

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas

Dissertação de Mestrado

**“O uso de óleos apolares na flotação
catiônica reversa de um minério de ferro”**

Autor: Sandio Ricardo Nunes Pereira
Orientador: Prof. Antônio Eduardo Clark Peres

Agosto/2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas

Sandio Ricardo Nunes Pereira

**O USO DE ÓLEOS APOLARES NA FLOTAÇÃO
CATIÔNICA REVERSA DE UM MINÉRIO DE FERRO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia
Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais

Área de concentração: Tecnologia Mineral

Orientador: Prof. Antônio Eduardo Clark Peres

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2004

“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais volta ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

Aos meus pais
pelo exemplo de dignidade e perseverança na educação dos filhos, aos meus
filhos, Amanda e João Ricardo, que me iluminaram com a alegria de seus sorrisos
e me impulsionaram a concluir essa tese e à minha esposa, Sara, pela
companhia, paciência e apoio incondicional em todas as etapas.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Antônio Eduardo Clark Peres, pelo apoio, sugestões e acompanhamento em todas as etapas do trabalho.

Ao Engenheiro Antônio Neves Santana pelo apoio perante à CSN, incentivando-nos a buscar uma melhor qualificação profissional.

Aos nossos colegas de trabalho do Laboratório da Mineração Casa de Pedra, em especial ao Paulo Penha Santana e Rafael Silva Marcelino pelo apoio na execução dos testes de flotação.

Aos funcionários da Biblioteca da CSN na Usina Presidente Vargas pelo apoio recebido durante à etapa de pesquisa bibliográfica.

Aos Engenheiros Tiago Claret Santiago e Luciano Rocha pelo apoio e incentivo recebidos.

À CSN, na figura do seu ex-diretor Antônio Alberto Froes Schettino, por ter me liberado para me dedicar a essa Tese, bem como colocado à disposição o laboratório da Mineração Casa de Pedra para execução dos testes e análises.

A todos aqueles funcionários da CSN e amigos que me incentivaram e contribuíram com sugestões no sentido de enriquecer as informações aqui divulgadas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVOS.....	03
3. A CSN – MINERAÇÃO CASA DE PEDRA.....	05
3.1. Histórico.....	05
3.2. O beneficiamento do minério.....	10
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
4.1. Aplicação de reagentes de flotação apolares.....	16
4.2. Propriedades físicas e físico-químicas básicas dos hidrocarbonetos relacionadas à sua aplicação como reagentes de flotação apolares.....	23
4.3. Hidrofobicidade dos minerais com coletores apolares.....	36
4.3.1. Adesão durante interação entre coletores apolares e minerais.....	42
4.3.2. Adsorção de coletores apolares na superfície dos minerais.....	53
4.3.3. Adesão de hidrocarbonetos individuais na superfície de oxi-minerais e minerais sulfetados.....	63
4.3.4. Estudos de flotação com produtos comerciais.....	69
4.4. O uso de óleos apolares para flotação.....	73
4.4.1. A emulsificação dos óleos apolares.....	73
4.4.2. A influência da viscosidade dos óleos apolares nas suas propriedades de flotação.....	92
4.4.3. A dispersividade das emulsões.....	105
4.4.4. A influência dos reagentes apolares na formação da espuma.....	121
4.4.5. A toxicidade dos reagentes apolares.....	151
5. METODOLOGIA.....	158
5.1. A coleta e preparação das amostras.....	158

5.2.	Caracterização química	159
5.3.	A seleção dos óleos apolares.....	159
5.4.	A preparação das emulsões	164
5.5.	Estudos de concentração.....	167
6 .	CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA.....	169
6.1.	Introdução.....	169
6.2.	Metodologia.....	169
6.3.	Resultados.....	170
6.4.	Considerações finais.....	173
7 .	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	182
7.1	Caracterização química.....	182
7.2	Estudos de concentração	182
8 .	CONCLUSÕES.....	187
9 .	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	189
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	190
	ANEXO I – Óleos combustíveis.....	202
	ANEXO II – Procedimento para teste de flotação em bancada.....	206
	ANEXO III – Seleção do emulsificante.....	211
	ANEXO IV – Seleção da proporção do emulsificante.....	219
	ANEXO V – Proporção do emulsificante em relação ao meio de dispersão.....	225
	ANEXO VI – Seleção do óleo apolar e da proporção de substituição da amina.....	228
	ANEXO VII – Seleção do método de preparação da emulsão.....	241

LISTA DE FIGURAS

- **Figura 3.1** - Fluxograma da planta de britagem.....11
- **Figura 3.2** - Fluxograma da planta de classificação.....12
- **Figura 3.3** - Fluxograma da planta de concentração.....13
- **Figura 3.4** - Macrofluxo geral do processo de beneficiamento14
- **Figura 4.1** ⁽³⁾ - O efeito do regime de reagente, tamanho da partícula e composição da partícula (peso específico) na recuperação de um carvão de Kittanning.....19
- **Figura 4.2** ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a viscosidade dos óleos apolares produzidos com o petróleo de baixo enxofre de Baku (1) e do petróleo do leste da Rússia que contém enxofre (2).....32
- **Figura 4.3** – Dependência da viscosidade dos óleos com a temperatura.....40
- **Figura 4.4** – Molhabilidade da superfície de um mineral (3) por uma gota de reagente apolar (2) em uma fase aquosa (1).....43
- **Figura 4.5** – Arranjo das moléculas de óleo na superfície de um mineral.....50
- **Figura 4.6** ⁽²⁾ – Dependência dos dados experimentais e calculados da energia potencial de adsorção de n-alcenos nos planos basais da grafita com o número de átomos de carbono (n) na molécula.....58
- **Figura 4.7** – Influência da viscosidade e natureza química dos hidrocarbonetos na molhabilidade da hematita em meio aquoso.....65
- **Figura 4.8** ⁽²⁾ – Dependência da dispersividade de uma emulsão de benzeno com a concentração de reagente emulsificante.....86
- **Figura 4.9** ⁽²⁾ – Dependência da dispersividade (1,2) e da densidade ótica (3,4,5) de uma emulsão do óleo IS-45 com a concentração do reagente emulsificante.....87
- **Figura 4.10** ⁽²⁾ – Dependência da dispersividade e densidade ótica das emulsões (C = 0.005%) com a viscosidade dos óleos que estão sendo emulsificados.....89

- **Figura 4.11** ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita de Krivoi-Rog com a viscosidade dos hidrocarbonetos individuais de vários tipos.....96
- **Figura 4.12** ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a viscosidade do óleo e o tempo de mistura.....99
- **Figura 4.13** ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a viscosidade dos óleos apolares a vários tempos de mistura.....100
- **Figura 4.14** ⁽²⁾ – Dependência dos resultados de flotação de rejeitos da planta de separação magnética de Gubkin (17,23% Fe) com a viscosidade dos óleos apolares e com o tempo de mistura.....101
- **Figura 4.15** ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita de vários tamanhos com a viscosidade dos óleos apolares.....102
- **Figura 4.16** ⁽²⁾ – Influência do tamanho da partícula de martita na flotabilidade com vários óleos apolares.....104
- **Figura 4.17** ⁽²⁾ – Dependência da recuperação de carvão (1) e de cobre (2) com a dispersividade das emulsões de óleo.....106
- **Figura 4.18** ⁽²⁾ – Dependência da densidade ótica das emulsões do óleo IS-45 com suas dispersividades (1) e com a quantidade do óleo emulsificado (2).....110
- **Figura 4.19** ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita e do consumo do óleo apolar IS-45 com a dispersividade de suas emulsões.....111
- **Figura 4.20** ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a dispersividade das emulsões do óleo IS-45.....113
- **Figura 4.21** ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a área de superfície da interface óleo-água em unidades arbitrárias.....114
- **Figura 4.22** ⁽²⁾ – Influência dos óleos apolares na recuperação da martita com emulsões de ácido naftênico (**C** – concentração de óleo com relação ao ácido naftênico).....117
- **Figura 4.23** ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a dispersividade e consumo do óleo IS-45.....118

- **Figura 4.24** ⁽²⁾ – Influência das adições de hidrocarbonetos na estabilidade da espuma produzida por vários reagentes espumantes com um grupo hidrofílico OH.....133
- **Figura 4.25** ⁽²⁾ – Influência das adições de hidrocarbonetos na estabilidade da espuma formada por ácido oléico (1) e por isoácido (2).....134
- **Figura 4.26** ⁽²⁾ – Influência das adições de hidrocarbonetos na estabilidade da espuma formada por diferentes reagentes espumantes.....135
- **Figura 4.27** ⁽²⁾ – Influência das adições de hidrocarbonetos na estabilidade da espuma formada por piridina pesada (1) e por piridina pura (2).....136
- **Figura 4.28** ⁽²⁾ – Cinética da extração do cobre (a) e de molibdênio (b) durante flotação com óleo de pinho e adição de hidrocarbonetos.....143
- **Figura 4.29** ⁽²⁾ – Cinética da extração de molibdênio (1-5) e de cobre (6-10), durante a flotação de um minério de cobre-molibdênio, com adição do reagente espumante DS, reagente coletor DB e hidrocarbonetos apolares.....144
- **Figura 4.30** ⁽⁷⁾ – Fluxograma do beneficiamento da mina de “Four Corners”– Flórida, USA.....153
- **Figura 4.31** ⁽⁷⁾ – Taxas de biodegradabilidade de vários reagentes.....154
- **Figura 5.1** – Fluxograma dos procedimentos adotados para a caracterização mineral.....160
- **Figura 6.1** – Fotomicrografias da fração +45 μ m (A) e amostra global (B).....174
- **Figura 6.2** – Fotomicrografias da fração +150 μ m (A e B).....175
- **Figura 6.3** – Fotomicrografias da fração +45 μ m (A e B).....176
- **Figura 6.4** – Fotomicrografias da fração +150 μ m (A) e amostra global (B)...177
- **Figura 6.5** – Fotomicrografias da fração +150 μ m (A) e fração +75 μ m (B).....178
- **Figura 6.6** – Fotomicrografias da fração +150 μ m (A e B).....179
- **Figura 6.7** – Fotomicrografias da amostra global (A eB).....180
- **Figura 6.8** – Fotomicrografias da fração +75 μ m (A) e +45 μ m (B).....181

LISTA DE TABELAS

- **Tabela II.1**⁽³⁾ – Minerais típicos recuperados utilizando óleos apolares.....04
- **Tabela III.1** – Consumo específico de reagentes.....15
- **Tabela IV.1**⁽⁴⁾ – Características dos processos de separação usando óleos apolares.....17
- **Tabela IV.2**⁽³⁾ – Tipos de produtos de petróleo.....25
- **Tabela IV.3**⁽³⁾ – Propriedades de óleos típicos dos USA.....29
- **Tabela IV.4**⁽²⁾ – Nomenclatura e viscosidade de alguns óleos minerais soviéticos.....30
- **Tabela IV.5** – Tensão de superfície (erg/cm^2) de produtos de petróleo na interface com ar e água.....34
- **Tabela IV.6** – Tensão de superfície (erg/cm^2) de hidrocarbonetos individuais na interface com ar e água.....34
- **Tabela IV.7**⁽²⁾ – Coeficiente de espalhamento K para vários líquidos em contato com água.....45
- **Tabela IV.8**⁽²⁾ – Energia de adesão (erg/cm^2) para vários pós minerais em água e líquidos orgânicos.....47
- **Tabela IV.9**⁽²⁾ – Estrutura das camadas vizinhas formadas por compostos heteropolares na presença de óleo.....51
- **Tabela IV.10**⁽²⁾ – Polarizabilidade.....55
- **Tabela IV.11**⁽²⁾ – Influência da viscosidade dos hidrocarbonetos no ângulo de contato.....66
- **Tabela IV.12**⁽²⁾ – Influência da composição dos hidrocarbonetos na flotação da martita.....71
- **Tabela IV.13**⁽²⁾ – Tempo de coalescência de emulsões monodispersas (a 18°C).....77

