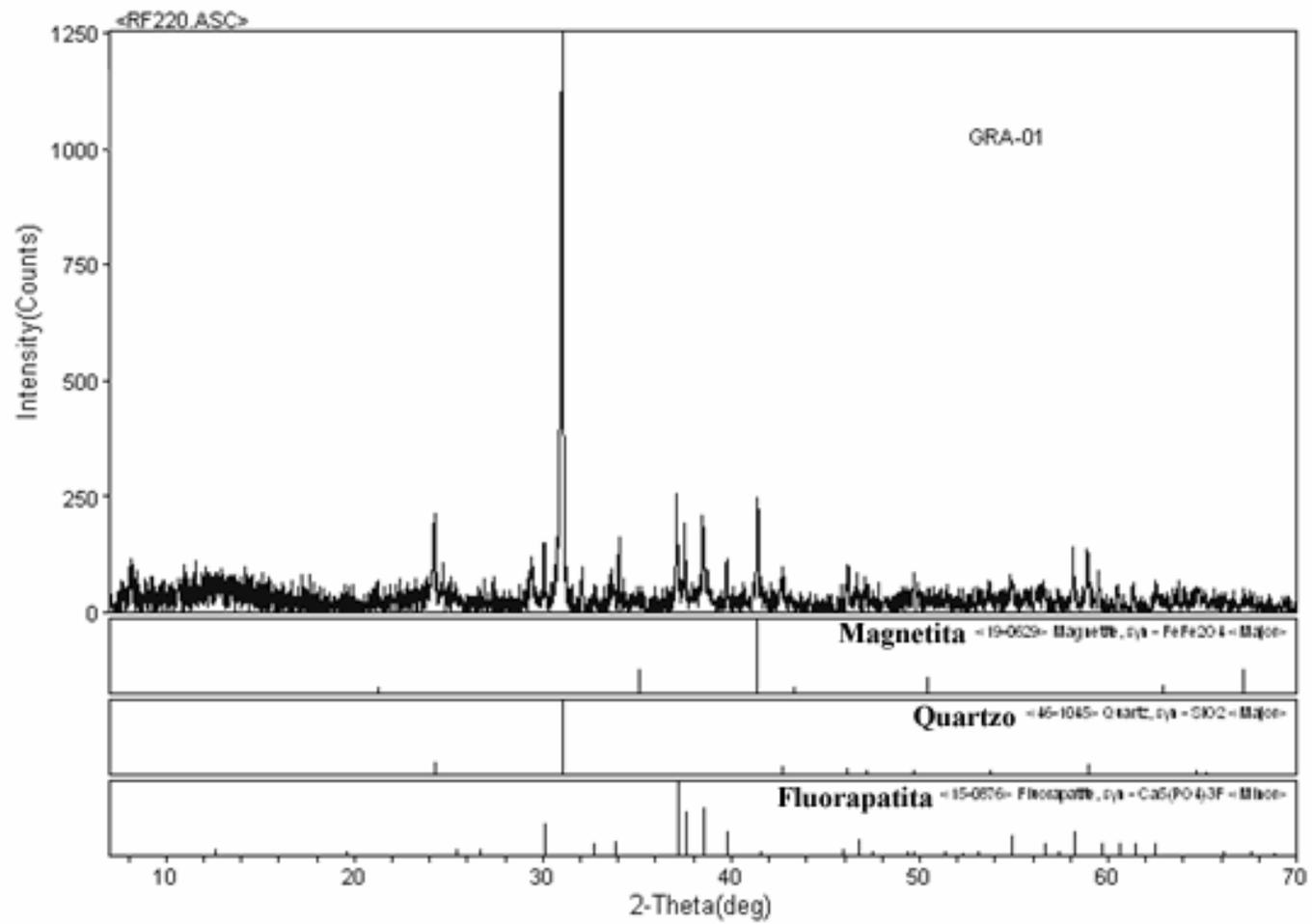
- US Patent 3,917,601 (1975). *Sulfosuccinate Derivatives*. Lever Brothers Company.

- US Patent 3,936,498 (1976). *α Amino- β Sulfosuccinate Derivatives*. Lever Brothers Company.

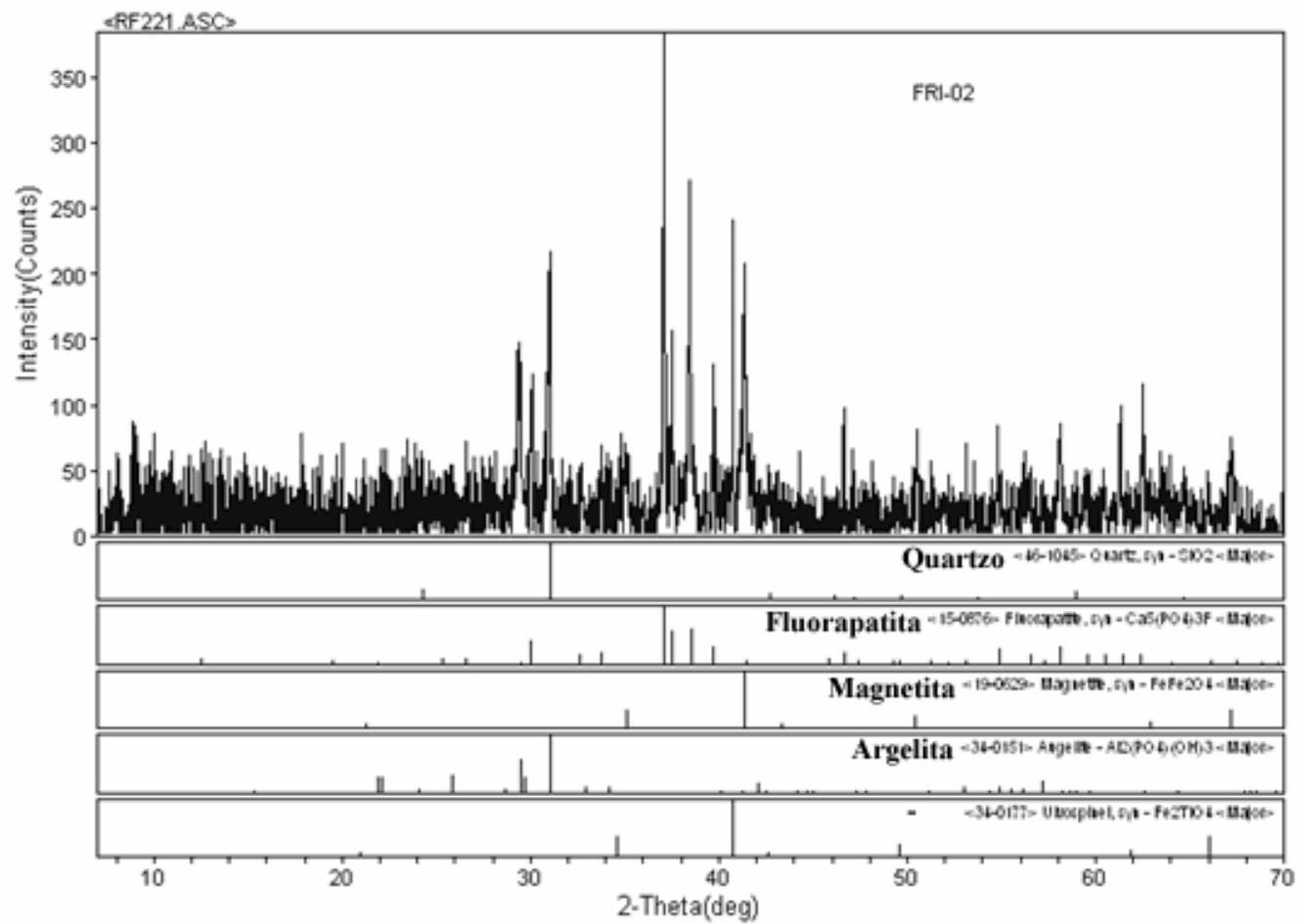
- Weast, R. C. (1977). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 58th edition.
- Weiss, N. L. (1985). *SME mineral processing handbook*. New York: SME.
- Wills, B. A. (1992). *Mineral processing technology*. 5^a. ed. Great Britain: Pergamon Press; New York.
- Woollatt, E. (1985). *The manufacture of soaps, other detergents and glycerine*. England: Ellis Horwood Limited.
- Yehia, A.; Miller, J. D.; Ateya, B. G. (1993). *Analysis of the adsorption behaviour of oleate on some synthetic apatites*. *Minerals Engineering* 6(1):79-86.
- Zhong, K.; Vasudevan, T. V.; Somasundaran, P. (1993). *Floatability of apatites of different type and origin: role of surface area and porosity*. *International Journal of Mineral Processing* 38:177-188.

10. APÊNDICES

Apêndice I: Difratoformas de raios X do minério fosfático granulado e do friável.



Difratograma do minério fosfático granulado

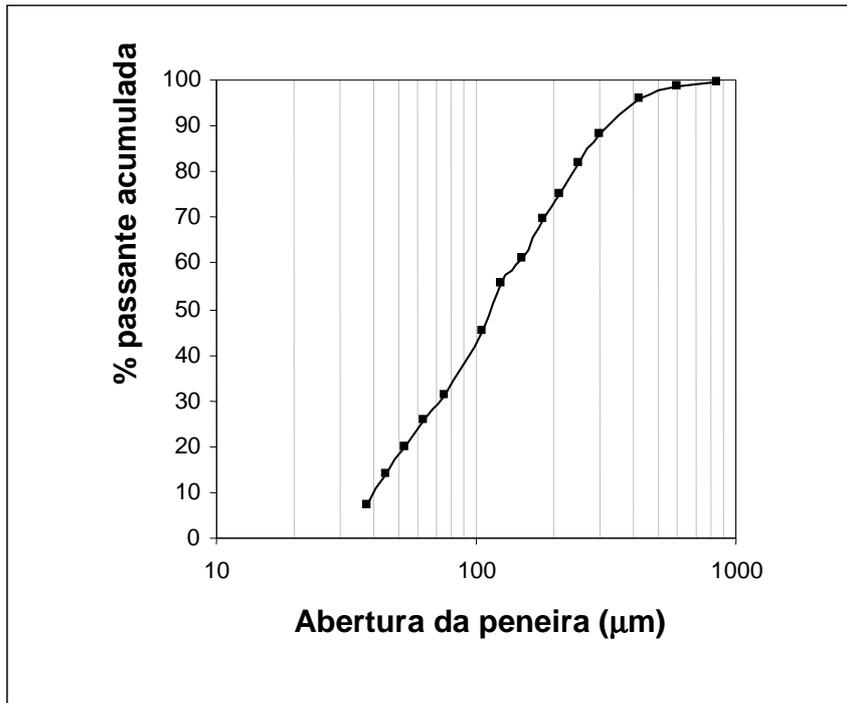


Difratograma do minério fosfático friável

Apêndice II: Dados referentes às distribuições granulométricas do minério fosfático granulado e do friável e seus gráficos correspondentes.

Análise granulométrica da amostra de minério fosfático granulado.