- **Tabela IV.14** ⁽²⁾ – Espessura das camadas de adsorção nas emulsões com diferentes reagentes emulsificantes.....81
- **Tabela IV.15** – Influência do comprimento dos radicais dos sais de ácidos graxos de trietanolamina na espessura do filme de adsorção e área de superfície para emulsões extremamente concentradas de benzeno-água.....83
- **Tabela IV.16** ⁽²⁾ – Propriedades dos óleos e suas emulsões.....94
- **Tabela IV.17** ⁽²⁾ – Propriedades dos coletores heteropolares usados97
- **Tabela IV.18** ⁽²⁾ – Propriedades das emulsões preparadas com o óleo IS-45 e as condições para a preparação das mesmas109
- **Tabela IV.19** ⁽²⁾ – Influência da superfície da fase oleosa adicionada na máquina de flotação na recuperação da martita.....115
- **Tabela IV.20** ⁽²⁾ – Influência da viscosidade dos óleos apolares e da dispersividade de suas emulsões nos resultados de flotação.....120
- **Tabela IV.21** ⁽²⁾ – Influência de vários hidrocarbonetos nas espumas formadas.....128
- **Tabela IV.22** ⁽²⁾ – A influência dos reagentes apolares na estabilidade da espuma.....138
- **Tabela IV.23** ⁽²⁾ – A estabilidade das espumas bifásicas contendo hidrocarbonetos apolares.....141
- **Tabela IV.24** ⁽²⁾ – A influência dos óleos apolares na tensão de superfície da interface gás-líquido e na estabilidade da espuma produzida por diferentes reagentes espumantes.....146
- **Tabela IV.25** ⁽²⁾ – A influência dos reagentes apolares na densidade ótica (em mV) das misturas aeradas de água e reagentes espumantes.....149
- **Tabela IV.26** ⁽²⁾ – Especificações dos óleos combustíveis.....152
- **Tabela VI.1** – Resultados da análise por DRX.....170
- **Tabela VI.2** – Porcentagem em peso do minerais, obtidos por MO.....171
- **Tabela VII.1** – Resultados da análise química da amostra global e frações ..182

- **Tabela VII.2** – Resultados do testes de flotação para seleção do emulsificante.....183
- **Tabela VII.3** – Seleção da proporção de emulsificante em relação a fase dispersa.....184
- **Tabela VII.4** – Proporção do emulsificante em relação ao meio de dispersão.....184
- **Tabela VII.5** – Seleção do óleo apolar e da proporção de substituição da amina.....185
- **Tabela VII.6** – Seleção do método de preparação da emulsão.....186
- **Tabela AI.1** ⁽⁹⁾ – Principais características típicas dos óleos combustíveis tipo “A”205
- **Tabela AI.2** ⁽⁹⁾ – Principais características típicas dos óleos combustíveis tipo “B”205

RESUMO

Os principais coletores utilizados na flotação catiônica reversa dos minérios de ferro pertencem ao grupo das aminas, mais especificadamente das eteraminas. Adicionalmente são empregados depressores (amido), dispersantes, reguladores de pH etc. O custo desses reagentes responde pela maior parte do custo do processo de flotação, sendo o custo com o coletor (eteramina) o maior. Logo, a busca de coletores ou combinações de coletores que possam reduzi-lo é prática constante nas pesquisas realizadas.

Este trabalho apresenta os estudos que foram empreendidos com o objetivo de definir, em escala de bancada, a viabilidade técnica e econômica de se substituir parte da amina por óleo combustível, mantendo-se a mesma qualidade do concentrado e performance do processo de flotação.

O trabalho foi desenvolvido, em um primeiro estágio, buscando-se selecionar o emulsificante e a proporção do mesmo em relação à fase dispersa (óleo) mais adequados ao processo, em seguida buscou-se selecionar o óleo apolar e a proporção de substituição do mesmo em relação à amina, para finalmente analisar a influência dos métodos de emulsificação nos resultados dos ensaios de flotação.

As principais variáveis analisadas nos testes de flotação foram: teor de sílica no concentrado, teor de ferro no rejeito, recuperações mássica e metalúrgica e índice de seletividade de “Gaudin”.

A meta proposta foi atingida, conseguindo-se uma substituição de 20% da amina por óleo diesel, sendo que essa mistura foi emulsificada mecanicamente empregando-se o emulsificante Tergitol TMN-10, da Dow Química, na proporção de 5% da fase dispersa.

ABSTRACT

The main collectors utilized in the reverse cationic flotation of iron ores belong to the amines group, more specifically the etheramines. In addition, depressants (starches), dispersants, pH modulators, etc. are also employed. The cost of these reagents represents the major expense of the flotation process, the collector (amine) cost being the major item. Therefore, the search for less expensive collectors or collector combinations is a common practice of investigations.

This thesis presents the studies performed aiming at defining, in bench scale, the technical and economical feasibility of replacing part of the amine by a fuel oil, keeping the quality of the concentrate and the flotation process performance.

The work was developed, in a first stage, searching for the emulsifier, and its proportion with respect to the disperse phase (oil) more adequate to the process, followed by the selection of the non polar oil, and the proportion of substitution with respect to amine. Finally the influence of the emulsification method on the flotation tests results was assessed.

The main responses that were considered in the flotation tests were: silica content in the concentrate, iron grade in the tailings, weight and metallurgical recoveries in the concentrate and Gaudin's selectivity index.

The proposed target was reached. A level of amine substitution by diesel oil of 20% possible, the mixture being mechanically emulsified in the presence of the emulsifier Tergitol TMN-10 (Dow Chemical), in a proportion of 5% of the disperse phase.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas sobre a flotação de minério de ferro, em bancada ou em planta piloto, tiveram início em 1931. A maior parte dessas pesquisas foi sobre minério de ferro contendo ganga silicatada, o qual é considerado o mais abundante tipo do mundo, com teor mínimo de 30 a 35% de ferro ⁽¹⁾.

Sabe-se que existe uma enorme variedade de minérios de ferro, principalmente de itabiritos. Logo, nem todas essas variedades podem ser tratadas da mesma maneira. No caso da flotação desses minérios, a prática industrial tem demonstrado que a do tipo reversa é a que leva aos melhores resultados; porém cada associação entre a sílica e a hematita é diferente; por isso existirão reagentes, ou combinação de reagentes, adequados para cada caso.

Os principais coletores utilizados na flotação reversa dos minérios de ferro pertencem ao grupo das aminas, mais especificadamente das eteraminas. As diaminas e combinações de coletores, como por exemplo o uso de extensores de cadeia (reagentes apolares – óleos combustíveis), vêm merecendo atualmente, para a concentração de minério de ferro por flotação, a atenção dos pesquisadores.

Apesar do fato de reagentes apolares serem usados na indústria de mineração há muito tempo, ainda se utilizam quantidades muito menores que a esperada considerando-se suas vantagens técnicas e econômicas, comparando-se com os coletores da classe dos surfatantes ou espécies heteropolares, ou seja: baixo preço, disponibilidade, habilidade para flotar tanto sulfetos como oxi-minerais etc.⁽²⁾

Reagentes apolares têm uma composição química complexa, e suas propriedades físicas e químicas e ação durante a flotação de óxidos de ferro e sílica não foram

ainda suficientemente investigadas. Assim, o uso destes tão valiosos coletores tem sido, portanto, bem limitado.

Uma vez que o efeito de óleos apolares na flotação depende não somente da sua composição química, como também das condições de sua preparação antes da flotação, será dada bastante atenção ao processo de emulsificação destes óleos. Também será apresentado como a flotação poderá ser influenciada pelos seguintes fatores: propriedades físicas dos óleos (especialmente sua viscosidade), a natureza e concentração de agentes emulsificantes, a composição química etc.

No presente trabalho será utilizada a flotação reversa, para comparar a eficiência da combinação de coletores catiônicos (amina) com extensores de cadeia (óleos combustíveis), de diversas composições e viscosidades. Além disso, estaremos estudando a influência da emulsificação dos óleos no processo de flotação, bem como a relação dos resultados da flotação com o tipo e viscosidade dos óleos empregados.

2. OBJETIVOS

Objetiva-se com esse trabalho mostrar a viabilidade técnica e econômica de se empregar óleos combustíveis (reagentes apolares) como extensores de cadeia na flotação catiônica reversa de minério de ferro.

Coletores apolares usados em adição com coletores heteropolares e ionogênicos são chamados de reagentes auxiliares ou extensores (“extenders”) de cadeia. Essa designação reforça a função secundária dos coletores apolares, reagentes auxiliares para o coletor polar .

Coletores apolares são usados como reagentes na flotação de diferentes tipos de minérios. Alguns exemplos típicos são dados na tabela II.1 ⁽³⁾.

Na literatura são bastantes escassos os dados referentes a combinações de amina com óleos apolares utilizados na flotação catiônica reversa de minérios de ferro.

Em vista disto, os objetivos desse trabalho serão os seguintes:

- 1 – Os estudos dos efeitos causados, na recuperação e no teor, pela utilização de diferentes combinações de amina com óleos apolares nos ensaios de flotação, onde as principais variáveis estudadas serão: relação amina/óleo apolar, tipo de óleo utilizado, tipo de emulsificante e na dosagem da combinação dos reagentes;
- 2 – Influência da emulsificação no processo de flotação;
- 3 – Análise da influência do tipo e viscosidade dos óleos apolares nos resultados dos ensaios de flotação.

Tabela II.1 ⁽³⁾ - Minerais típicos recuperados utilizando óleos apolares.

Tipo de Mineral	Mineral
Naturalmente hidrofóbico	Carvão, grafita, enxofre e molibdenita.
Sulfetos fracamente hidrofóbico	Calcopirita.
Silicatos hidrofílicos	Mica, feldspato e espodumênio.
Oxidos hidrofílicos	Hematita e ilmenita.
Sulfetos hidrofílicos oxidados	Malaquita.
Minerais hidrofílicos tipo sal	Fosfatos.

3. A CSN – MINERAÇÃO CASA DE PEDRA

3.1. Histórico

Criada em 9 de abril de 1941, por decreto do então presidente da República Getúlio Vargas, a CSN iniciou suas atividades em 1946.

Precursora na industrialização brasileira ao inaugurar a produção doméstica de aço em larga escala, a CSN combina a operação siderúrgica com a auto-suficiência na produção de minério de ferro e fundentes metalúrgicos, geração de energia, transporte ferroviário e operações portuárias. Isso faz da empresa o mais abrangente complexo siderúrgico integrado da América Latina.

A partir da Usina Presidente Vargas, em Volta Redonda, no Estado do Rio de Janeiro, a CSN produz laminados a frio e a quente, galvanizados e folhas metálicas. Com esse variado “mix”, a CSN pode atender importantes segmentos de mercado, no Brasil e no exterior, com destaque para o automobilístico, a construção civil, utilidades domésticas e o de embalagens.

A companhia é a única siderúrgica no Brasil a produzir folhas-de-flandres e a primeira no mundo em volume de produção desse material em uma só planta industrial.

Uma das maiores vantagens competitivas da CSN é a integração de suas operações: mineração, produção siderúrgica, escoamento e distribuição. Como a empresa controla e realiza todas as etapas, são geradas efetivas oportunidades de aumentar a produtividade e operar com um dos menores custos do mercado mundial.

Minas, usina e porto estão interligados pela MRS Logística e pela Ferrovia Centro Atlântica (FCA), que garantem eficácia e segurança no transporte e

desempenham papel estratégico na logística da CSN. Com o objetivo de fortalecer a integração entre unidades, a empresa adquiriu participação acionária nessas duas concessionárias de transporte ferroviário.

A qualidade das matérias-primas é um componente muito importante. Para se fazer aço, é preciso reunir minério de ferro de alta qualidade, fundentes metalúrgicos (calcário e dolomito - usados para facilitar a fusão dos componentes a altas temperaturas), coque (obtido a partir do carvão, utilizado como combustível dos altos-fornos e redutor do minério de ferro) e sucata.

Das minas da Bocaina (Arcos-MG) e Casa de Pedra (Congonhas - MG) são extraídos, respectivamente, fundentes metalúrgicos e minério de ferro, que abastecem a Usina Presidente Vargas e asseguram sua auto-suficiência. Calcário, dolomito e minério de ferro são, ao lado do carvão mineral (produto importado), as matérias-primas para a produção do gusa, obtido através de uma operação de redução nos altos-fornos na Usina Presidente Vargas.

O início das operações da Mineração Casa de Pedra data de 1913. O empreendimento pertencia ao grupo alemão A. Thum e, com a criação da CSN, em 1941, a mina foi desapropriada e incorporada ao patrimônio da União. Podemos enumerar os seguintes fatos históricos para a CSN - Mineração Casa de Pedra:

Fatos marcantes

1913 - Início da atividade de mineração pelo Grupo A. Thum

1941 - Criação da CSN

1945 - A mina é desapropriada do Grupo A. Thum pelo governo federal

1950 - Início da lavra mecanizada

1980 - Investimento de 150 milhões de dólares na ampliação das instalações, que possibilitou atingir 6×10^6 toneladas / ano

1993 - Implantação Usina de Concentração de Finos, elevando a capacidade de produção para $8,5 \times 10^6$ t / ano

1997 - Elevação da capacidade instalada para $12,6 \times 10^6$ toneladas / ano

2002 - Elevação da capacidade instalada para $14,3 \times 10^6$ toneladas / ano

O complexo mineral de Casa de Pedra situa-se na porção sudoeste da Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero. Os principais tipos de minério são: hematitas, itabiritos e itabiritos manganésíferos. Casa de Pedra está localizada no município de Congonhas do Campo, Patrimônio Histórico da Humanidade, localizada a 80 km ao sul de Belo Horizonte (MG). Os minérios encontrados na Mina Casa de Pedra são constituídos por formações ferríferas bandadas de fácies óxido (intercalação de lâminas ricas em quartzo e lâminas predominantemente hematíticas). Essencialmente, os minérios de Casa de Pedra são representados por hematitas e itabiritos ricos, rochas que apresentam teores de ferro variando entre 58 e 67%, envolvidos por massas de itabiritos intermediários a pobres, com teores de ferro abaixo de 58%. A mineração está dividida em duas áreas de extração: o Corpo Principal e o Corpo Oeste. As principais ocorrências de hematitas estão concentradas no Corpo Principal enquanto que na área do Corpo Oeste a ocorrência de itabiritos é mais marcante.

O método de lavra é em bancadas a céu aberto, com remoção do material estéril, perfuração, desmonte, carga e transporte do minério. A lavra é realizada de forma descendente, em níveis horizontais e em bancadas de 13m de altura e bermas de, em média, 8m de largura. Os ângulos de talude variam entre 36 e 45°, conforme a litologia e os parâmetros geotécnicos pertinentes.

O sistema de drenagem subterrânea da mina é composto por um sistema de sete poços de monitoramento, com uma vazão total máxima da ordem de $800\text{m}^3/\text{h}$. A água bombeada é reutilizada no processo de beneficiamento.

Com relação à drenagem superficial, as águas incidentes na área da mina são direcionadas para a barragem do Lagarto ou para a barragem B6, através do córrego Casa de Pedra. O sistema de drenagem é composto por canaletas de drenagem ao longo das vias de acesso, descidas d'água escalonadas e diques de contenção de finos. Encontra-se em revisão o Plano Diretor de Barragens, que tem como objetivo a adequação de todo o sistema de drenagem superficial e contenção de finos da área da Mineração Casa de Pedra.

Para permitir a lavra de materiais de características diferentes e ainda assim garantir a alta qualidade dos produtos, é adotado nas duas minas um programa de blendagem (mistura de diferentes tipos de minério), definido a partir do plano de lavra. Da extração ao embarque do minério são, regularmente, recolhidas amostras e avaliadas. A última amostragem acontece sempre no carregamento dos vagões das composições ferroviárias. Os resultados garantem que todos os produtos atendam a qualidade (especificação) requerida pelos clientes.

O respeito ao meio ambiente é uma Missão da CSN. Em novembro de 2000, a empresa comemorou a conquista da certificação ISO 14001 por Casa de Pedra. Em Casa de Pedra são adotadas medidas permanentes de controle ambiental, como o monitoramento das águas e efluentes líquidos, plantio de cortinas arbóreas nas áreas industriais e a reabilitação de áreas degradadas através do plantio de espécies nativas, entre outras. Atividades de conscientização, para empregados, familiares e para a comunidade, são realizadas através do Centro de Educação Ambiental (Casa de Pedra) e do Núcleo Museológico da Reserva Ecológica de Corumbá (Mineração da Bocaina). Outras iniciativas importantes são a adoção da coleta seletiva e de processos de reciclagem e reutilização de resíduos industriais e outros materiais (sucatas, pneus, madeiras, óleos, baterias, papel etc.).

A segurança do trabalho é uma prioridade absoluta e constante. É uma crença da Missão CSN “proporcionar aos empregados um ambiente de trabalho saudável e

seguro”. Por traz de cada equipamento, modificação nas instalações operacionais, expansão de unidades de produção e abertura de frentes de lavra está a preocupação permanente da empresa em por fim às condições e situações de risco. O Programa de Melhoria Contínua da Segurança (PMCS) é o modelo de gestão adotado pela CSN. Esta não é uma ação isolada. O programa tem como meta reunir, ao logo do tempo, todas as ações de segurança exigidas pela legislação, como, por exemplo, a NR-22: norma que trata da segurança e saúde no trabalho.

A CSN acredita que a qualidade dos produtos, assim como a lucratividade, está em estreita harmonia com o aperfeiçoamento, permanente, das condições de trabalho. Assegurar um ambiente seguro e agradável é um compromisso da empresa.

3.2. O beneficiamento do minério

O processo de beneficiamento inclui todas as etapas necessárias para a obtenção de diferentes tipos de minério de ferro, gerando produtos (carga metálica) para a Usina de Volta Redonda e mercado interno. As etapas de beneficiamento incluem britagem, peneiramento e homogeneização (figura 3.1), classificação (figura 3.2) e concentração (figura 3.3).

Os principais produtos gerados na Mineração de Casa de Pedra são: granulado, “hematitinha”, *sinter feed* e *pellet feed*. Os produtos granulados e *sinter feed*, oriundos da planta de classificação, são conduzidos ao pátio de estocagem e embarque ferroviário por meio de transportador de correia (*Cable Belt*). A hematitinha é transportada por meio de caminhões, enquanto que o *pellet feed*, oriundo da planta de flotação, segue através de um mineroduto para planta de filtragem e, posteriormente, é empilhado para embarque ferroviário.

Os rejeitos da ciclonagem e flotação, e demais efluentes, são lançados em um sistema de barragens de sedimentação.

O macrofluxo atualizado de todo o processo de beneficiamento é apresentado na Figura 3.4 e o consumo de reagentes da planta de flotação é apresentado na tabela III.1.

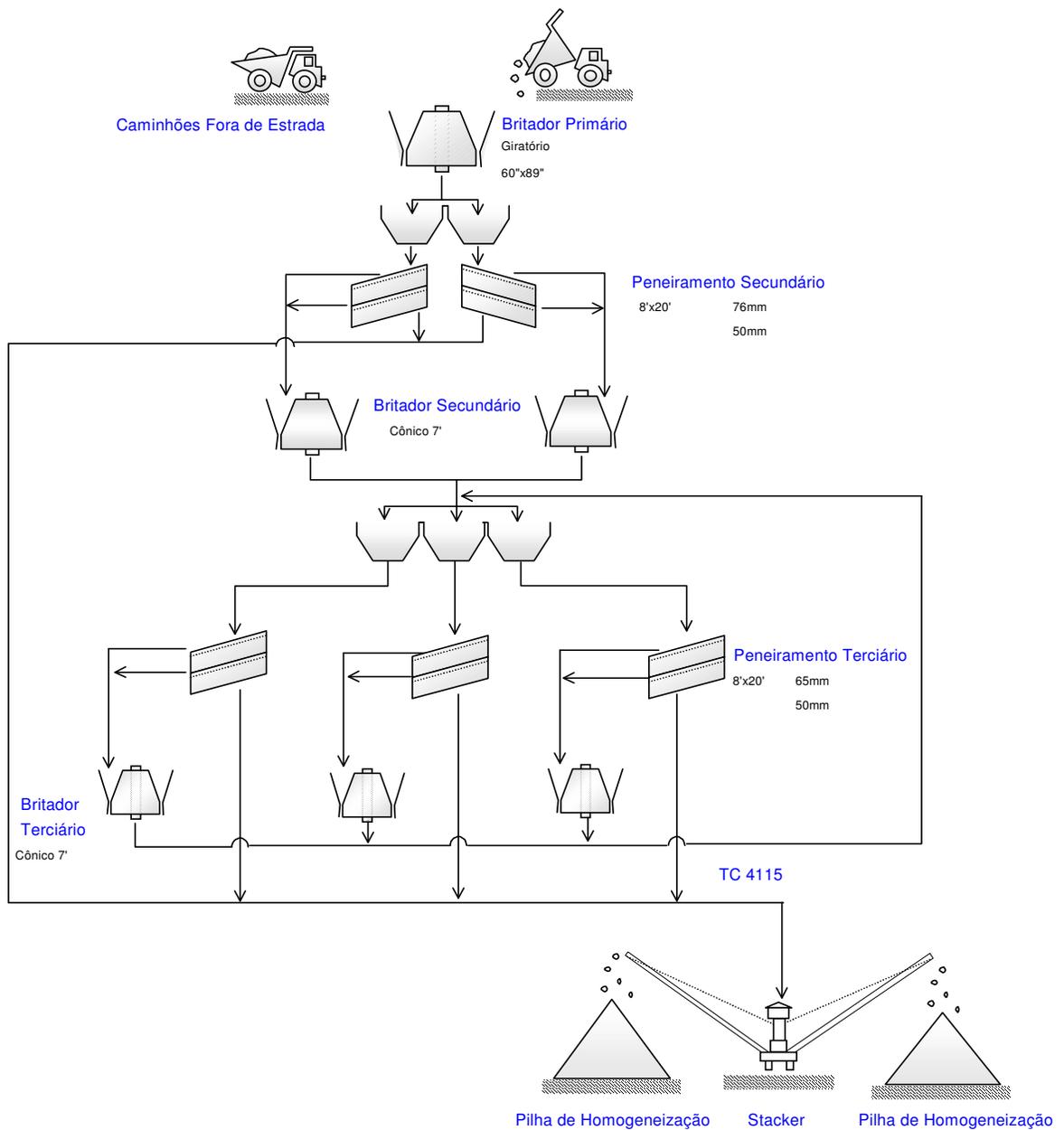


Figura 3.1 - Fluxograma da planta de britagem, peneiramento e homogeneização.

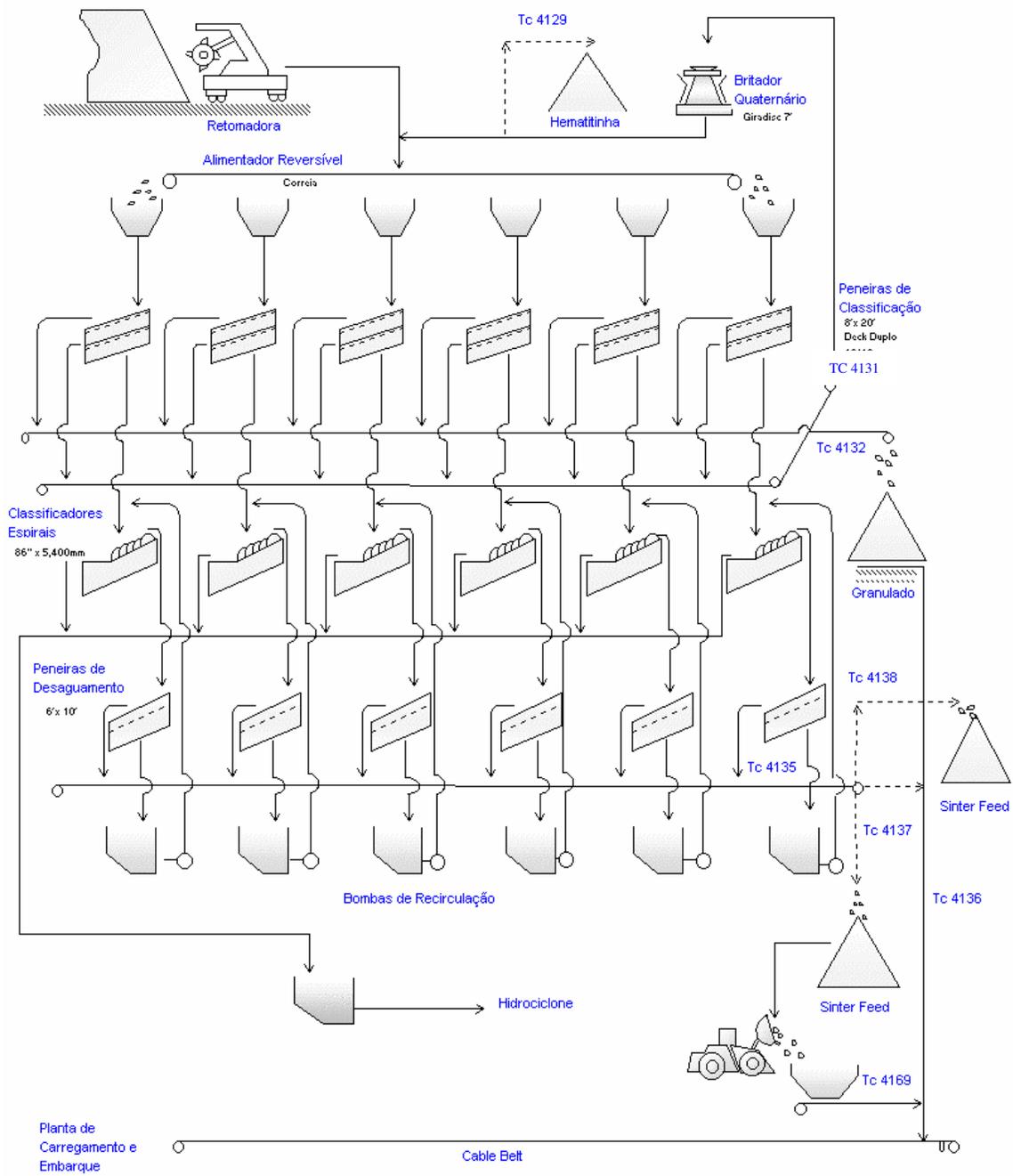


Figura 3.2 - Fluxograma da planta de classificação.