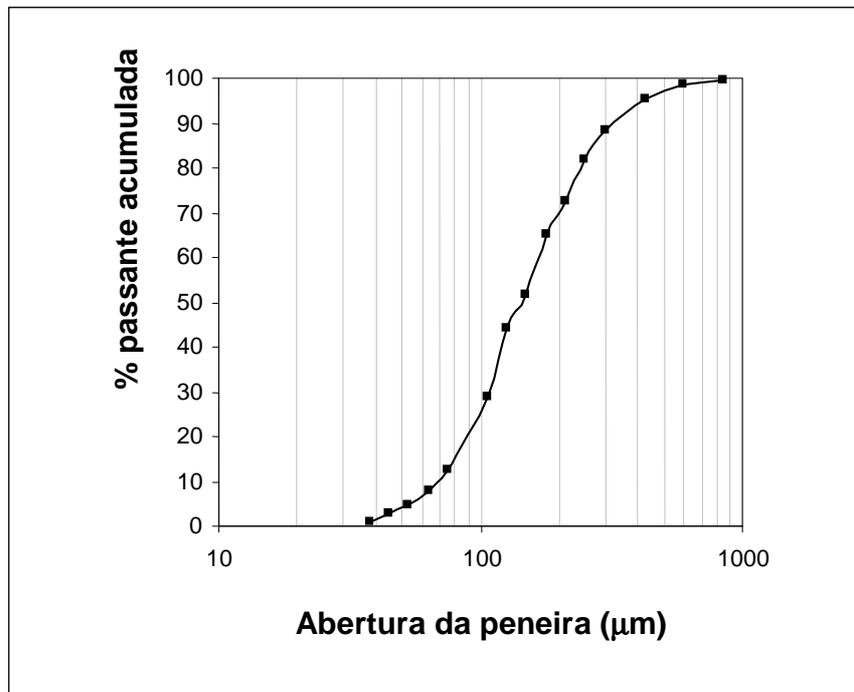
Abertura da peneira (μm)	Massa retida (g)	% retida	% retida acumulada	% passante acumulada
840	0,5	0,36	0,36	99,64
600	1,1	0,80	1,16	98,84
425	4,3	3,12	4,28	95,72
300	10,5	7,63	11,91	88,09
250	8,3	6,03	17,94	82,06
212	9,8	7,12	25,05	74,95
180	7,3	5,30	30,36	69,64
150	12	8,71	39,07	60,93
125	7,2	5,23	44,30	55,70
106	14,7	10,68	54,97	45,03
75	18,9	13,73	68,70	31,30
63	7,7	5,59	74,29	25,71
53	8	5,81	80,10	19,90
45	7,8	5,66	85,77	14,23
38	9,7	7,04	92,81	7,19
-38	9,9	7,19	100,00	0,00



Distribuição granulométrica para a amostra de minério fosfático granulado.

Análise granulométrica da amostra de minério fosfático friável.

Abertura da peneira (µm)	Massa retida (g)	% retida	% retida acumulada	% passante acumulada
840	0,7	0,50	0,50	99,50
600	1,4	1,01	1,51	98,49
425	4,4	3,17	4,68	95,32
300	9,5	6,84	11,52	88,48
250	9,1	6,55	18,07	81,93
212	12,9	9,29	27,36	72,64
180	10,4	7,49	34,85	65,15
150	18,5	13,32	48,16	51,84
125	10,6	7,63	55,80	44,20
106	21,1	15,19	70,99	29,01
75	23	16,56	87,54	12,46
63	6,4	4,61	92,15	7,85
53	4,3	3,10	95,25	4,75
45	2,9	2,09	97,34	2,66
38	2,4	1,73	99,06	0,94
-38	1,3	0,94	100,00	0,00



Distribuição granulométrica para a amostra de minério fosfático friável.

Apêndice III: Densidade relativa do minério fosfático granulado e do friável.

Densidade relativa da amostra de minério fosfático granulado.

P (g)	P _m (g)	P _(m+a) (g)	P _a (g)	ρ (g/cm ³)*
29,3	45,2	101,6	90,7	3,18
38,6	50,9	96,5	88,1	3,15
				ρ média = 3,17

Densidade relativa da amostra de minério fosfático friável

P (g)	P _m (g)	P _(m+a) (g)	P _a (g)	ρ (g/cm ³)*
39,7	66,7	107,9	89,3	3,21
25,9	54,0	120,6	101,0	3,31
				ρ média = 3,26

$$* \rho = \frac{(P_m - P)}{(P_a + P_m) - (P + P_{(m+a)})}$$

onde: ρ = densidade relativa do minério, em g/cm³.

P = massa do picnômetro vazio, em gramas.

P_m = massa do picnômetro com o minério, em gramas.

P_(m+a) = massa do picnômetro com minério e água, em gramas.

P_a = massa do picnômetro com água.

Apêndice IV: Balanços metalúrgicos dos testes de flotação em escala de bancada.

Tabela 1. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 40 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	112,6	16,22	34,6	2,43	0,75	47,69	61,40	2,64	5,94	56,73
Rejeito	581,7	83,78	4,21	17,38	2,30	7,04	38,60	97,36	94,06	43,27
Alim. Calculada	694,3	100	9,14	14,96	2,05	13,63	100	100	100	100

Tabela 2. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 40 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	111,8	16,13	34,29	2,35	0,69	48,29	61,32	2,57	5,69	56,71
Rejeito	581,2	83,87	4,16	17,12	2,20	7,09	38,68	97,43	94,31	43,29
Alim. Calculada	693,0	100	9,02	14,74	1,96	13,74	100	100	100	100

Tabela 3. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 40 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	94,9	13,69	37,92	1,13	0,31	52,73	44,47	0,65	1,84	41,89
Rejeito	598,4	86,31	7,51	27,27	2,62	11,60	55,53	99,35	98,16	58,11
Alim. Calculada	693,3	100	11,67	23,69	2,30	17,23	100	100	100	100

Tabela 4. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 40 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	92,5	13,35	37,92	1,23	0,35	52,64	43,34	0,69	1,92	40,80
Rejeito	600,2	86,65	7,64	27,15	2,76	11,77	56,66	99,31	98,08	59,20
Alim. Calculada	692,7	100	11,68	23,69	2,44	17,23	100	100	100	100

Tabela 5. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 %, para o minério fosfático granulado.

<i>Minério granulado</i>	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	152,03	22,10	31,60	3,17	0,88	46,50	77,39	4,72	9,50	73,37
Rejeito	535,77	77,90	2,62	18,15	2,38	4,79	22,61	95,28	90,50	26,63
Alim. Calculada	687,8	100	9,03	14,84	2,05	14,01	100	100	100	100

Tabela 6. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 %, para o minério fosfático granulado.

<i>Minério granulado</i>	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	160,14	23,17	34,15	2,46	0,75	47,98	81,10	3,90	8,71	76,24
Rejeito	531,07	76,83	2,40	18,29	2,37	4,51	18,90	96,10	91,29	23,76
Alim. Calculada	691,21	100	9,76	14,62	1,99	14,58	100	100	100	100

Tabela 7. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 %, para o minério fosfático friável.

<i>Minério friável</i>	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	136,08	19,65	37,07	1,71	0,38	50,01	62,37	1,43	3,04	58,18
Rejeito	556,41	80,35	5,47	28,86	2,96	8,79	37,63	98,57	96,96	41,82
Alim. Calculada	692,49	100	11,68	23,52	2,45	16,89	100	100	100	100

Tabela 8. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 %, para o minério fosfático friável.

<i>Minério friável</i>	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	110,28	15,98	37,84	1,46	0,37	50,95	49,95	1,03	2,35	45,88
Rejeito	579,92	84,02	7,21	26,80	2,93	11,43	50,05	98,97	97,65	54,12
Alim. Calculada	690,2	100	12,10	22,75	2,52	17,74	100	100	100	100

Tabela 9. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 70 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	94,47	13,64	34,19	2,56	0,71	48,26	52,18	2,39	4,87	48,06
Rejeito	598,04	86,36	4,95	16,55	2,19	8,24	47,82	97,61	95,13	51,94
Alim. Calculada	692,51	100	8,94	14,64	1,99	13,70	100	100	100	100

Tabela 10. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 70 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	91,2	13,21	33,10	2,66	0,77	47,33	54,24	2,35	5,24	49,66
Rejeito	599,34	86,79	4,25	16,83	2,12	7,30	45,76	97,65	94,76	50,34
Alim. Calculada	690,54	100	8,06	14,96	1,94	12,59	100	100	100	100

Tabela 11. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 70 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	30,49	4,39	36,66	2,25	0,58	49,12	13,38	0,42	4,54	12,29
Rejeito	663,27	95,61	10,91	24,30	0,56	16,12	86,62	99,58	95,46	87,71
Alim. Calculada	693,76	100	12,04	23,33	0,56	17,57	100	100	100	100

Tabela 12. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 70 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	37,24	5,37	37,34	1,82	0,48	50,16	18,15	0,41	1,04	16,19
Rejeito	656,8	94,63	9,55	24,93	2,59	14,72	81,85	99,59	98,96	83,81
Alim. Calculada	694,04	100	11,04	23,69	2,48	16,62	100	100	100	100

Tabela 13. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 85 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	122,79	17,77	31,56	3,30	0,92	44,73	63,68	3,96	8,12	58,73
Rejeito	568,31	82,23	3,89	17,30	2,25	6,79	36,32	96,04	91,88	41,27
Alim. Calculada	691,1	100	8,81	14,81	2,01	13,53	100	100	100	100

Tabela 14. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 85 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	115,66	16,71	33,15	2,71	0,79	47,60	62,27	3,24	6,66	57,50
Rejeito	576,4	83,29	4,03	16,24	2,22	7,06	37,73	96,76	93,34	42,50
Alim. Calculada	692,06	100	8,90	13,98	1,98	13,84	100	100	100	100

Tabela 15. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 85 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	48,76	7,06	38,10	1,36	0,35	51,71	19,65	0,44	1,01	18,48
Rejeito	641,98	92,94	11,83	23,31	2,60	17,33	80,35	99,56	98,99	81,52
Alim. Calculada	690,74	100	13,68	21,76	2,44	19,76	100	100	100	100

Tabela 16. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 85 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	51,99	7,51	38,29	1,32	0,38	51,74	24,47	0,41	1,22	22,03
Rejeito	640,71	92,49	9,59	25,80	2,49	14,86	75,53	99,59	98,78	77,97
Alim. Calculada	692,7	100	11,74	23,96	2,33	17,63	100	100	100	100

Tabela 17. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 100 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	107,59	15,56	34,06	2,58	0,68	48,06	60,43	2,70	5,21	54,99
Rejeito	583,87	84,44	4,11	17,12	2,28	7,25	39,57	97,30	94,79	45,01
Alim. Calculada	691,46	100	8,77	14,86	2,03	13,60	100	100	100	100

Tabela 18. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 100 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	98,14	14,19	35,20	2,15	0,63	49,20	54,80	1,99	4,50	50,26
Rejeito	593,65	85,81	4,80	17,52	2,21	8,05	45,20	98,01	95,50	49,74
Alim. Calculada	691,79	100	9,11	15,34	1,99	13,89	100	100	100	100

Tabela 19. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 100 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	36,61	5,28	38,15	1,39	0,35	51,50	17,31	0,31	0,76	15,63
Rejeito	656,55	94,72	10,16	25,23	2,55	15,50	82,69	99,69	99,24	84,37
Alim. Calculada	693,16	100	11,64	23,97	2,43	17,40	100	100	100	100

Tabela 20. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 100 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	41,08	5,93	37,61	1,74	0,44	50,09	19,55	0,45	1,04	16,68
Rejeito	651,42	94,07	9,76	24,48	2,63	15,78	80,45	99,55	98,96	83,32
Alim. Calculada	692,5	100	11,41	23,13	2,50	17,82	100	100	100	100

Tabela 21. Teste 1 da flotação, etapa rougher, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 40 %, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	196,55	28,43	29,22	4,25	0,78	41,94	89,24	8,05	11,27	86,86
Rejeito	494,68	71,57	1,40	19,28	2,44	2,52	10,76	91,95	88,73	13,14
Alim. Calculada	691,23	100	9,31	15,01	1,97	13,73	100	100	100	100

Tabela 22. Teste 2 da flotação, etapa rougher, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 40 %, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	196,38	28,39	29,22	4,38	0,79	42,11	88,94	8,30	11,17	86,12
Rejeito	495,33	71,61	1,44	19,18	2,49	2,69	11,06	91,70	88,83	13,88
Alim. Calculada	691,71	100	9,33	14,98	2,01	13,88	100	100	100	100

Tabela 23. Teste 1 da flotação, etapa rougher, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 40 %, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	210,41	30,22	34,34	3,71	0,42	46,37	86,56	4,71	5,35	81,23
Rejeito	485,79	69,78	2,31	32,49	3,22	4,64	13,44	95,29	94,65	18,77
Alim. Calculada	696,2	100	11,99	23,79	2,37	17,25	100	100	100	100

Tabela 24. Teste 2 da flotação, etapa rougher, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 40 %, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	202,02	29,01	34,41	3,45	0,38	46,28	84,45	4,24	4,66	79,89
Rejeito	494,28	70,99	2,59	31,88	3,18	4,76	15,55	95,76	95,34	20,11
Alim. Calculada	696,3	100	11,82	23,63	2,37	16,81	100	100	100	100

Tabela 25. Teste 1 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 %, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	189,85	27,35	29,65	4,13	0,77	43,18	88,57	7,63	11,02	86,26
Rejeito	504,25	72,65	1,44	18,82	2,34	2,59	11,43	92,37	88,98	13,74
Alim. Calculada	694,1	100	9,16	14,80	1,91	13,69	100	100	100	100

Tabela 26. Teste 2 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 %, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	195,76	28,34	29,22	4,21	0,79	41,88	88,44	8,41	11,15	85,54
Rejeito	495,07	71,66	1,51	18,14	2,49	2,80	11,56	91,59	88,85	14,46
Alim. Calculada	690,83	100	9,36	14,19	2,01	13,87	100	100	100	100

Tabela 27. Teste 1 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 %, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	192,45	27,72	35,80	2,75	0,35	49,18	83,21	3,35	4,04	78,71
Rejeito	501,89	72,28	2,77	30,40	3,19	5,10	16,79	96,65	95,96	21,29
Alim. Calculada	694,34	100	11,92	22,74	2,40	17,32	100	100	100	100

Tabela 28. Teste 2 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 %, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	191,43	27,47	35,78	2,66	0,34	49,98	83,70	3,19	4,00	80,01
Rejeito	505,37	72,53	2,64	30,54	3,09	4,73	16,30	96,81	96,00	19,99
Alim. Calculada	696,8	100	11,74	22,88	2,33	17,16	100	100	100	100

Tabela 29. Teste 1 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 70 %, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	179,26	25,90	30,19	4,20	0,76	43,92	85,99	7,19	10,56	83,29
Rejeito	512,79	74,10	1,72	18,94	2,25	3,08	14,01	92,81	89,44	16,71
Alim. Calculada	692,05	100	9,09	15,12	1,86	13,66	100	100	100	100

Tabela 30. Teste 2 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 70 %, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	192,57	27,90	28,79	4,33	0,84	41,85	87,85	8,25	11,97	85,26
Rejeito	497,76	72,10	1,54	18,63	2,39	2,80	12,15	91,75	88,03	14,74
Alim. Calculada	690,33	100	9,14	14,64	1,96	13,69	100	100	100	100

Tabela 31. Teste 1 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 70 %, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	183,18	26,39	36,02	2,46	0,34	49,98	80,04	2,87	3,64	75,80
Rejeito	510,88	73,61	3,22	29,85	3,23	5,72	19,96	97,13	96,36	24,20
Alim. Calculada	694,06	100	11,88	22,62	2,47	17,40	100	100	100	100

Tabela 32. Teste 2 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 70 %, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	180,05	25,96	36,14	2,38	0,32	49,95	79,99	2,66	3,53	76,37
Rejeito	513,42	74,04	3,17	30,56	3,07	5,42	20,01	97,34	96,47	23,63
Alim. Calculada	693,47	100	11,73	23,24	2,36	16,98	100	100	100	100

Tabela 33. Teste 1 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 85 %, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	180,05	26,15	30,81	3,72	0,84	44,76	85,10	6,71	10,95	82,29
Rejeito	508,46	73,85	1,91	18,32	2,42	3,41	14,90	93,29	89,05	17,71
Alim. Calculada	688,51	100	9,47	14,50	2,01	14,22	100	100	100	100

Tabela 34. Teste 2 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 85 %, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	175,33	25,42	31,10	3,46	0,79	44,82	85,28	5,95	10,01	81,41
Rejeito	514,27	74,58	1,83	18,66	2,42	3,49	14,72	94,05	89,99	18,59
Alim. Calculada	689,6	100	9,27	14,80	2,01	14,00	100	100	100	100

Tabela 35. Teste 1 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 85 %, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	131,89	19,11	38,08	1,46	0,29	52,44	64,37	1,22	2,62	62,10
Rejeito	558,32	80,89	4,98	27,96	2,55	7,56	35,63	98,78	97,38	37,90
Alim. Calculada	690,21	100	11,30	22,90	2,12	16,14	100	100	100	100

Tabela 36. Teste 2 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 85 %, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	133,75	19,29	38,12	1,38	0,28	52,64	62,53	1,15	2,36	59,66
Rejeito	559,52	80,71	5,46	28,37	2,77	8,51	37,47	98,85	97,64	40,34
Alim. Calculada	693,27	100	11,76	23,16	2,29	17,02	100	100	100	100

Tabela 37. Teste 1 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 100 %, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	176,5	25,51	30,96	3,58	0,81	44,35	85,28	6,33	10,72	81,66
Rejeito	515,43	74,49	1,83	18,15	2,31	3,41	14,72	93,67	89,28	18,34
Alim. Calculada	691,93	100	9,26	14,43	1,93	13,85	100	100	100	100

Tabela 38. Teste 2 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 100 %, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	172,2	24,84	31,14	3,52	0,76	44,47	84,34	5,99	10,12	80,10
Rejeito	521,17	75,16	1,91	18,25	2,23	3,65	15,66	94,01	89,88	19,90
Alim. Calculada	693,37	100	9,17	14,59	1,86	13,79	100	100	100	100

Tabela 39. Teste 1 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 100 %, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	140,76	20,39	37,78	1,40	0,29	51,95	69,78	1,18	2,65	65,43
Rejeito	549,7	79,61	4,19	30,03	2,73	7,03	30,22	98,82	97,35	34,57
Alim. Calculada	690,46	100	11,04	24,19	2,23	16,19	100	100	100	100

Tabela 40. Teste 2 da flotação, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 100 %, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	133,21	19,24	37,75	1,39	0,29	51,57	61,67	1,17	2,27	58,71
Rejeito	559,21	80,76	5,59	28,05	2,98	8,64	38,33	98,83	97,73	41,29
Alim. Calculada	692,42	100	11,78	22,92	2,46	16,90	100	100	100	100

Tabela 41. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 40 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	209,83	30,32	27,10	5,09	0,96	38,00	88,91	10,83	14,82	87,32
Rejeito	482,33	69,68	1,47	18,24	2,40	2,40	11,09	89,17	85,18	12,68
Alim. Calculada	692,16	100	9,24	14,25	1,96	13,19	100	100	100	100

Tabela 42. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 40 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	200,06	28,85	28,64	4,70	0,94	40,23	87,62	9,12	14,43	86,48
Rejeito	493,5	71,15	1,64	18,98	2,26	2,55	12,38	90,88	85,57	13,52
Alim. Calculada	693,56	100	9,43	14,86	1,88	13,42	100	100	100	100

Tabela 43. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 40 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	225,63	32,36	30,97	4,67	0,57	43,16	84,78	6,66	6,52	79,14
Rejeito	471,72	67,64	2,66	31,32	3,91	5,44	15,22	93,34	93,48	20,86
Alim. Calculada	697,35	100	11,82	22,70	2,83	17,64	100	100	100	100

Tabela 44. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 40 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	220,59	31,80	31,15	4,50	0,53	43,67	85,31	6,24	6,99	82,66
Rejeito	473,14	68,20	2,50	31,55	3,29	4,27	14,69	93,76	93,01	17,34
Alim. Calculada	693,73	100	11,61	22,95	2,41	16,80	100	100	100	100

Tabela 45. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	204,41	29,40	28,41	5,03	0,92	39,64	89,56	10,07	14,61	87,96
Rejeito	490,8	70,60	1,38	18,71	2,24	2,26	10,44	89,93	85,39	12,04
Alim. Calculada	695,21	100	9,33	14,69	1,85	13,25	100	100	100	100

Tabela 46. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	200,06	28,85	28,18	4,84	0,92	40,46	87,99	9,67	13,90	86,59
Rejeito	493,37	71,15	1,56	18,34	2,31	2,54	12,01	90,33	86,10	13,41
Alim. Calculada	693,43	100	9,24	14,45	1,91	13,48	100	100	100	100

Tabela 47. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	213,02	30,66	32,92	4,17	0,53	44,93	87,92	5,29	6,33	82,31
Rejeito	481,87	69,34	2,00	33,03	3,47	4,27	12,08	94,71	93,67	17,69
Alim. Calculada	694,89	100	11,48	24,18	2,57	16,73	100	100	100	100

Tabela 48. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	218,16	31,53	32,80	4,06	0,49	45,17	86,78	5,39	6,72	84,14
Rejeito	473,77	68,47	2,30	32,84	3,13	3,92	13,22	94,61	93,28	15,86
Alim. Calculada	691,93	100	11,92	23,77	2,30	16,93	100	100	100	100

Tabela 49. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 70 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	187,44	26,95	28,82	4,67	0,87	40,00	87,21	7,84	13,04	85,17
Rejeito	508,04	73,05	1,56	20,25	2,14	2,57	12,79	92,16	86,96	14,83
Alim. Calculada	695,48	100	8,91	16,05	1,80	12,66	100	100	100	100

Tabela 50. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 70 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	193,83	27,87	28,74	4,60	1,02	40,54	88,59	8,97	13,76	84,47
Rejeito	501,6	72,13	1,43	18,04	2,47	2,88	11,41	91,03	86,24	15,53
Alim. Calculada	695,43	100	9,04	14,29	2,07	13,38	100	100	100	100