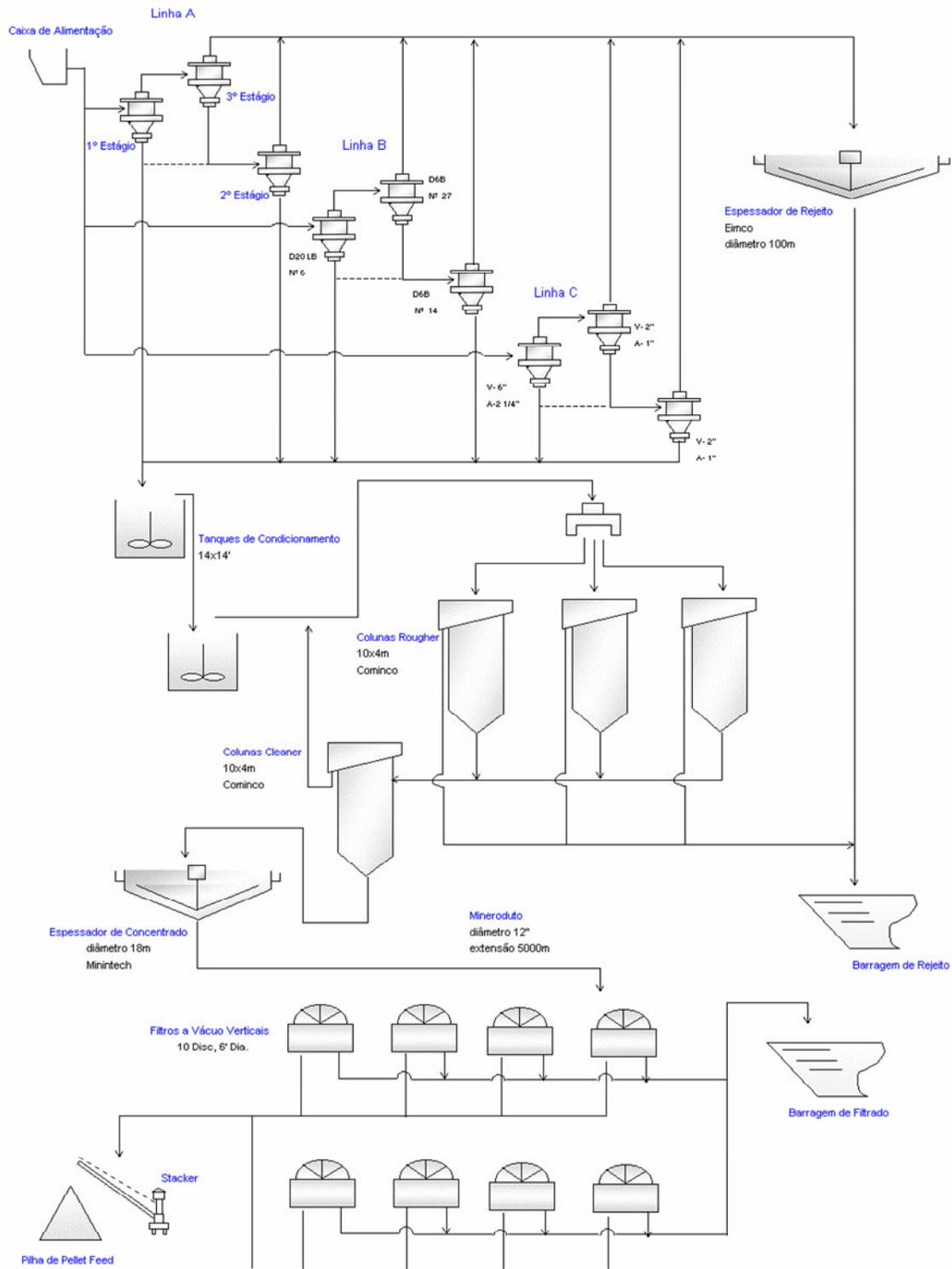


Figura 3.3 - Fluxograma da planta de concentração.

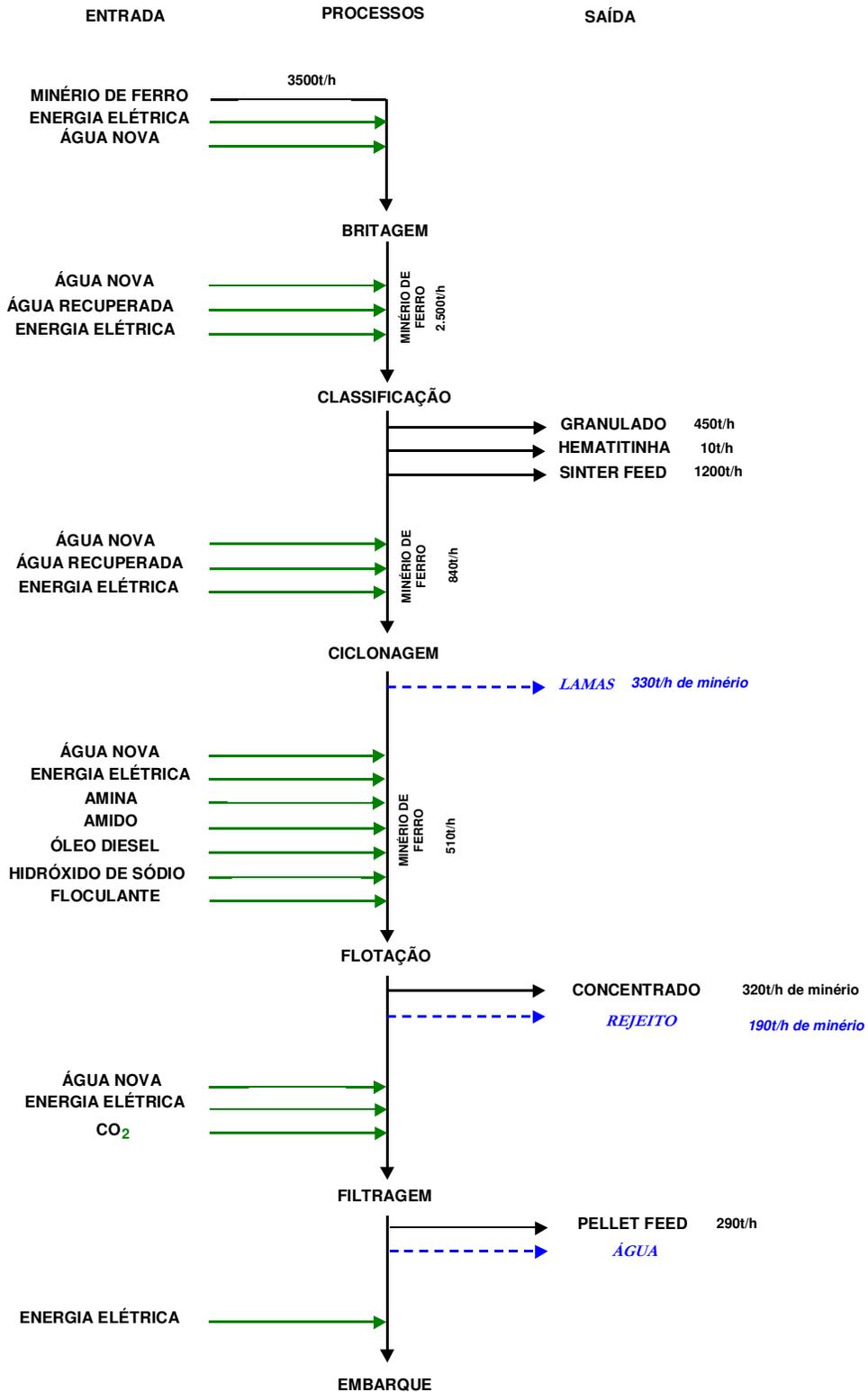


Figura 3.4 - Macrofluxo geral do processo de beneficiamento.

Tabela III.1 - Consumo específico de reagentes

Reagentes	Consumo*
Amina	51 g/t de alimentação da flotação
Amido	546 g/t de alimentação da flotação
Óleo diesel	11,1 g/t de alimentação da flotação
Hidróxido de sódio	151 g/t de alimentação da flotação
Floculante	2,64 g/t de produto da flotação

* média de janeiro a novembro de 2002

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Aplicação de reagentes de flotação apolares

Relativamente poucos dos coletores usados atualmente na indústria pertencem ao grupo apolar. O número de minerais extraídos por esses coletores é pequeno.

Existem diversas formas para aplicação dos óleos apolares nos processos de concentração de partículas minerais. Podemos distinguir 04 técnicas com base na dosagem requerida do óleo apolar, ou seja:

- flotação simples com extensor de cadeia mais coletor;
- flotação por emulsão (“emulsion flotation”);
- aglomeração esférica (“spherical agglomeration”);
- separação de dois-líquidos (“pigment flushing”).

A tabela IV.1 ⁽⁴⁾ mostra algumas características destas técnicas.

Será enfatizada neste trabalho somente a técnica de flotação com extensor de cadeia mais coletor, onde óleos apolares, empregados em quantidades limitadas, usados em adição com coletores heteropolares ou ionogênicos, serão designados como extensores de cadeia.

Diversas vantagens têm sido observadas como resultado do uso de óleos apolares como reagentes de flotação. Todas ou somente algumas dessas vantagens podem ser observadas em alguns casos particulares. Essas vantagens são as seguintes ⁽³⁾:

1 – redução da dosagem de coletor requerida. Isso resulta da co-adsorção do óleo e do coletor nas superfícies dos minerais. Como os óleos apolares são reagentes mais baratos, uma considerável redução de custo pode ser alcançada;

Tabela IV.1 ⁽⁴⁾ - Características dos processos de separação usando óleos apolares.

Técnica	Adição de óleo equivalente a:	Consumo de óleo, kg/t	Condicionamento	Método de Separação
Flotação com Coletor/extensor	Monocamada	0,05 a 0,5*	Regular	Flotação
Flotação por emulsão	Dezenas de Camadas	2 a 50**	Intenso	Flotação
Aglomeración esférica	Volume de vazios	50***	Espalhamento lento	Peneiramento
Separação de dois líquidos	Poucas vezes o volume dos sólidos	50***	Intenso	Separação de fases

* R. Stratton-Crawley (5) sugere um consumo de óleo de 0 a 1,5 kg/t
** Depende da Granulometria das partículas
*** Se a recuperação do óleo é praticada

2 – aumento da taxa de hidrofobicidade do mineral recuperado devido à melhoria da adesão bolha-partícula. Isso pode resultar em uma espuma mais mineralizada, a qual é drenada mais facilmente e, também, reduz o arraste inicial de partículas finas de ganga, pela redução do tempo de retenção necessário. Esses efeitos resultam numa melhoria na seletividade do processo;

3 – em alguns casos, a super-espumação devido à presença de lamas pode ser reduzida ou eliminada. Isso resulta dos fenômenos como aglomeração das lamas ou baixa dosagem do coletor;

4 – recuperação de partículas grossas pode ser melhorada sem um contínuo aumento na recuperação de partículas indesejáveis, o que tipicamente acompanha o aumento nas dosagens do coletor. Esse efeito é ilustrado pelos dados mostrados na figura 4.1 ⁽³⁾, onde aumentando-se a dosagem do óleo combustível aumentou-se a recuperação de partículas grossas difíceis de flotar, sem significativo aumento na recuperação de partículas de ganga.

A principal fonte dos coletores apolares é a destilação fracionada do petróleo (óleo bruto), o qual é uma mistura não uniforme e altamente complexa de hidrocarbonetos e derivados de hidrocarbonetos, variando em peso molecular do metano ao betume pesado.

As moléculas dos óleos apolares não contêm grupos solidofílicos e, portanto, elas não podem ficar bem fixadas quimicamente à superfície dos minerais. Estes compostos são hidrocarbonetos líquidos, e sua ligação à superfície dos minerais é devido às forças de van der Waals ⁽²⁾.