Tabela 51. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 70 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	187,68	26,96	35,38	2,43	0,39	48,84	81,52	2,85	3,97	74,65
Rejeito	508,58	73,04	2,96	30,52	3,48	6,12	18,48	97,15	96,03	25,35
Alim. Calculada	696,26	100	11,70	22,95	2,65	17,64	100	100	100	100

Tabela 52. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 70 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	180,88	26,09	35,55	2,96	0,41	48,73	79,89	3,18	4,56	75,15
Rejeito	512,34	73,91	3,16	31,85	3,03	5,69	20,11	96,82	95,44	24,85
Alim. Calculada	693,22	100	11,61	24,31	2,35	16,92	100	100	100	100

Tabela 53. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 85 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	174,49	25,18	30,53	3,60	0,93	43,67	85,38	6,01	11,33	85,12
Rejeito	518,47	74,82	1,76	18,95	2,45	2,57	14,62	93,99	88,67	14,88
Alim. Calculada	692,96	100	9,00	15,08	2,07	12,92	100	100	100	100

Tabela 54. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 85 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	164,31	23,67	31,64	3,09	0,84	44,02	83,71	5,09	10,21	84,57
Rejeito	529,85	76,33	1,91	17,88	2,29	2,49	16,29	94,91	89,79	15,43
Alim. Calculada	694,16	100	8,95	14,38	1,95	12,32	100	100	100	100

Tabela 55. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 85 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	150,05	21,69	37,07	1,85	0,36	50,87	67,88	1,76	3,19	63,70
Rejeito	541,65	78,31	4,86	28,56	3,03	8,03	32,12	98,24	96,81	36,30
Alim. Calculada	691,7	100	11,85	22,77	2,45	17,32	100	100	100	100

Tabela 56. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 85 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	148,45	21,37	37,11	1,71	0,33	51,39	69,06	1,53	3,07	65,40
Rejeito	546,13	78,63	4,52	29,82	2,83	7,39	30,94	98,47	96,93	34,60
Alim. Calculada	694,58	100	11,49	23,81	2,30	16,79	100	100	100	100

Tabela 57. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 100 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	173,89	24,97	30,71	3,40	0,92	44,31	87,05	5,71	11,32	88,11
Rejeito	522,45	75,03	1,52	18,70	2,40	1,99	12,95	94,29	88,68	11,89
Alim. Calculada	696,34	100	8,81	14,88	2,03	12,56	100	100	100	100

Tabela 58. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 100 %, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	172,01	24,73	31,45	3,49	0,86	44,13	84,06	5,56	10,82	86,72
Rejeito	523,41	75,27	1,96	19,47	2,33	2,22	15,94	94,44	89,18	13,28
Alim. Calculada	695,42	100	9,25	15,52	1,97	12,59	100	100	100	100

Tabela 59. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 100 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	135,1	19,34	37,57	1,49	0,33	51,57	60,96	1,26	2,62	57,11
Rejeito	563,33	80,66	5,77	28,02	2,94	9,29	39,04	98,74	97,38	42,89
Alim. Calculada	698,43	100	11,92	22,89	2,44	17,47	100	100	100	100

Tabela 60. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *rougher*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 100 %, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	154,11	22,12	37,16	1,76	0,34	50,82	72,76	1,62	3,19	68,26
Rejeito	542,65	77,88	3,95	30,28	2,93	6,71	27,24	98,38	96,81	31,74
Alim. Calculada	696,76	100	11,30	23,97	2,36	16,47	100	100	100	100

Tabela 61. Dados referentes ao concentrado de flotação em bancada, etapa *rougher*, do minério fosfático granulado, após ajuste estatístico pelo algoritmo de Wills-Manser.

Concentrado da flotação em bancada do minério fosfático granulado												
Óleo vegetal	Grau de saponificação (%)	Massa (%)	Teor médio (%)				Distribuição média (%)				Relação (CaO/P ₂ O ₅)	I.S. (P ₂ O ₅ /Fe ₂ O ₃)
			P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO		
Oléico	40	16,60	34,48	2,39	0,72	47,96	62,09	2,65	6,07	57,46	1,39	7,76
	55	22,15	32,87	2,82	0,82	46,86	78,82	4,17	9,08	74,19	1,43	9,25
	70	14,96	34,04	2,61	0,74	47,89	56,33	2,63	5,72	51,96	1,41	6,91
	85	17,66	32,74	3,01	0,86	46,16	63,70	3,62	7,70	58,76	1,41	6,84
	100	15,65	34,72	2,37	0,66	48,34	59,05	2,47	5,21	54,06	1,39	7,55
Hidrocol*	40	28,42	29,08	4,32	0,79	42,06	89,05	8,13	11,33	86,50	1,45	9,59
	55	27,36	29,60	4,18	0,78	42,89	88,31	7,69	10,91	85,68	1,45	9,52
	70	26,71	29,75	4,27	0,80	43,24	86,89	7,58	11,12	84,23	1,45	8,99
	85	25,29	30,96	3,60	0,82	44,68	84,86	6,08	10,39	81,43	1,44	9,30
	100	24,33	31,48	3,56	0,79	44,95	84,37	5,80	9,95	80,32	1,43	9,36
Hidrocol**	40	29,20	27,87	4,91	0,95	40,03	88,07	9,66	14,37	86,91	1,44	8,31
	55	28,25	28,40	4,85	0,92	41,28	87,75	9,24	13,50	86,45	1,45	8,39
	70	28,32	28,74	4,66	0,88	40,92	87,93	8,49	13,46	86,24	1,42	8,86
	85	27,04	30,03	3,60	0,93	43,90	86,37	6,49	12,57	86,35	1,46	9,56
	100	26,60	30,56	3,45	0,89	45,04	86,46	6,09	12,08	88,54	1,47	9,92

* Hidrocol parcialmente hidrogenado

** Hidrocol sem hidrogenação

Tabela 62. Dados referentes ao concentrado de flotação em bancada, etapa *rougher*, do minério fosfático friável, após ajuste estatístico pelo algoritmo de Wills-Manser.

Concentrado da flotação em bancada do minério fosfático friável												
Óleo vegetal	Grau de saponificação (%)	Massa (%)	Teor médio (%)				Distribuição média (%)				Relação (CaO/P ₂ O ₅)	I.S. (P ₂ O ₅ /Fe ₂ O ₃)
			P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO		
Oléico	40	14,25	37,89	1,18	0,33	52,89	45,42	0,71	2,02	42,81	1,40	10,79
	55	18,55	37,15	1,59	0,38	50,65	57,19	1,26	2,92	53,17	1,36	10,23
	70	8,33	37,34	1,82	0,48	50,20	24,22	0,64	1,69	23,61	1,34	7,04
	85	7,75	37,91	1,32	0,38	51,76	25,11	0,43	1,27	22,63	1,37	8,81
	100	6,82	37,88	1,57	0,40	50,71	21,79	0,45	1,14	19,29	1,34	7,85
Hidrocol*	40	30,20	34,05	3,58	0,40	46,95	85,76	4,53	5,18	81,16	1,38	11,27
	55	27,60	35,83	2,71	0,35	50,28	83,47	3,19	4,07	79,54	1,40	12,38
	70	26,56	35,98	2,42	0,33	50,50	80,30	2,74	3,72	76,58	1,40	12,03
	85	19,34	38,48	1,42	0,29	53,85	63,75	1,17	2,28	61,30	1,40	12,19
	100	20,25	37,43	1,39	0,29	52,07	63,08	1,20	2,48	60,33	1,39	11,86
Hidrocol**	40	33,79	30,63	4,60	0,55	43,30	85,86	6,72	7,62	82,05	1,41	9,18
	55	31,79	32,62	4,06	0,49	46,07	86,87	5,39	6,78	84,51	1,41	10,78
	70	28,41	34,93	2,43	0,39	48,21	82,45	2,97	4,52	75,84	1,38	12,39
	85	22,17	37,07	1,78	0,35	51,66	69,26	1,67	3,28	65,51	1,39	11,52
	100	21,69	37,28	1,63	0,34	51,66	67,92	1,50	3,11	63,96	1,39	11,79

* Hidrocol parcialmente hidrogenado

** Hidrocol sem hidrogenação

Tabela 63. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *cleaner*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	96,4	13,77	36,84	1,08	0,37	50,51	58,16	1,08	2,48	54,21
Rejeito rougher (R1)	570,6	81,50	3,18	16,34	2,34	5,41	29,72	3,78	18,60	0,99
Rejeito cleaner (R2)	33,1	4,73	22,36	5,86	2,07	30,98	12,12	9,53	5,90	5,00
Blendagem R1 e R2	603,7	86,23	4,23	15,77	2,33	6,81	41,84	4,85	17,83	1,23
Alim. Calculada	700,1	100	8,72	13,74	2,06	12,83	100	100	100	100

Tabela 64. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *cleaner*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	113,7	16,15	37,02	1,22	0,42	50,92	64,56	1,39	3,26	61,79
Rejeito rougher (R1)	556,1	78,99	2,92	17,25	2,40	4,74	24,91	3,55	19,87	0,85
Rejeito cleaner (R2)	34,2	4,86	20,08	7,22	2,46	27,62	10,53	10,23	8,53	5,10
Blendagem R1 e R2	590,3	83,85	3,91	16,67	2,40	6,07	35,44	4,60	19,23	1,10
Alim. Calculada	704	100	9,26	14,17	2,08	13,31	100	100	100	100

Tabela 65. Teste 1 da flotação em bancada, etapa *cleaner*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	51,9	7,39	39,59	0,52	0,15	52,60	27,68	0,15	0,41	25,84
Rejeito rougher (R1)	608,4	86,58	6,29	29,06	3,08	9,45	51,56	7,21	33,03	1,94
Rejeito cleaner (R2)	42,4	6,03	36,33	2,40	0,53	49,19	20,75	3,44	0,47	1,73
Blendagem R1 e R2	650,8	92,61	8,25	27,32	2,91	12,04	72,32	8,89	29,38	2,33
Alim. Calculada	702,7	100	10,56	25,34	2,71	15,03	100	100	100	100

Tabela 66. Teste 2 da flotação em bancada, etapa *cleaner*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	52,3	7,39	39,65	0,52	0,15	52,73	25,28	0,16	0,43	24,16
Rejeito rougher (R1)	620,9	87,76	7,89	26,61	2,87	11,31	59,72	8,93	29,86	2,01
Rejeito cleaner (R2)	34,3	4,85	35,89	2,49	0,57	47,72	15,01	3,80	0,55	1,69
Blendagem R1 e R2	655,2	92,61	9,36	25,35	2,75	13,22	74,72	10,09	27,25	2,25
Alim. Calculada	707,5	100	11,60	23,51	2,56	16,14	100	100	100	100

Tabela 67. Teste 1, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	153,7	21,90	35,28	1,94	0,47	48,24	82,43	2,96	4,89	78,47
Rejeito rougher (R1)	506,3	72,14	1,49	18,34	2,58	2,84	11,47	1,90	22,49	0,54
Rejeito cleaner (R2)	41,8	5,96	9,60	11,69	2,34	14,27	6,10	7,82	13,00	2,48
Blendagem R1 e R2	548,1	78,10	2,11	17,83	2,56	3,71	17,57	2,62	21,72	0,71
Alim. Calculada	701,8	100	9,37	14,35	2,10	13,46	100	100	100	100

Tabela 68. Teste 2, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	150,5	21,52	35,11	1,95	0,47	48,30	82,36	2,97	5,00	78,34
Rejeito rougher (R1)	509,6	72,88	1,43	17,88	2,45	2,74	11,36	1,81	21,65	0,51
Rejeito cleaner (R2)	39,1	5,59	10,31	11,83	2,44	15,69	6,28	8,64	14,27	2,88
Blendagem R1 e R2	548,7	78,48	2,06	17,45	2,45	3,66	17,64	2,55	21,12	0,68
Alim. Calculada	699,2	100	9,18	14,11	2,02	13,27	100	100	100	100

Tabela 69. Teste 1, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	162,2	23,02	38,26	1,33	0,21	51,43	73,64	1,28	1,79	69,23
Rejeito rougher (R1)	503,9	71,53	2,75	32,11	3,62	5,05	16,44	3,70	42,99	1,07
Rejeito cleaner (R2)	38,4	5,45	21,76	11,08	1,21	30,27	9,92	10,10	4,96	2,14
Blendagem R1 e R2	542,3	76,98	4,10	30,62	3,45	6,84	26,36	5,25	39,07	1,38
Alim. Calculada	704,5	100	11,96	23,88	2,70	17,10	100	100	100	100

Tabela 70. Teste 2, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	160,4	22,73	38,49	1,23	0,20	51,55	74,25	1,17	1,81	70,78
Rejeito rougher (R1)	508,7	72,08	2,62	31,97	3,33	4,49	16,03	3,51	42,45	0,90
Rejeito cleaner (R2)	36,6	5,19	22,09	10,90	1,20	30,86	9,72	10,08	5,22	2,24
Blendagem R1 e R2	545,3	77,27	3,93	30,56	3,19	6,26	25,75	5,02	38,83	1,21
Alim. Calculada	705,7	100	11,78	23,89	2,51	16,55	100	100	100	100

Tabela 71. Teste 1, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	162,3	23,14	33,55	2,60	0,57	46,15	84,20	3,70	5,98	82,14
Rejeito rougher (R1)	491,7	70,09	1,38	20,66	2,70	2,24	10,49	1,75	25,31	0,47
Rejeito cleaner (R2)	47,5	6,77	7,22	17,36	2,65	11,11	5,30	7,71	20,87	2,26
Blendagem R1 e R2	539,2	76,86	1,89	20,37	2,70	3,02	15,80	2,37	24,91	0,63
Alim. Calculada	701,5	100	9,22	16,26	2,20	13,00	100	100	100	100

Tabela 72. Teste 2, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	163,7	23,31	34,20	2,47	0,56	46,82	85,19	3,41	6,16	83,95
Rejeito rougher (R1)	492,2	70,07	1,27	21,69	2,59	1,93	9,51	1,63	26,52	0,38
Rejeito cleaner (R2)	46,5	6,62	7,49	16,40	2,61	11,08	5,30	7,29	20,21	2,22
Blendagem R1 e R2	538,7	76,69	1,81	21,23	2,59	2,72	14,81	2,28	25,98	0,54
Alim. Calculada	702,4	100	9,36	16,86	2,12	13,00	100	100	100	100

Tabela 73. Teste 1, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	176,9	25,15	37,16	1,90	0,27	50,41	78,50	1,98	2,56	74,39
Rejeito rougher (R1)	485,6	69,03	2,39	33,02	3,62	4,41	13,86	3,27	45,16	0,94
Rejeito cleaner (R2)	41	5,83	15,60	14,25	1,38	22,64	7,64	9,22	7,43	1,83
Blendagem R1 e R2	526,6	74,85	3,42	31,56	3,45	5,83	21,50	4,48	41,08	1,18
Alim. Calculada	703,5	100	11,90	24,10	2,65	17,04	100	100	100	100

Tabela 74. Teste 2, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 % sem KE883B, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	177	25,26	37,25	1,93	0,28	50,06	79,30	1,99	2,77	74,54
Rejeito rougher (R1)	480,2	68,54	2,13	33,71	3,50	4,22	12,30	2,94	46,24	0,87
Rejeito cleaner (R2)	43,4	6,19	16,10	14,01	1,32	23,04	8,40	9,22	7,25	1,79
Blendagem R1 e R2	523,6	74,74	3,29	32,08	3,32	5,78	20,70	4,31	41,73	1,13
Alim. Calculada	700,6	100	11,87	24,46	2,55	16,97	100	100	100	100

Tabela 75. Teste 1 da flotação, etapa *cleaner*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	167	23,82	33,69	2,63	0,56	46,49	85,66	3,81	5,96	84,14
Rejeito rougher (R1)	497,7	70,98	1,48	20,94	2,77	2,30	11,21	1,89	25,93	0,48
Rejeito cleaner (R2)	36,5	5,21	5,62	18,27	2,64	8,74	3,12	6,25	21,56	1,75
Blendagem R1 e R2	534,2	76,18	1,76	20,76	2,76	2,74	14,34	2,23	25,62	0,57
Alim. Calculada	701,2	100	9,37	16,44	2,24	13,16	100	100	100	100

Tabela 76. Teste 2 da flotação, etapa *cleaner*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	169,3	24,21	34,15	2,43	0,56	46,51	87,26	3,53	6,24	86,28
Rejeito rougher (R1)	496,1	70,95	1,33	21,42	2,67	1,94	9,96	1,71	26,34	0,40
Rejeito cleaner (R2)	33,8	4,83	5,46	17,94	2,93	8,56	2,79	5,88	24,20	1,92
Blendagem R1 e R2	529,9	75,79	1,59	21,20	2,69	2,36	12,74	2,03	26,22	0,49
Alim. Calculada	699,2	100	9,48	16,65	2,17	13,05	100	100	100	100

Tabela 77. Teste 1 da flotação, etapa *cleaner*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	177,5	25,20	37,99	1,66	0,27	50,27	80,06	1,71	2,78	76,02
Rejeito rougher (R1)	499,8	70,95	2,53	33,02	3,27	4,41	15,01	3,42	44,07	0,87
Rejeito cleaner (R2)	27,1	3,85	15,33	14,85	1,61	22,53	4,93	9,32	9,76	2,18
Blendagem R1 e R2	526,9	74,80	3,19	32,09	3,18	5,34	19,94	4,19	41,70	1,02
Alim. Calculada	704,4	100	11,96	24,42	2,45	16,66	100	100	100	100

Tabela 78. Teste 2 da flotação, etapa *cleaner*, utilizando-se ácido oléico com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	177,2	25,35	37,80	1,66	0,27	50,39	78,60	1,80	2,62	74,70
Rejeito rougher (R1)	492,6	70,48	2,75	31,62	3,51	4,73	15,90	3,73	42,50	0,97
Rejeito cleaner (R2)	29,1	4,16	16,11	14,78	1,66	23,86	5,50	10,21	9,39	2,32
Blendagem R1 e R2	521,7	74,65	3,50	30,68	3,41	5,80	21,40	4,60	40,02	1,15
Alim. Calculada	698,9	100	12,19	23,32	2,61	17,10	100	100	100	100

Tabela 79. Teste 1 da flotação, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	150,2	21,38	35,56	1,92	0,37	48,65	81,75	2,55	3,99	77,97
Rejeito rougher (R1)	513,9	73,15	1,59	20,35	2,45	2,77	12,51	2,01	25,13	0,51
Rejeito cleaner (R2)	38,4	5,47	9,77	14,70	2,06	16,71	5,74	8,92	15,26	2,58
Blendagem R1 e R2	552,3	78,62	2,16	19,96	2,42	3,74	18,25	2,68	24,37	0,68
Alim. Calculada	702,5	100	9,30	16,10	1,98	13,34	100	100	100	100

Tabela 80. Teste 2 da flotação, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	152,4	21,62	35,69	2,05	0,38	48,38	82,14	2,82	4,11	78,86
Rejeito rougher (R1)	510,3	72,40	1,49	19,91	2,48	2,55	11,48	1,88	24,69	0,48
Rejeito cleaner (R2)	42,1	5,97	10,04	14,72	2,04	16,04	6,38	9,39	15,02	2,47
Blendagem R1 e R2	552,4	78,38	2,14	19,51	2,45	3,58	17,86	2,66	23,88	0,66
Alim. Calculada	704,8	100	9,40	15,74	2,00	13,27	100	100	100	100

Tabela 81. Teste 1, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	160,2	22,71	38,35	1,49	0,20	50,94	73,09	1,45	1,81	69,10
Rejeito rougher (R1)	500,5	70,95	2,74	31,26	3,37	4,72	16,31	3,68	42,05	0,95
Rejeito cleaner (R2)	44,7	6,34	19,93	11,80	1,08	28,79	10,60	10,11	5,09	1,86
Blendagem R1 e R2	545,2	77,29	4,15	29,66	3,18	6,69	26,91	5,29	37,69	1,27
Alim. Calculada	705,4	100	11,92	23,27	2,50	16,74	100	100	100	100

Tabela 82. Teste 2, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol parcialmente hidrogenado com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	159,6	22,62	38,58	1,31	0,19	51,70	73,76	1,22	1,71	69,41
Rejeito rougher (R1)	500,4	70,93	2,52	32,78	3,38	4,58	15,11	3,39	44,12	0,92
Rejeito cleaner (R2)	45,5	6,45	20,43	12,34	1,10	29,55	11,14	10,36	5,41	1,93
Blendagem R1 e R2	545,9	77,38	4,01	31,08	3,19	6,66	26,24	5,12	39,47	1,26
Alim. Calculada	705,5	100	11,83	24,34	2,51	16,85	100	100	100	100

Tabela 83. Teste 1, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	158,5	22,50	34,93	2,25	0,42	47,52	83,06	3,07	4,98	80,71
Rejeito rougher (R1)	500,5	71,03	1,49	21,03	2,35	2,37	11,19	1,90	26,03	0,42
Rejeito cleaner (R2)	45,6	6,47	8,40	15,74	2,08	13,47	5,75	8,03	17,25	2,12
Blendagem R1 e R2	546,1	77,50	2,07	20,59	2,33	3,30	16,94	2,58	25,24	0,58
Alim. Calculada	704,6	100	9,46	16,46	1,90	13,24	100	100	100	100

Tabela 84. Teste 2, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério fosfático granulado.

Minério granulado	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	153,7	22,03	35,46	2,18	0,40	48,08	82,78	2,96	4,34	79,77
Rejeito rougher (R1)	499,6	71,61	1,43	20,66	2,53	2,39	10,85	1,82	25,72	0,46
Rejeito cleaner (R2)	44,4	6,36	9,44	15,16	2,08	15,32	6,37	8,81	15,52	2,40
Blendagem R1 e R2	544	77,97	2,08	20,21	2,49	3,45	17,22	2,59	24,80	0,65
Alim. Calculada	697,7	100	9,44	16,24	2,03	13,28	100	100	100	100

Tabela 85. Teste 1, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	171,7	24,29	37,35	1,82	0,25	50,09	76,24	1,83	2,45	72,39
Rejeito rougher (R1)	482,9	68,30	2,39	33,22	3,42	4,22	13,72	3,28	45,76	0,86
Rejeito cleaner (R2)	52,4	7,41	16,11	14,33	1,16	23,71	10,04	9,54	6,70	1,64
Blendagem R1 e R2	535,3	75,71	3,73	31,37	3,20	6,13	23,76	4,84	40,42	1,17
Alim. Calculada	707	100	11,90	24,19	2,48	16,80	100	100	100	100

Tabela 86. Teste 2, etapa *cleaner*, utilizando-se Hidrocol sem hidrogenação com grau de saponificação de 55 % com KE883B, para o minério fosfático friável.