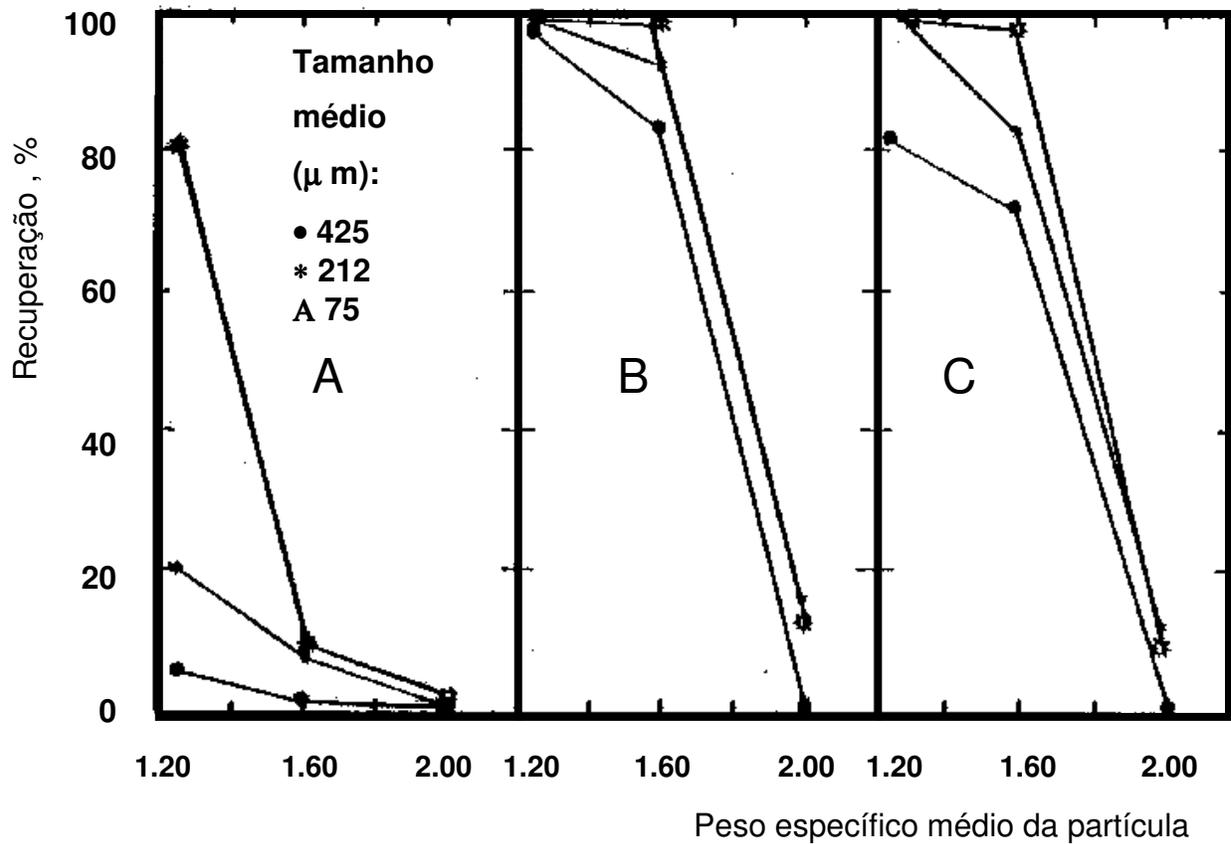


Figura 4.1 ⁽³⁾ - O efeito do regime de reagente, tamanho da partícula e composição da partícula (peso específico) na recuperação de um carvão de Kittanning. Espumante: 1 gota de MIBC. Coletor: Óleo combustível nº 2 – **A** – 1 gota, **B** – 8 gotas e **C** – 16 gotas.

Essas características dos óleos apolares explicam porque eles podem ser amplamente aplicados na flotação de minerais os quais têm uma alta hidrofobicidade intrínseca. Se essa hidrofobicidade for insuficiente para a ligação dos coletores apolares, ela pode ser elevada pelo tratamento prévio do mineral com um coletor heteropolar.

Os óleos apolares ficam fixados na superfície dos minerais somente como gotas. A grande maioria dos pesquisadores que estudam este fenômeno consideram que o motivo mais provável para a fixação dos óleos nas superfícies hidrófobas é a molhabilidade seletiva. Tem-se estabelecido que quanto mais hidrófoba é a superfície do mineral, tanto melhor para a fixação do óleo. Para o mineral tratado com emulsão de óleos apolares, esse coletor se fixa em forma de lentes planas individuais dispostas nas cavidades e poros da superfície. O caráter descontínuo de fixação dos óleos apolares pode ser explicado pela molhabilidade seletiva daquelas partes da superfície do mineral que entram em contato direto com a gota de óleo durante a mistura.

Não existe um ponto de vista único acerca dos motivos da elevada flotação das misturas de minerais com óleos apolares. Tem-se diversas hipóteses, das quais as mais importantes são as seguintes ⁽⁵⁾:

1 – as bolhas de ar se fixam somente na superfície mineral coberta com uma película fina de hidrocarbonetos. Essa película aumenta a hidrofobicidade da superfície e a força de fixação à bolha de ar. A uma película grossa de óleo, a bolha não se adere;

2 – os óleos apolares se aderem nas partículas minerais em forma de gotas. Ao chocar-se com a bolha de ar, o óleo se espalha pelo perímetro trifásico, criando um menisco côncavo que, ao juntar-se a bolha de ar com a partícula mineral,

aumenta a força de aderência e a elasticidade do sistema mineral-bolha de ar, o que favorece a flotação de partículas minerais maiores;

3 – os hidrocarbonetos, adsorvendo-se na interface ar-água, reduzem bruscamente a tensão superficial, o que provoca a diminuição da pressão capilar dentro da bolha de ar e a redução da força de repulsão da superfície de contato da bolha e do mineral, ou seja, aumenta a força de aderência;

4 – os óleos apolares melhoram a flotabilidade das partículas maiores, principalmente, às custas da aceleração da ligação bolha de ar-partícula mineral. Esta suposição parte, em primeiro lugar, da observação que as forças de repulsão são consideravelmente maiores para partículas grandes; em segundo lugar, a velocidade de propagação do perímetro de molhabilidade pelo mineral hidrófobo é, pelo visto, o critério que determina a boa aderência das partículas grandes nas bolhas de ar.

Na presença de óleos apolares a velocidade de propagação do perímetro de molhabilidade aumenta às custas de: uma menor rugosidade da superfície coberta pelos hidrocarbonetos, das forças adicionais de atração cobertas pela concavidade dos meniscos do óleo dispostos pelo perímetro de contato da bolha de ar com o mineral e do aumento da hidrofobicidade (para as superfícies com fraca hidrofobicidade).

Posto que os óleos são particularmente insolúveis em água, é fácil certificar-se que o processo de molhabilidade seletiva é possível somente ao chocar-se diretamente a partícula com a gota de óleo. Como conseqüência, é necessária uma emulsão prévia dos óleos para elevar o número de gotas.

Também exerce influência sobre os resultados do enriquecimento o grau de dispersão da emulsão, o qual se seleciona, para cada caso de flotação, experimentalmente.

Em uma série de casos, para facilitar a emulsão dos óleos e provocar uma redução do gasto de reagentes, é preferível introduzir na flotação uma pequena porção de emulsificantes e, para limpar a superfície das gotas de óleo dos finos de ganga, se utilizam agentes peptizantes (inibidores de coagulação).

4.2. Propriedades físicas e físico-químicas básicas dos hidrocarbonetos relacionadas à sua aplicação como reagentes de flotação apolares ⁽²⁾

A principal fonte dos coletores apolares é o petróleo e os componentes mais importantes do petróleo são os hidrocarbonetos, os quais formam a mais importante e numerosa classe de compostos orgânicos, consistindo de carbono e hidrogênio. Os hidrocarbonetos podem ser divididos em compostos com uma cadeia aberta ou fechada de átomos em moléculas, e hidrocarbonetos com uma estrutura cíclica. Hidrocarbonetos com cadeias abertas podem ser sub-divididos em parafínicos (hidrocarbonetos saturados), também chamados alcanos (não possuindo nenhuma ligação dupla ou tripla entre os átomos), e hidrocarbonetos insaturados, os quais têm ligações duplas ou triplas.

Hidrocarbonetos cíclicos saturados são chamados polimetilenos ou naftenos. O grupo de hidrocarbonetos cíclicos com anel benzênico é chamado de hidrocarbonetos aromáticos.

Um outro grupo de hidrocarbonetos cíclicos são compostos heterocíclicos, com outros elementos além do carbono no anel, por exemplo, enxofre, nitrogênio ou oxigênio.

Exemplos de cada uma das classes acima são apresentados abaixo:

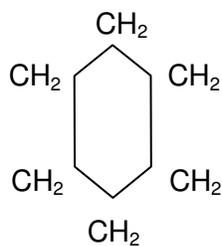
- Parafinas

1 – Butano (C₄H₁₀) - CH₃— CH₂— CH₂— CH₃

2 – Isobutano

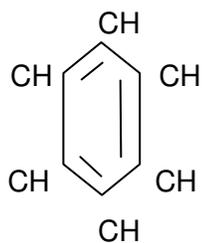
$$\begin{array}{c}
 \text{CH}_3 \\
 \diagdown \\
 \text{CH} - \text{CH}_3 \\
 \diagup \\
 \text{CH}_3
 \end{array}$$

- Naftenos

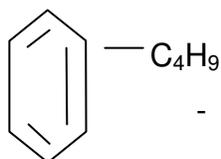
-Ciclohexano (hexametileno – C₆H₁₂)

- Hidrocarbonetos aromáticos

1 -

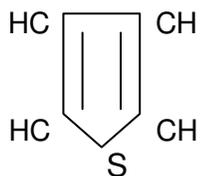
- Benzeno (C₆H₆)

2 -

- Butilbenzeno (C₁₀H₁₄)

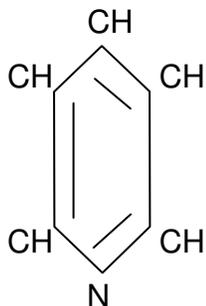
- Hidrocarbonetos heterocíclicos

1 -



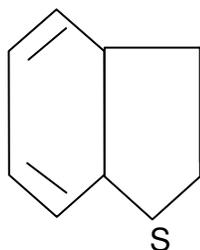
- Tiofeno

2 -



- Piridina

- Compostos heterocíclicos:



- Benzotiofeno

Óleos brutos têm sido divididos em frações vendáveis por fracionamento nas operações de refinamento. Essa é uma separação por faixas de ebulição. A tabela IV.2 ⁽³⁾ lista os diferentes tipos de produtos de petróleo derivados dessa forma.

Tabela IV.2 ⁽³⁾ - Tipos de produtos de petróleo

A-	Gasolina natural
	Gas natural
B-	Destilados leves
	1- Gasolina de automóvel
	2- Naftas solventes
	3- Querosene
	4- Óleos de aquecimento leves
C-	Destilados intermediários
	1- Óleos combustíveis pesados
	2- Óleos combustíveis diesel
	3- "Gas oils"
D-	Destilados pesados
	1- Óleos minerais pesados
	2- Óleos de flotação pesados
	3- Graxas
	4- Óleos lubrificantes *
E-	Resíduos
	1- Óleos lubrificantes *
	2- Óleos combustíveis
	3- Petrolatum
	4- Asfaltos
	5- Óleos para estradas
	6- Coque de petróleo

* Designações de óleos lubrificantes são baseadas na viscosidade e comportamento da viscosidade com a temperatura.

Destilados leves são produtos de baixa faixa de ebulição. Uma fração leve consistindo de hidrocarbonetos com C5-C6 é produzida, junto com uma fração nafta (faixa de ebulição – 93 – 204°C). Essa inclui nafta, óleos refinados, gasolina de aviação e de automóvel, solventes de petróleo e querosene combustível para jatos. Nafta refere-se a algum produto leve do óleo tendo propriedades intermediárias entre gasolina e querosene.

Destilados intermediários são produtos da faixa média de ebulição, ficando na faixa de 204-343°C. Esses destilados são frequentemente misturados com alcatrão para reduzir sua viscosidade, para transformá-lo em óleo combustível comercial.

Óleos combustíveis consistem primariamente de compostos parafínicos, iso-parafínicos, aromáticos e naftênicos, ligados a hidrocarbonetos derivados de enxofre, nitrogênio e oxigênio, que não são removidos pela operação de refinamento. Oleofinas estão ausentes ou insignificantes, exceto quando criadas por “cracking” ou outro refinamento severo. Compostos de vanádio e níquel têm baixa volatilidade e não destilam nas frações de óleo combustível de nº 1 e 2.