Minério friável	Massa		Teor (%)				Distribuição (%)			
	g	%	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO	P2O5	Fe2O3	MgO	CaO
Concentrado	169,6	24,00	37,53	1,78	0,24	50,49	77,11	1,72	2,32	72,72
Rejeito rougher (R1)	489,4	69,26	2,48	33,80	3,39	4,42	14,70	3,38	46,11	0,90
Rejeito cleaner (R2)	47,6	6,74	14,19	14,54	1,18	22,04	8,18	8,31	6,90	1,56
Blendagem R1 e R2	537	76,00	3,52	32,09	3,19	5,98	22,89	4,55	41,25	1,15
Alim. Calculada	706,6	100	11,68	24,82	2,49	16,66	100	100	100	100

11. ANEXOS

Anexo I: Procedimentos de análise química via úmida dos óleos vegetais.

1. Determinação do índice de saponificação

Reagentes:

- solução padrão de ácido clorídrico 0,5 N
- solução alcoólica de hidróxido de potássio a 4 %
- solução de fenolftaleína a 1 % em etanol 95° GL

Material:

- balança analítica
- bastão de vidro
- béquer de 50 mL
- bureta
- chapa elétrica com controle de temperatura
- condensador de bola com 50 cm de comprimento e junta esmerilhada
- erlenmeyer de 250 mL com boca esmerilhada
- garrafa lavadeira
- suportes e garras para condensador e bureta

Procedimento:

- Derreter a amostra se esta não for líquida e filtrar através de papel de filtro para remover quaisquer impurezas. A amostra deve estar completamente seca.
- Pesar, com exatidão, cerca de 2 g de amostra em um erlenmeyer de 250 mL com boca esmerilhada.
- Adicionar 25 mL da solução alcoólica de hidróxido de potássio (ver nota), medidos com pipeta. Permitir que a solução escoe por um período de tempo definido.
- Preparar e realizar um ensaio em branco simultaneamente com a amostra.

- Adaptar condensador de refluxo e aquecer, mantendo em ebulição branda durante 1 hora ou até saponificação completa. O anel de vapor não pode subir até o topo do condensador senão poderão ocorrer perdas.
- Deixar o frasco e o condensador esfriarem um pouco.
- Lavar o interior do condensador com um pouco de água destilada.
- Desconectar o condensador.
- Adicionar 0,5 mL de solução de fenolftaleína.
- Titular com a solução padrão de HCl 0,5 N até que a coloração rósea desapareça.

Cálculo:

$$I.S. = \frac{(B - A) \times N_{HCl} \times 56,105}{M_{amostra}}$$

Onde:

B = volume, em mL, da solução de HCl gasto no ensaio em branco;

A = volume, em mL, da solução de HCl gasto na determinação da amostra;

N_{HCl} = normalidade da solução de HCl;

$M_{amostra}$ = massa da amostra de óleo, em gramas.

Nota:

Preparo da solução alcoólica de hidróxido de potássio

- Colocar 10 g de KOH em um balão de 2 litros (com fundo redondo e boca esmerilhada). Colocar, também, algumas pérolas de vidro.
- Adicionar 1500 mL de álcool etílico a 95 %, no mínimo.
- Aquecer, usando condensador de refluxo, durante cerca de 30 minutos.
- Destilar, em aparelhagem inteiramente de vidro, desprezando os 50 mL iniciais até coletar cerca de 1300 mL.

- Dissolver 40 g de hidróxido de potássio, pobre em carbonato, em 1 litro de álcool destilado, mantendo a temperatura abaixo de 15,5° C, enquanto o álcali estiver sendo dissolvido.
- Deixar a solução em repouso por 24 horas, filtrar e guardar convenientemente.

2. Determinação da matéria insaponificável

Reagentes:

- álcool etílico 95 %
- solução de hidróxido de potássio 50 %
- éter de petróleo, p.e. 40-60 ° C
- solução padrão de hidróxido de sódio 0,02 N
- solução de fenolftaleína, 1 % em álcool 95 %
- solução álcool etílico-água (1:9)

Material:

- balança analítica
- bastão de vidro
- béqueres de 50 mL e 500 mL
- bureta
- chapa elétrica com controle de temperatura
- condensador de bola com junta esmerilhada
- dessecador
- erlenmeyer de 250 mL com boca esmerilhada
- estufa
- funil de separação de 500 mL
- funil de vidro
- garrafa lavadeira
- pipetas de 5 e 10 mL
- provetas de 25 e 50 mL
- suporte para funil de separação e condensador

Procedimento:

- Pesar, com precisão, cerca de 5 g de amostra em erlenmeyer de 250 mL.
- Adicionar 30 mL de álcool etílico e 5 mL de KOH 50 %.
- Adaptar condensador de refluxo e ferver por 1 hora ou até saponificação completa. É imprescindível que a saponificação seja completa.
- Transferir a mistura para o funil de separação.
- Lavar o erlenmeyer com 5 mL de álcool etílico e transferir para o funil de separação.
- Lavar o erlenmeyer com 20 mL de água destilada quente e depois com 20 mL de água destilada fria, transferindo as águas de lavagem para o funil de separação.
- Lavar o erlenmeyer com 5 mL de éter de petróleo e transferir para o funil.
- Deixar em repouso até que a mistura atinja temperatura ambiente (20 a 25 ° C).
- Adicionar 50 mL de éter de petróleo.
- Tampar o funil e agitar por pelo menos 1 minuto.
- Deixar o funil em repouso para que as fases se separem.
- Recolher a fase aquosa em um béquer.
- Recolher a fase etérea, a mais limpa possível, em outro béquer.
- Transferir a fase aquosa para o funil de separação e repetir a extração, pelo menos mais 6 vezes.
- Transferir os extratos combinados para um funil de separação e lavá-los com porções de 25 mL de solução álcool-água (1:9) até que a camada aquosa, retirada após cada lavagem, seja neutra à fenolftaleína. Ter cuidado para não remover parte da camada etérea.
- Transferir o extrato etéreo para um béquer tarado e evaporar à secura.
- Completar a secagem em uma estufa a 75-80 ° C.
- Resfriar em dessecador e pesar.
- Após a pesagem, dissolver o resíduo em 50 mL de álcool etílico 95 % a aproximadamente 50° C contendo 1mL de fenolftaleína 1 % e que tenha sido previamente neutralizado até coloração rosa pálido.
- Titular com solução de NaOH 0,02 N até mesma coloração.

Cálculo:

$$M.I.(%) = \frac{(C - A) \times 100}{D}$$

e

$$A = B \times N \times 0,282$$

Onde:

A = massa, em gramas, de ácidos graxos no extrato;

B = volume, em mL, de solução de NaOH gasto na titulação dos ácidos graxos;

N = normalidade da solução de NaOH;

C = massa, em gramas, do resíduo;

D = massa, em gramas, da amostra de óleo.

3. Determinação do índice de acidez

Reagentes:

- solvente: solução de éter etílico-álcool etílico (2:1)
- solução padrão de hidróxido de sódio 0,01 N
- solução de fenolftaleína a 1 % em álcool etílico de 95 ° GL, no mínimo

Material:

- balança analítica
- bastão de vidro
- béquer de 50 mL
- bureta
- erlenmeyer de 250 mL
- funil de vidro
- pipeta graduada de 2 mL
- suporte e garra para bureta

Procedimento:

- Pesar, com exatidão, 5 g de amostra (bem homogeneizada) em um erlenmeyer de 250 mL.
- Adicionar 1,6 mL de solução de fenolftaleína a 1 % e 100 mL de solução de éter etílico-álcool etílico (2:1) e neutralizar com a solução de NaOH até coloração rósea pálida, mas permanente.
- Adicionar a solução neutralizada de éter etílico-álcool etílico ao erlenmeyer que contém a amostra. Certificar se a amostra está completamente dissolvida antes da titulação.

- Titular a amostra com a solução padrão de hidróxido de sódio 0,01 N, agitando vigorosamente, até aparecimento da primeira coloração rósea permanente de mesma intensidade da solução de solvente neutralizada, antes de ser adicionada à amostra. A cor deve ser persistente por 30 segundos.

Cálculo:

$$I.A. = \frac{V_{NaOH} \times N_{NaOH} \times 56,105}{M_{amostra}}$$

Onde:

V_{NaOH} = volume, em mL, da solução de NaOH gasto na determinação da amostra;

N_{NaOH} = normalidade da solução de NaOH;

$M_{amostra}$ = massa da amostra de óleo, em gramas.

4. Determinação do índice de iodo – Método de Wijs

Reagentes:

- solução de Wijs
- solução padrão de tiosulfato de sódio 0,1 N
- solução de iodeto de potássio a 15 %
- solução de amido a 1 %
- tetracloreto de carbono P.A.

Material:

- balança analítica
- bastão de vidro
- béqueres de 10, 50 e 100 mL
- buretas de 25 e 50 mL
- frasco de índice de iodo de 500 mL
- pipetas de 2 e 20 mL
- proveta de 100 mL
- suporte e garra para bureta

Procedimento:

- Fundir a amostra se esta já não for completamente líquida e filtrar através de papel de filtro para remover quaisquer impurezas. A temperatura durante a fusão e filtragem não deverá exceder o ponto de fusão da amostra mais de 10-15 ° C.
- Pesar, em um béquer de 10 mL, a amostra. A tabela I é um guia conveniente para o tamanho da amostra a ser pesada.
- Colocar 20 mL de tetracloreto de carbono em uma bureta

- Transferir a amostra para um frasco de índice de iodo com auxílio do tetracloreto de carbono (20 mL), com cuidado para que não ocorram perdas.
- Adicionar 25 mL da solução de Wijs, usando uma bureta ou pipeta e homogeneizar.
- Realizar pelo menos duas provas em branco para cada grupo de amostras.
- Fechar os frascos e guardá-los em lugar escuro por 30 minutos (veja nota 1), à temperatura de 25 ± 5 °C.
- Após este tempo, adicionar 20 mL da solução de KI a 15 % e, em seguida, juntar 100 mL de água destilada.
- Titular com a solução padrão de tiosulfato de sódio 0,1 N, adicionando-a lentamente e com constante e vigorosa agitação (veja nota 2), até uma fraca coloração amarela.
- Adicionar 1 a 2 mL da solução de amido a 1 %.
- Continuar a titulação até que a cor azul desapareça.

Cálculo:

$$I.I. = \frac{(B - A) \times N_{\text{tiosulfato}} \times 12,691}{M_{\text{amostra}}}$$

Onde:

B = volume, em mL, da solução de Na₂S₂O₃ gasto no ensaio em branco;

A = volume, em mL, da solução de Na₂S₂O₃ gasto na determinação da amostra;

N_{tiosulfato} = normalidade da solução de Na₂S₂O₃;

M_{amostra} = massa da amostra de óleo, em gramas.

Notas

1. O tempo de absorção para óleos com índice de iodo superior a 150 deve ser de 1 hora a 25 ± 5 °C. A solução de Wijs é sensível à temperatura, umidade e luz. Portanto, deve ser guardada em um lugar escuro e fresco cuja temperatura não ultrapasse 30 °C.

2. Pode-se utilizar agitação mecânica durante a adição de tiosulfato.

Tabela I. Massa de amostra.

Índice de iodo	Peso da amostra (g)		Precisão da pesagem (g)
	100 % excesso de solução de Wijs	150 % excesso de solução de Wijs	
Menor que 3	10	10	±0,001
3	10,576	8,4613	0,005
5	6,346	5,0770	0,0005
10	3,1730	2,5384	0,0002
20	1,5565	0,8461	0,0002
40	0,7935	0,6346	0,0002
60	0,5288	0,4231	0,0002
80	0,3968	0,3173	0,0001
100	0,3173	0,2538	0,0001
120	0,2644	0,2115	0,0001
140	0,2266	0,1813	0,0001
160	0,1983	0,1587	0,0001
180	0,1762	0,1410	0,0001
200	0,1586	0,1269	0,0001

5. Determinação do índice de peróxido

Reagentes:

- solução de ácido acético glacial-clorofórmio (3:2)
- solução saturada de iodeto de potássio
- solução padrão de tiosulfato de sódio 0,01 N
- solução de amido a 1 %

Material:

- balança analítica
- erlenmeyer de 250 mL
- pipeta de 1 mL
- proveta de 50 mL
- bureta
- béquer de 50 mL
- bastão de vidro
- funil de vidro

Procedimento:

- Pesar, com exatidão, cerca de 5 g da amostra em um erlenmeyer de 250 mL.
- Adicionar 30 mL de solução ácido acético glacial-clorofórmio (3:2).
- Agitar, por rotação, até a amostra dissolver.
- Adicionar 0,5 mL da solução saturada de KI.
- Deixar em repouso, com agitação ocasional, por exatamente 1 minuto.
- Adicionar 30 mL de água destilada.
- Titular com a solução padrão de tiosulfato de sódio 0,01 N, adicionando-o lentamente e com agitação constante e vigorosa, até coloração levemente amarela.

- Adicionar 0,5 mL da solução de amido a 1 %.
- Continuar a titulação, agitando o frasco vigorosamente para liberar todo o iodo da camada de clorofórmio, até desaparecer a cor azul.
- Realizar uma prova em branco diariamente. A titulação do branco não deve exceder 0,1 mL de solução $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N.

Cálculo:

$$I.P. = \frac{(A - B) \times N_{\text{tiosulfato}} \times 1000}{M_{\text{amostra}}}$$

Onde:

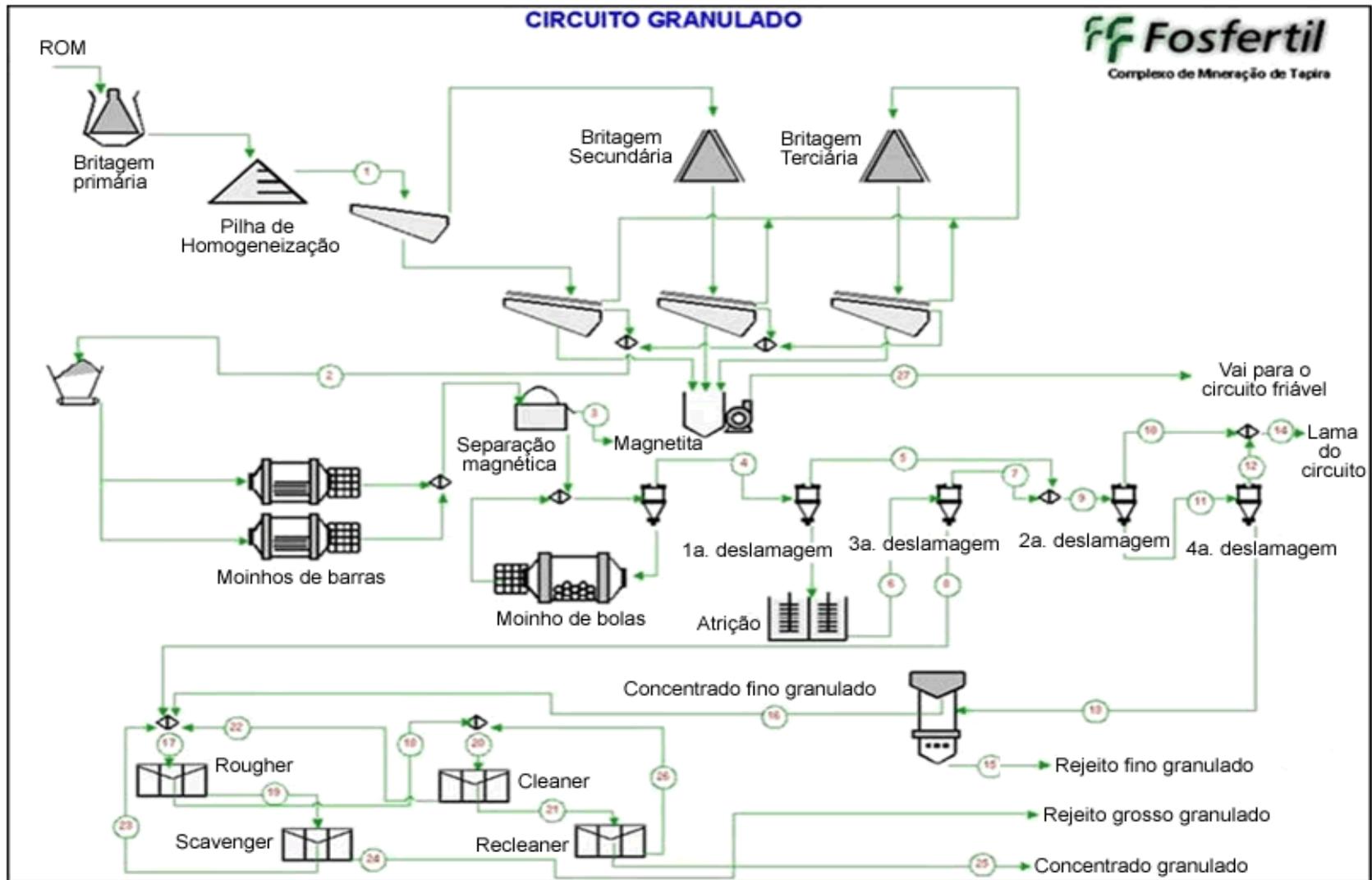
A = volume, em mL, da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gasto na determinação da amostra;

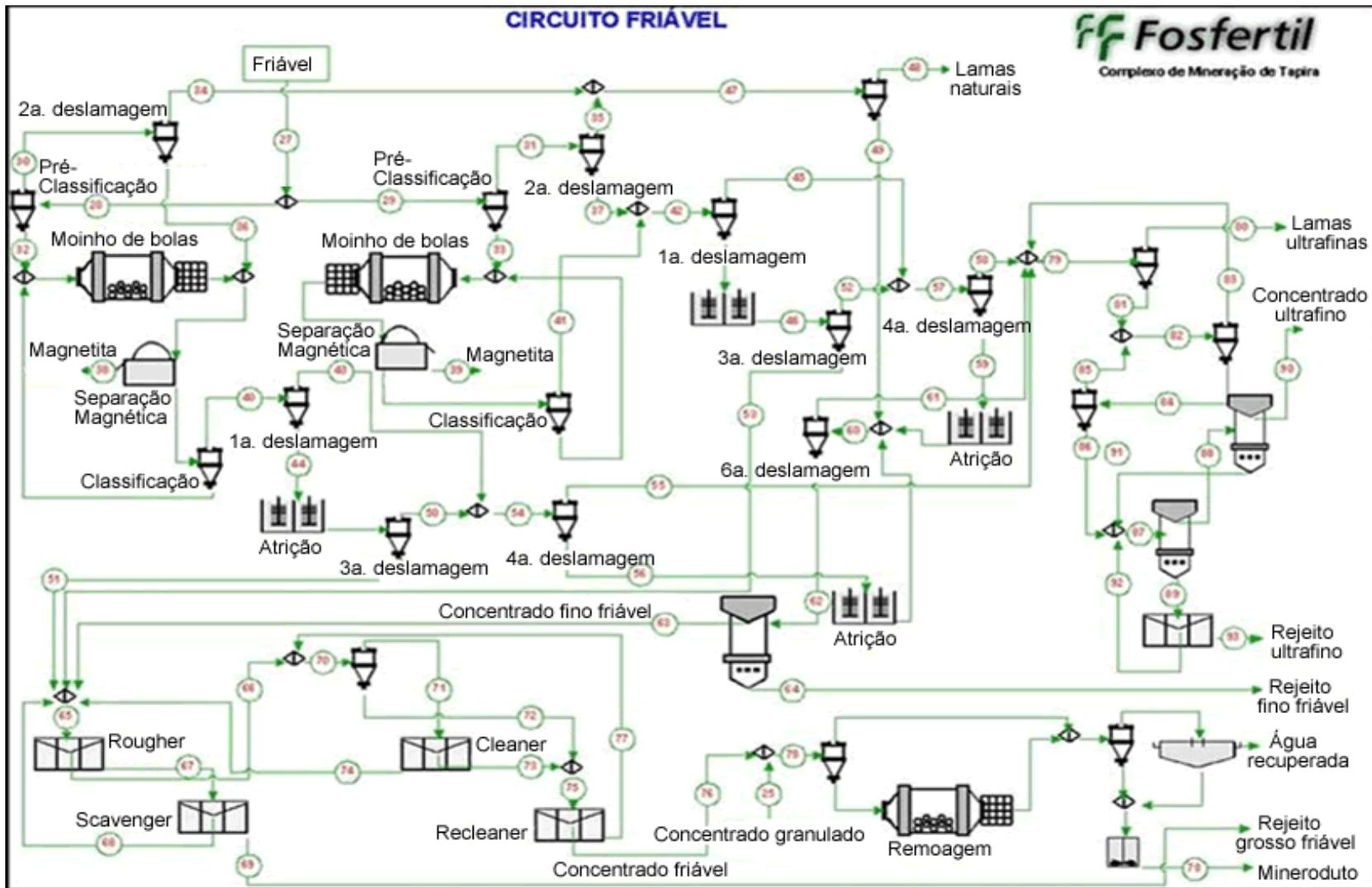
B = volume, em mL, da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gasto no ensaio em branco;