Destilados pesados têm produtos com a mais alta faixa de ebulição (343-566°C). Eles incluem: óleos lubrificantes C20-C70 (os quais também podem ser originados de resíduos), óleos pesados para várias finalidades e pastas.

Resíduos são derivados do piche não destilado, remanescente depois que todos os destilados são removidos, incluindo: óleo combustível residual, asfalto e petrolato. Resíduos são hidrocarbonetos parafínicos com altíssimo peso molecular e hidrocarbonetos cíclicos de vários tipos e configurações, incluindo alguns compostos contendo O, S e N, posicionados em pontes ou anéis. Eles podem ser obtidos diretamente da destilação e queimados ou quebrados termicamente (“visbreaking”) para reduzir sua viscosidade. Se, por último, não reduzir adequadamente sua viscosidade, eles podem ser misturados com destilados

intermediários para alcançar a viscosidade aceitável. Diluindo com 5-20% de destilados, forma-se o óleo combustível nº 6, ou ele pode ser reduzido com 20-50% de destilados para fazer os óleos combustíveis nº 4 e 5. Óleo combustível nº 6 contém de 10-500 ppm de vanádio e níquel em moléculas orgânicas complexas. Sais, areia, ferrugem e sujeira podem também estar presentes, dando ao óleo combustível nº 6 um teor de cinzas típico de 0,01-0,5% em peso. Óleos combustíveis nº 4 e 5 contêm proporcionalmente menos contaminantes.

A densidade específica dos óleos varia de 0,75 a 1,00, e as frações de mais alta densidade contêm maior quantidade de hidrocarbonetos de mais alto peso molecular.

Uma vez que a viscosidade dos coletores apolares influencia grandemente seus efeitos na flotação, a influência da estrutura dos hidrocarbonetos na sua viscosidade deve ser conhecida. Hidrocarbonetos parafínicos são os menos viscosos. Mesmo hidrocarbonetos com 20-25 átomos de carbono na molécula têm a viscosidade de 10-12 centistoke (a 50°C). Portanto, sua adição a óleos viscosos reduz a viscosidade. Com aumento das ramificações nos hidrocarbonetos parafínicos, sua viscosidade, usualmente, também aumenta.

Hidrocarbonetos cíclicos têm viscosidade mais alta que os parafínicos, e sua influência na viscosidade dos óleos minerais é predominante. Um aumento no número de anéis aromáticos e naftênicos leva a um aumento na viscosidade. Um aumento no número de anéis nas moléculas de 1 para 2 vezes aumenta sua viscosidade menos que um aumento no número de anéis de 2 para 3 vezes (no 1º caso a viscosidade dobra e no 2º caso a viscosidade aumenta 6 vezes). A viscosidade de compostos naftênicos é maior que a dos compostos aromáticos de mesma estrutura, isto é, ciclohexano > ciclopentano > benzeno.

A posição dos anéis nas moléculas dos derivados cíclicos dos hidrocarbonetos parafínicos também influencia sua viscosidade. Se o anel está localizado no meio

da cadeia (quando a molécula tem um alto grau de assimetria), a viscosidade a média temperatura (38-50°C) é alta. A introdução de cadeias laterais dentro das moléculas de hidrocarbonetos cíclicos aumenta sua viscosidade. Esse aumento é proporcional ao número de cadeias. Se o número de átomos na cadeia lateral é o mesmo, a viscosidade aumenta com o aumento na ramificação da cadeia.

Assim, a viscosidade dos óleos depende da quantidade de hidrocarbonetos naftênicos e aromáticos e de seus derivados alquila.

A tabela IV.3 ⁽³⁾ lista as viscosidades características de óleos típicos dos USA e a tabela IV.4 ⁽²⁾ mostra as viscosidades e nomenclatura dos principais tipos de óleos minerais produzidos na URSS.

Como os óleos minerais são os mais promissores coletores apolares, deve-se determinar sua composição acuradamente. Entre os componentes principais dos óleos minerais estão os hidrocarbonetos parafínicos. Sua quantidade nos óleos minerais varia numa ampla faixa, dependendo da composição do petróleo de diferentes depósitos e do ponto de ebulição da fração particular.

As frações pesadas de muitos óleos minerais contêm mais de 70% de naftenos, mas frações de óleo mineral de mais baixa qualidade têm muito menos hidrocarbonetos naftênicos, mas raramente menos que 30-40%. Os hidrocarbonetos naftênicos nos óleos minerais são principalmente compostos policíclicos com baixa quantidade de monocíclicos, com longas cadeias laterais. Os hidrocarbonetos naftênicos no petróleo usualmente têm grupos de 5 a 6 anéis; aqueles mais freqüentes nas frações do óleo são do tipo decalin com longas cadeias laterais. As frações mais leves do óleo contêm considerável quantidade de naftenos monocíclicos ao lado de homólogos decalin e as frações mais pesadas podem conter naftenos tricíclicos.

Tabela IV.3 ⁽³⁾ - Propriedades de óleos típicos dos USA (valores típicos dos produtores).

Propriedades químicas	Amoco 11P	Texaco 1527	Calumet 200	calumet 850	Calumet 1400	Calumet 6100	Calumet WF240	Cities 350	Cities 700 cycle	Golden Bear 132 SAE 50	Golden Bear 2635-1 GB 142	Golden Bear 2635-2 GB 148	Golden Bear 4053	Sunflex 107	Sunflex 115	sunflex 160	Sunflex 2280	Sundex 750T	Sundex 7135T	Sundex 8600T
Classificação			naf.	naf.	naf.	naf.	naf.	para.	naf.		arom.	arom.	naf.	para.	para.	para.	para.	arom.	arom.	arom.
Viscosidade a 37.8°C, cSt	21.6	9.7	44.4	187.2	304.6	10.5	2546	76.8	151	572	4844	2935	428.3	13.3	31.6	135.9	583	97.1	539	1855
Densidade a 15°C	0.883	0.904	0.904	0.912	0.915	0.890	0.943	0.879	0.918	0.960	0.974	0.960	0.919	0.847	0.864	0.876	0.893	0.959	0.964	0.963
Peso Molecular	340	300	340	475	530	240	650	470	440	530	456	459	489	320	400	550	700	340	480	568
Const.de viscos. específica	0.840	0.878	0.854	0.845	0.842	0.861	0.853	0.813	0.856	0.9000	0.897	0.897	0.842	0.807	0.810	0.800	0.798	0.959	0.907	0.890
Índice de viscosidade	70	62	49	58	63	41	38	95	50	-57	-103	-93	39	90	99	98	97	-8	-40	
Análises "clay-gel", peso %																				
Asfaltenos								1.0	1.0											
Comp. polares	1.1	.16						1.5	3.9	9.0	21.6	17.9	3.0	0.2	0.4	1.0	3.8	5.2	12.0	15.9
Aromáticos	27.5	33.4						21.9	41.5	49.0	48.7	43.5	28.0	7.9	12.0	17.1	21.5	66.5	62.3	57.9
Saturados	71.4	65.0						76.6	54.6	42.0	29.7	38.6	69.0	91.9	87.6	81.9	74.7	28.3	25.7	26.2
Não-sulfonados, wt	82	83										68.0								
Análises "carbon-type", %*																				
Ca			16	12	14	15	22			27			9	2	2	3	5	34	32	30
Cn			32	31	29	35	18			32			38	32	32	25	23	30	26	32
Cp			52	57	57	50	60			41			53	66	66	72	72	36	42	48
Enxofre, wt%			0.40	0.46	0.47	0.28	0.40	0.11	0.44	0.7	1.0	0.29	0.5							
Ponto de fluidez, °C	-32	-51	-34	-18	-15	-51	4	-12	-18	-1	1	2	-18	-20	-20	-15	-15	2	16	35
Ponto de Ignição, °C	190	154	193	246	266	143	302	240	230	227	271	274	249	182	207	266	302	204	243	302

* Fração de átomos de carbono presentes em insaturados, anéis aromáticos (Ca), em saturados, anéis naftênicos (Cn), e em não-cíclicos, cadeias parafínicas (Cp).

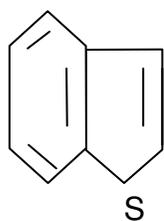
Tabela IV.4 ⁽²⁾ – Nomencl. e viscosidade de alguns óleos minerais soviéticos

Grupos de óleos	Nome do óleo	Viscosidade a 50°C, centistokes
Industrial leve	Solar	2.8 - 9.0
	"Velosit"	3.9 - 5.0
	Vaseline	5.0 - 8.5
Industrial médio	Spindle-2	11.8 - 14.0
	Spindle-3	10.0 - 23.0
	Machine-L	29 - 33
	Machine-S	41 - 53
	Machine-SU	45 - 57
Industrial pesado	Cylinder-2	a 100°C 9.6 - 14.0
Lubrificante especial	Turbine-L	20 - 23
	Turbine-UT	25 - 33
	Compressor-M	8.5 - 14 a 100°C
	Compressor-T	15 - 21 a 100°C
Especial	Transformer	9.6 (a 20°C - 37.3)
	Medicinal	28
	Vaseline-MVP	6.3 - 8.5
	Spindle	12 - 14 (a 20°C - 49.0)
Tratores ("Avtol")	Avtol-4SK	25 - 29
	Avtol-6SK	a 100°C - 5.0
	Avtol-10SK	a 100°C - 9.6

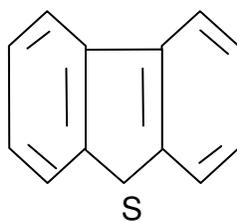
O conteúdo de hidrocarbonetos aromáticos nos óleos minerais raramente excede 30-40%, e a média é bem menor que o conteúdo de hidrocarbonetos naftênicos. Durante os últimos anos, estudos têm mostrado que uma apreciável quantidade dos hidrocarbonetos aromáticos nas frações do óleo consiste de hidrocarbonetos naftênicos-aromáticos com cadeias parafínicas.

Atenção particular deve ser prestada aos compostos contendo enxofre, no petróleo e óleos minerais. Esses compostos são interessantes uma vez que a presença dos mesmos nos coletores apolares melhora sua atividade na flotação (vide figura 4.2 ⁽²⁾).

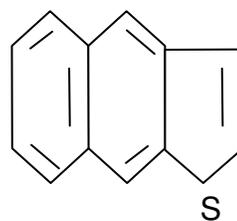
Deve-se, entretanto, mencionar que muito do enxofre presente no petróleo (70-80%) está presente nos compostos de alto peso molecular e muito do enxofre nos compostos de alto peso molecular está presente em compostos cíclicos como o benzotiofeno (I), dibenzotiofeno (II) e naftotiofeno (III):



I

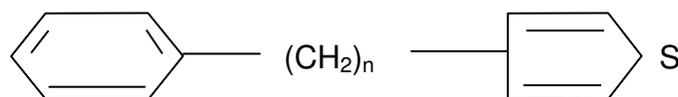


II



III

e também em compostos no qual o anel de tiofeno está ligado a um anel benzênico por uma cadeia alifática:



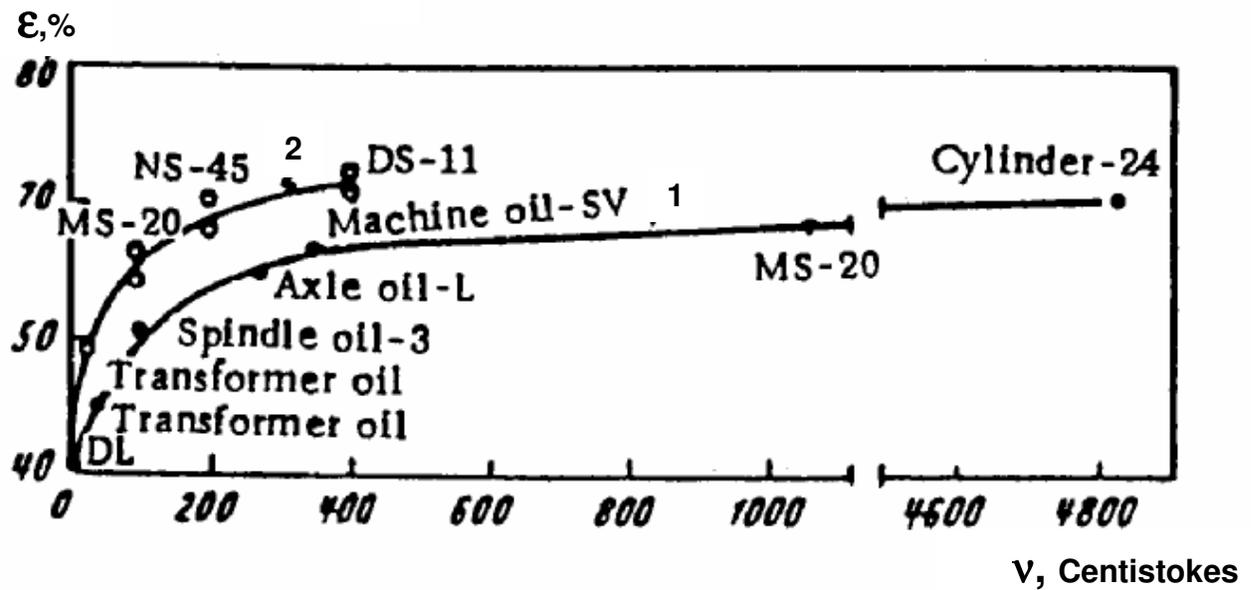


Figura 4.2 ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a viscosidade dos óleos apolares produzidos com o petróleo de baixo enxofre de Baku (1) e do petróleo do leste da Rússia que contém enxofre (2). O consumo de oleato de sódio e óleos foi de 100 g/t cada.

Na ação dos hidrocarbonetos como coletores apolares, sua tensão de superfície nas interfaces hidrocarboneto-água e hidrocarboneto-ar é de considerável importância.

Nametkin ⁽¹⁰⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, observou que petróleos produzidos na URSS têm uma tensão superficial na interface com ar de 25-30 erg/cm², a qual é pouco influenciada pela composição e natureza do petróleo. Na interface com água a tensão de superfície dos petróleos varia em uma ampla faixa, de 25-26 a 32 erg/cm², algumas vezes sendo tão baixa quanto 12 erg/cm². Produtos do petróleo os quais não são suficientemente descontaminados de impurezas polares têm uma tensão de superfície relativamente baixa na interface com água (por exemplo, para querosene, óleos de máquina e motor, ela não excede 38 erg/cm²). Por outro lado, produtos do petróleo bem purificados têm uma tensão de superfície acima de 40 erg/cm², ou mesmo tão alta quanto 50 erg/cm² (veja tabela IV.5 ⁽²⁾). Esses produtos incluem benzinhas purificadas e óleos bem purificados como os medicinais e óleos de transformador.

É interessante comparar os dados acima com os valores da tensão de superfície de hidrocarbonetos individuais apresentados na Tabela IV.6 ⁽²⁾. Essa tabela mostra que parafinas e naftenos têm tensões de superfície bem similares na interface com água (cerca de 50 erg/cm²). Uma comparação desses dados com a tensão de superfície dos hidrocarbonetos aromáticos mostra que essa classe de hidrocarbonetos tem tensão de superfície característica e com valores bem similares na faixa de 35-38 erg/cm².

Os dados apresentados na tabela IV.5 são usualmente menores que aqueles para hidrocarbonetos individuais, indicando que produtos de petróleo contêm impurezas de compostos polares, as quais reduzem grandemente a tensão de

Tabela IV.5 - Tensão de superfície (em erg/cm²) de produtos de petróleo na interface com ar e água.

Produtos de Petróleo	Tensão de superfície na interface com:	
	Ar	Água
Benzina		
Krasnodar (aviação)	19,8	46,4
Sterlitamak (ponto de ebulição - 122 - 150° C)	23,0	41,5
Querosene		
Krasnodar	27,8	34,6
Grozny	28,0	34,3
Baku	26,8	26,6
Emba	28,2	38,6
Óleos		
Medicinal	30,3	51,4
Vaselina	29,7	40,3
Transformador	29,1	45,1
Spindle - 3	34,8	18,6
Spindle - 2	32,6	29,3

Tabela IV.6 - Tensão de superfície (em erg/cm²) de hidrocarb. individuais na interface com ar e água.

Hidrocarboneto	Tensão de superfície na interface com:	
	Ar	Água
Parafinas		
Hexano C ₆ H ₁₄	18,41	51,25
Heptano C ₇ H ₁₆	20,29	50,48
Octano C ₈ H ₁₈	21,78	51,01
Decano C ₁₀ H ₂₂	23,89	51,24
Naftenos		
Ciclohexano C ₆ H ₁₂	24,94	51,01
Decalin C ₁₀ H ₁₈ (Decahidronafteno)	29,89	51,74
Aromáticos		
Benzeno C ₆ H ₆	30,24	34,10
Tolueno C ₆ H ₅ .CH ₃	30,93	35,70
Etilbenzeno C ₆ H ₅ .C ₂ H ₅	29,04	38,26
Isopropil-benzeno (cumeno) C ₆ H ₅ .C ₃ H ₇	28,20	38,70
Propilbenzeno	29,00	39,98
Tetralin C ₁₀ H ₁₂	36,28	38,60

superfície na interface com a água. Assim, uma vez que produtos de petróleo contêm não somente parafinas e naftenos, mas também hidrocarbonetos aromáticos, os quais têm uma baixa tensão de superfície, a tensão de superfície global deve ser menor que 50 erg/cm^2 .

Esse fatos são de grande interesse no cálculo da energia de adesão dos coletores apolares fixados à superfície dos minerais, sobre várias condições de flotação.

4.3. Hidrofobicidade dos minerais com coletores apolares

A teoria dos coletores apolares parece indicar que a viscosidade dos hidrocarbonetos líquidos é um dos mais importantes fatores que influenciam a sua habilidade para tornar um composto hidrofóbico ⁽²⁾.

A viscosidade reflete todas propriedades dos hidrocarbonetos líquidos determinadas por sua estrutura, comprimento da molécula e energia de reação intermolecular.

Obviamente, a reação entre as moléculas dos hidrocarbonetos líquidos é influenciada por forças de mesma ordem e de mesma natureza das exercidas pelas moléculas dos hidrocarbonetos na estrutura cristalina dos minerais. Isso é porque a molécula do reagente apolar na camada adjacente à superfície do mineral reagirá com a superfície e a camada das moléculas de hidrocarboneto acima dela.

Com o aumento na energia de reação entre as moléculas do hidrocarboneto, a energia de sua interação com a estrutura cristalina também aumenta.

Para determinar as condições de interação do coletor apolar (disperso em água) com a superfície do mineral, deve-se levar em consideração as forças que agem entre essas fases, a natureza e características destas forças e também a influência total das forças criadas por cada fase.

Por causa da grande importância da viscosidade dos coletores na sua eficácia, deve-se esclarecer a natureza dessa influência. A viscosidade é uma das mais importantes propriedades de um líquido e é caracterizada pela resistência do líquido de se espalhar, κ , a qual cresce se duas camadas adjacentes do líquido estão se movendo uma em relação a outra. Essa resistência é proporcional ao gradiente da taxa ν ao longo do eixo Y, normal à direção do fluxo do líquido:

$$\kappa = \lambda \cdot dv / dy \quad (4.1)$$

Onde λ é a viscosidade em poise (g / cm. s).

A viscosidade cinemática V é a taxa da viscosidade dinâmica para a densidade do líquido ρ e é medida em Stokes (cm² / s):

$$\rho : V = \lambda / \rho \quad (4.2)$$

Viscosidade relativa é a taxa da viscosidade dinâmica de um dado líquido pela viscosidade da água (à mesma temperatura). De acordo com a teoria molecular, a viscosidade é devida ao movimento do líquido e é causada pela ação de forças intermoleculares de atração. As forças intermoleculares que agem nos hidrocarbonetos são forças de van der Waals. A temperatura constante, a viscosidade não depende do gradiente de velocidade do líquido e apresenta um valor constante. A mais importante característica da viscosidade é que ela decresce com o aumento da temperatura.

O físico Russo A .I. Bachinskii foi quem melhor estabeleceu as bases teóricas do problema da viscosidade dos líquidos ⁽²⁾. Em seus estudos ele determinou a relação entre a viscosidade dos líquidos e seu volume específico, e isso foi muito importante no desenvolvimento da teoria da viscosidade dos líquidos. Bachinskii descobriu que colocando-se a fluidez (recíproca da viscosidade), a diferentes temperaturas, na abscissa, e o volume específico do líquido na temperatura correspondente, nas ordenadas, essa relação seria linear para muitos líquidos, e a relação entre o volume específico e a fluidez pode ser expressa pela equação de uma linha reta com uma inclinação:

$$V_e = a + b \varphi \quad (4.3)$$

Onde V_e é o volume específico, φ é a fluidez; a e b são constantes.

Lembrando que a fluidez é o recíproco de viscosidade, pode-se escrever a seguinte equação, conhecida como a equação de Bachinskii:

$$\lambda = b / (V_e - a) \quad (4.4)$$

Baseando-se na suposição de que a viscosidade dos líquidos é determinada pela interação entre suas moléculas, é obvio que a viscosidade é influenciada pelo volume específico do líquido. Como o volume específico de um líquido aumenta, quando sua temperatura aumenta, as distâncias entre as moléculas desse líquido aumentam e as forças de atração intermolecular e a viscosidade diminuem.

Foi demonstrado que a viscosidade molecular é uma propriedade aditiva, ou seja: em séries homólogas de hidrocarbonetos, alcoóis e ácidos alifáticos ela aumenta com cada "link" $\text{CH}_2^{(2)}$. E, também, nas séries homólogas de hidrocarbonetos alifáticos a viscosidade aumenta quando o composto é mais ramificado. Normalmente, compostos normais têm uma viscosidade menor que o isocomposto correspondente, particularmente se esses são muito ramificados.

Compostos alifáticos com uma ou duas duplas ligações têm uma viscosidade menor, a temperatura ambiente, que os correspondentes compostos saturados. Entretanto, uma vez que a dependência da viscosidade em relação à temperatura é diferente para essas duas classes de hidrocarbonetos, as posições relativas podem mudar a diferentes temperaturas.

A introdução de grupos de enxofre nos hidrocarbonetos alifáticos normais leva a um aumento na viscosidade de acordo com a seguinte série: hidrocarbonetos com cadeias normais - hidrocarbonetos aromáticos - hidrocarbonetos naftênicos. A adição de cadeias normais em compostos cíclicos aumenta a viscosidade. A viscosidade também aumenta com aumento das cadeias. A influência das cadeias laterais na viscosidade aumenta quando a parte cíclica das moléculas se torna mais complexa.

A influência da posição das cadeias laterais da molécula na viscosidade do líquido é bem ilustrada pelos exemplos de orto-, meta- e para-dimetilciclohexano e dos isômeros de xileno. Isômeros com cadeias laterais na posição orto- têm uma

viscosidade mais alta e aqueles com cadeias laterais na posição meta- têm uma viscosidade mais baixa.

A posição dos anéis atados da cadeia lateral de uma parafina normal não tem grande influência na viscosidade do composto, mas a viscosidade aumenta ligeiramente se o anel atado é transferido do início da cadeia para o meio.

Pode ser mostrado que a viscosidade de hidrocarbonetos policíclicos aumenta com o aumento no número de anéis e com sua hidrogenação.

Se o número de átomos de carbono nas moléculas dos hidrocarbonetos policíclicos é aumentado, a viscosidade também aumenta, e a dependência do número de anéis é maior. O aumento na viscosidade com o aumento no peso molecular dos compostos orgânicos de uma dada classe é claro. O mais importante fator não é o peso molecular, mas o volume molecular. Se um reagrupamento ou ramificação de cadeias de moléculas de compostos de alto peso molecular leva a uma mudança no volume molecular, isso causa uma mudança na viscosidade, embora o peso molecular permaneça inalterado.

Viscosidade é uma propriedade aditiva nas séries homologas se o comprimento da cadeia não leva a deformação como resultado de movimentos térmicos ou de algumas outras razões.

Entretanto, o mais importante fator que influencia a viscosidade é a temperatura. Um aumento na temperatura sempre leva a um decréscimo na viscosidade (veja Figura 4.3).