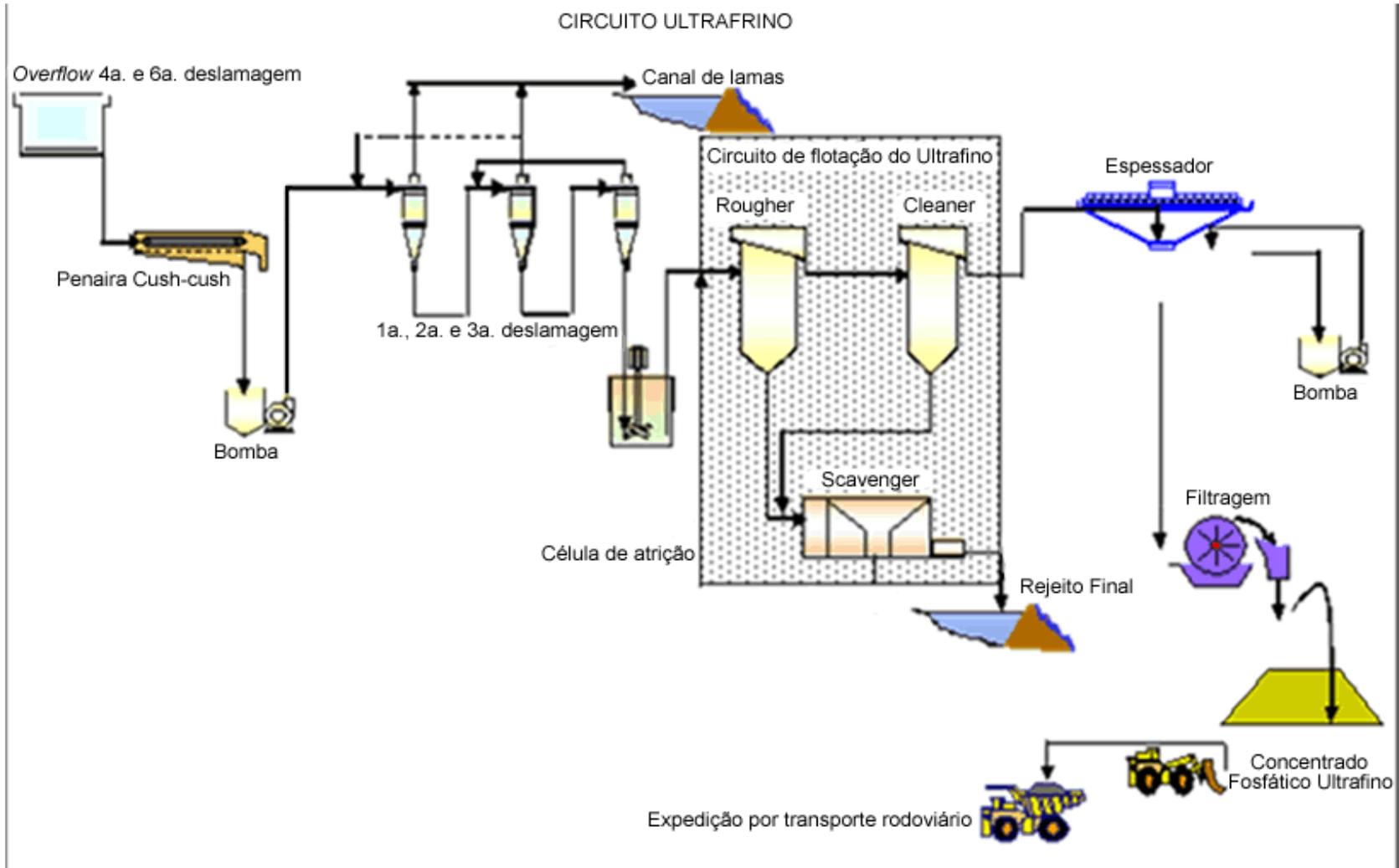
$N_{\text{tiosulfato}}$ = normalidade da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;

M_{amostra} = massa da amostra de óleo, em gramas.

Anexo II: Fluxogramas dos circuitos: granulado, friável e ultrafino, do Complexo de Mineração de Tapira - MG da Fosfertil.







Anexo III: Procedimentos operacionais padrões da planta piloto do Complexo de Mineração de Tapira - MG da Fosfertil.

	Procedimento Operacional Padrão	UNIDADE CMT	POP.:SEPCO PP3 Data.:
Tarefa: Preparo do Sabão Função: Técnico de Mineração			
RECURSOS NECESSÁRIOS			
Balança de precisão (0,05g)		Copos descartáveis (50mL)	
Becker		Soda a 50% ou 100%	
Bastão			
Água			
Ácido Graxo			
CUIDADOS ESPECIAIS			
Atenção no peso dos componentes e no estado físico do reagente.			
RESULTADOS ESPERADOS			
Solução homogênea, sem grumos.			
ATIVIDADES CRÍTICAS			
<p>Pesar o ácido graxo, em 1 becker de 400 mL. Se a temperatura do mesmo estiver baixa e o óleo apresentar solidificação, aquecê-lo até que se liquidifique. Pesar a soda a 50% em recipiente separado (copo descartável). Pesar a água em 1 becker de 200 mL. Adicionar mais ou menos 10% de água total, no óleo. Adicionar a soda a 50% mexendo sempre com um bastão até obter uma mistura homogênea. Adicionar o restante da água, até obter uma solução homogênea e que não apresente grumos.</p> <p>EX: Para 200 mL de sabão a 5%</p> <p style="padding-left: 40px;">Pesar 10,0 gramas de óleo Pesar 3,0 gramas de soda a 50% (1,5g de soda 100%) H₂O para diluição do óleo 20 gramas H₂O para solução final 167 gramas</p>			
AÇÕES CORRETIVAS			
Se a solução apresentar grumos, separar fases ou houver dúvida quanto a peso dos componentes, repetir toda a operação.			

	Procedimento Operacional Padrão	UNIDADE CMT	POP.:SEPCO PP4 Data.:
Tarefa: Preparo do Depressor (Amido de milho) Função: Técnico de Mineração			
RECURSOS NECESSÁRIOS			
Balança de precisão (0,05g)		Copos descartáveis (50mL)	
Becker		Soda a 50%	
Bastão			
Água			
Amido			
CUIDADOS ESPECIAIS			
Observar a ordem de adição dos componentes e o peso dos mesmos.			
RESULTADOS ESPERADOS			
Produto final bem gelatinoso, translúcido e sem grumos.			
ATIVIDADES CRÍTICAS			
Pesar o amido em copo descartável (50mL). Pesar a soda em copo descartável (50mL). Pesar a água em 1 becker de 400 mL. Diluir o amido em água (15% da água total); mexendo bem para a completa diluição. Adicionar a soda, mexendo vigorosamente até tornar um gel translúcido. Adicionar o restante da água para a concentração final. EX: Para 300 mL de amido gelatinoso a 2% Pesar 7,0 gramas de amido* Pesar a água 291 gramas Diluir o amido em 45 gramas da água Adicionar a soda mexendo vigorosamente Acrescentar as 246 gramas restantes da água, mexendo bem Pesar 2,0 gramas de soda a 50% * Pesa-se 7,0 gramas de amido, levando-se em conta a umidade média de 12% do mesmo.			
AÇÕES CORRETIVAS			
Se a solução apresentar grumos ou se houver dúvida quanto ao peso dos componentes, repetir toda a operação.			

	Procedimento Operacional Padrão	UNIDADE CMT	POP.:SEPCO PP6 Data.:
Tarefa: Ensaio de Flotação em bancadas dos AN's da Usina Função: Técnico de Mineração/Analista de Laboratório			
RECURSOS NECESSÁRIOS			
Máquina de flotação com acessórios	pH-metro		
Reagentes (Depressores, coletores e moduladores de pH) Preparados conforme POP's 02, 03 e 04	Proveta		
Amostra preparada conf. Proced. Operacionais Planta Piloto	Cronômetro		
Bandejas			
Picete			
CUIDADOS ESPECIAIS			
Atenção na preparação de reagentes e no processo de flotação. Conferir se as cubas estão limpas para evitar contaminação. Manter limpa a área de trabalho e equipamentos usados, no início e término dos testes.			
RESULTADOS ESPERADOS			
Resultados confiáveis que possam reproduzir o comportamento da pilha em escala industrial.			
ATIVIDADES CRÍTICAS			
Flotação do AN Granulado Total da Usina			
<ul style="list-style-type: none"> • Colocar o minério na cuba Rougher e diluir com água para 60% de sólidos (660 mL de água) (*) • Condicionar com amido gelatinoso por 5 minutos a 1000 RPM • Adicionar coletor e condicionar por 1 minuto a 1000 RPM • Avolumar com água até o nível abaixo de transbordo, elevar para 1400 RPM e ajustar o pH para 9,5 • Abrir a aeração retirando toda a espuma até a sua completa exaustão • Transferir a espuma para a cuba cleaner e avolumar com água até o nível abaixo de transbordo • Condicionar durante 1 minuto a 1000 RPM • Abrir a aeração e coletar toda a espuma • Secar a espuma, pesar, quartear, registrar e remeter para análise química, mantendo uma alíquota como testemunho 			
(*) Dados calculados para 1000 g de AN seco, demais variações de massa alimentada corrigir dosagem de água e adequar RPM			
AÇÕES CORRETIVAS			
Se ocorrer qualquer anormalidade durante a execução do procedimento, deve-se cancelar o ensaio e repetir toda a operação.			

	Procedimento Operacional Padrão	UNIDADE CMT	POP.:SEPCO PP7 Data.:
--	--	------------------------	--------------------------

Tarefa: Ensaio de Flotação em bancadas dos AN's da Usina

Função: Técnico de Mineração/Analista de Laboratório

RECURSOS NECESSÁRIOS

Máquina de flotação com acessórios	pH-metro
Reagentes (Depressores, coletores e moduladores de pH) Preparados conforme POP's 02, 03 e 04	Proveta
Amostra preparada conf. Proced. Operacionais Planta Piloto	Cronômetro
Bandejas	
Picete	

CUIDADOS ESPECIAIS

Atenção na preparação de reagentes e no processo de flotação.
Conferir se as cubas estão limpas para evitar contaminação.
Manter limpa a área de trabalho e equipamentos usados, no início e término dos testes.

RESULTADOS ESPERADOS

Resultados confiáveis que possam reproduzir o comportamento da pilha em escala industrial.

ATIVIDADES CRÍTICAS

Flotação do AN Grosso Friável + CF da Usina

- Colocar o AN Grosso na cuba Rougher e diluir com água para 60% de sólidos (660 mL de água) (*).
- Condicionar com amido gelatinoso por 5 minutos a 1000 RPM.
- Adicionar coletor e condicionar por 1 minuto a 1000 RPM.
- Adicionar o CF e condicionar por 1 minuto.
- Avolumar com água até o nível abaixo de transbordo, elevar a RPM para 1400 e ajustar o pH para 9,5.
- Abrir a aeração retirando toda a espuma até a sua completa exaustão.
- Transferir a espuma para a cuba cleaner e avolumar com água até o nível abaixo de transbordo.
- Condicionar durante 1 minuto a 1000 RPM.
- Abrir a aeração e coletar toda a espuma.
- Secar a espuma, pesar, quartear, registrar e remeter para análise química, mantendo uma alíquota como testemunho.

(*) Dados calculados para 1000 g de AN seco, demais variações de massa alimentada corrigir dosagem de água e adequar RPM

AÇÕES CORRETIVAS

Se ocorrer qualquer anormalidade durante a execução do procedimento, deve-se cancelar o ensaio e repetir toda a operação.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)