Líquidos de baixo peso molecular e baixa viscosidade conformam-se bem com a fórmula de Bachinskii discutida anteriormente, mas líquidos de alto peso molecular e alta viscosidade comportam-se diferentemente. Para explicar esse comportamento, uma hipótese foi apresentada mostrando que as moléculas de alto peso molecular e líquidos viscosos são associados em grupos. A criação de ligações adicionais entre as moléculas, em adição à ação constante das forças de

V , Centistoke

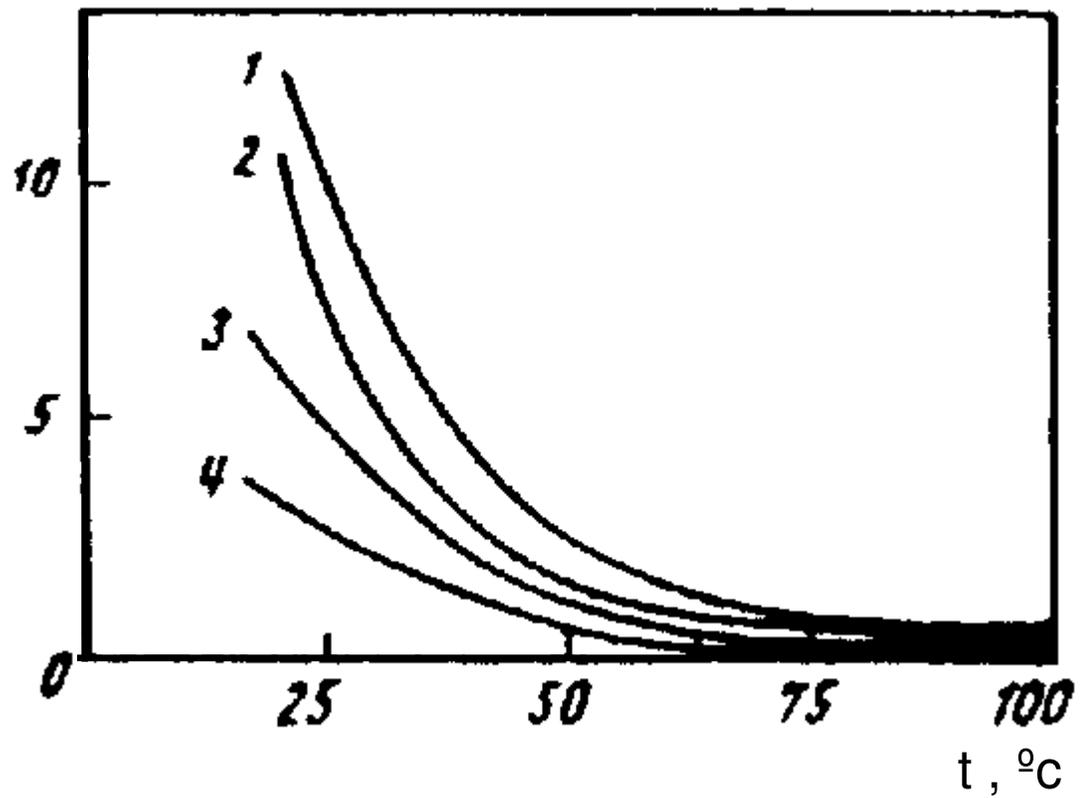


Figura 4.3 – Dependência da viscosidade dos óleos com a temperatura:

1 – Aviação – óleo MK; 2 – Avtol – 18; 3 – Avtol – 10; 4 – óleo de máquina – SU.

coesão, leva a um aumento na resistência ao escoamento lateral, que causa um aumento na viscosidade. Acredita-se que a razão da tendência para associação, característica principalmente de compostos de alto peso molecular, é que a probabilidade de orientação paralela das longas cadeias é particularmente maior nessas moléculas.

A maior influência na interação entre moléculas de hidrocarbonetos é exercida pelas forças de van der Waals.

Em produtos de petróleo contendo alcatrões e outros compostos portadores de oxigênio, a associação pode ser influenciada por ligações de hidrogênio e por interações entre moléculas polarizadas. Usualmente, a viscosidade de uma mistura de hidrocarbonetos A e B, com baixa e alta viscosidade, respectivamente, é caracterizada por uma linha quase reta conectando as viscosidades de A e B. Os pontos individuais nessa linha reta representam a relação de A para B na mistura ⁽²⁾.

4.3.1. Adesão durante interação entre coletores apolares e minerais

Adesão de coletores apolares durante a flotação é de grande importância, uma vez que a mesma caracteriza a atração mútua entre moléculas. Durante a flotação tem-se adesão de água ao mineral, e adesão do coletor apolar a ambos, mineral e água.

A energia necessária para separar uma fase da outra (se eles têm uma interface comum) é chamada de energia ou trabalho de adesão. A energia de adesão pode ser determinada experimentalmente sem muita dificuldade no caso de adesão de água aos minerais na presença de ar, de óleo aos minerais em meio aquoso ou de água aos minerais em um meio de hidrocarbonetos apolares.

Em um sistema mineral-óleo, a adesão de óleo ao mineral imerso em água representará a força de ligação do coletor apolar na superfície do mineral em água. A energia de adesão neste caso caracterizará não somente o coletor apolar mas também a habilidade do mineral de se ligar a esse reagente.

Considerando-se uma gota de um hidrocarboneto líquido (2) colocada na superfície de um mineral (3) em um meio aquoso (1), conforme figura 4.4, se a área de superfície de contato do mineral com o hidrocarboneto é igual a 1 cm^2 , a energia de adesão W_a , que é a energia necessária para separar a gota da superfície do mineral, de acordo com a equação de Dupré, seria numericamente igual à isoterma de formação de duas novas interfaces: hidrocarboneto-água e mineral-água, menos a energia interfacial da interface mineral-hidrocarboneto.

Designando a água, as fases apolar e sólida pelos números 1, 2 e 3, respectivamente, pode-se obter:

$$W_a = \sigma_{1,2} + \sigma_{1,3} - \sigma_{2,3} \quad (4.5)$$

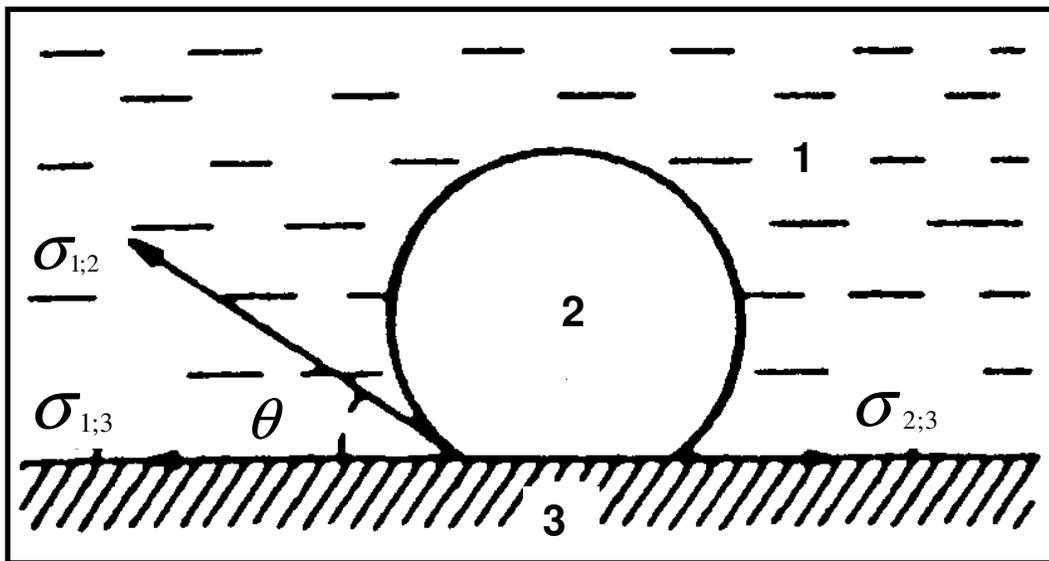


Figura 4.4 – Molhabilidade da superfície de um mineral (3) por uma gota de reagente apolar (2) em uma fase aquosa (1).

Essa equação é de difícil uso na prática, uma vez que os valores de $\sigma_{1,3}$ e $\sigma_{2,3}$ são difíceis de se determinar experimentalmente. Mas usando a equação de Davidov-Neumann:

$$\sigma_{1,2} \cdot \cos \theta + \sigma_{1,3} - \sigma_{2,3} = 0 \quad (4.6)$$

E resolvendo ambas as equações, tem-se:

$$W_a = \sigma_{1,2} \cdot (1 - \cos \theta) \quad (4.7)$$

Essa equação é muito conveniente, uma vez que tem somente um valor de energia de superfície da interface hidrocarboneto-água, a qual pode ser facilmente determinada.

Comparando dois líquidos, devem-se considerar ambas, a energia de adesão e a energia de coesão, W_k . É bem conhecido que a energia de coesão é numericamente igual a 2σ , onde σ é a energia de superfície da interface de um dado líquido e o meio ao redor.

A diferença entre a energia de adesão e a energia de coesão ($W_a - W_k$) é chamada de coeficiente de espalhamento K , o qual caracteriza a estrutura de um líquido e a orientação de suas partículas na superfície de outro líquido. Assim, por exemplo, se W_k está relacionado com um líquido orgânico e W_a para o mesmo líquido em contato com a água, o coeficiente de espalhamento caracteriza o grau de assimetria das moléculas do líquido orgânico, uma vez que compostos com um grupo polar têm um valor mais alto de K (Veja Tabela IV.7 ⁽²⁾).

É interessante notar que todos os líquidos que têm um baixo coeficiente de espalhamento (n-hexano, n-octano, benzeno e tetracloreto de carbono) não apresentam momento de dipolo, mas líquidos com um alto coeficiente de espalhamento com relação a água, têm uma estrutura heteropolar, que é marcadamente assimétrica (assimetria molecular) e, conseqüentemente,

Tabela IV.7 ⁽²⁾ - Coeficiente de espalhamento **K** para vários líquidos em contato com água.

Líquido	W_k (erg/cm ²)	W_a (erg/cm ²)	K (erg/cm ²)
n - Hexano	36,8	40,1	3,3
n - Octano	43,5	43,8	0,3
Benzeno	57,7	66,63	8,91
Benzaldeido	80,1	93,9	17,2
Anilina	83,1	109,6	26,4
Octil etil *	55,1	91,8	36,7
Ácido Heptanóico	56,0	94,8	38,2
Tetracloro de carbono	53,3	54,4	1,1

* (talvez signifique octil eter)

apresentam apreciável momento de dipolo. Isso é importante na ação combinada de coletores apolares e heteropolares durante a flotação.

A tensão de superfície da interface com água $\sigma_{1,2}$ permanece nitidamente constante dentro dos limites das séries homologas e, portanto, a energia de coesão W_k permanece constante também. Conseqüentemente, o espalhamento de hidrocarbonetos sobre a superfície dos minerais e sua habilidade de permanecerem ligados nessas superfícies é determinado principalmente pelo valor de W_a .

Adesão pode ser caracterizada pelo efeito térmico determinado durante a imersão de um sólido em um líquido. Dados da energia de adesão relacionada ao efeito térmico para diferentes pós minerais são dados na tabela IV.8 ⁽²⁾ e são muito característicos, uma vez que indicam que a energia de adesão é muito maior na molhabilidade com líquidos polares. Mesmo a grafita, mineral naturalmente hidrofóbico, tem uma alta energia de adesão, maior para a água que para um hidrocarboneto típico como o benzeno.

Pode-se dizer que todos os dados de energia de adesão apresentados caracterizam uma energia sob condições de equilíbrio estático. Dados sob condições dinâmicas diferem daqueles obtidos sob condições de equilíbrio.

A energia de adesão de um líquido a um sólido de acordo com dados obtidos por métodos dinâmicos e estáticos é a seguinte (erg/cm²) ⁽²⁾:

Sistema	Método	
	Pêndulo	Ângulo de contato
Água - ácido esteárico	2.330	80
Parafina - água	138	43,7
Mercúrio - vidro	1.270	118

Tabela IV.8 ⁽²⁾ - Energia de adesão (erg/cm²) para pós minerais em água e líquidos orgânicos.

Líquidos	BaSO ₄	TiO ₂	Si	SiO ₂	SnO ₂	SrSiO ₄	Grafita	Hg
Água	610	640	700	720	-	970	385	-
Alcool etílico	-	550	-	570	-	-	300	-
Alcool Butílico	410	400	-	470	550	-	-	195
Tetracloroeto de Carbono	280	300	-	-	380	470	255	-
Benzeno	210	220	-	220	290	330	295	193
Isooctano	-	155	-	-	170	240	-	160
Nitrobenzeno	-	360	-	-	-	510	-	-

Pode ser visto que tem-se sempre uma apreciável diferença entre a energia de adesão sob condições estáticas e dinâmicas e o valor de W sob condições dinâmicas sempre excede aquele sob condições estáticas.

Todos esses dados e teorias indicam que reagentes apolares podem ser vastamente usados para flotação de vários minerais. Por causa da heterogeneidade das superfícies dos minerais, as gotas finamente dispersas dos reagentes apolares primeiramente irão permanecer ligadas nas superfícies menos hidratadas do mineral. Portanto, emulsões finamente dispersas e uniformes devem ser usadas, não somente por razões econômicas e para aumentar o número de colisões com as partículas minerais, mas também para ligar o reagente na superfície tão fortemente quanto possível.

Oleosidade é definida como a habilidade de um lubrificante aderir-se à superfície sendo lubrificada ⁽²⁾. Uma vez que, de qualquer modo, um aumento na oleosidade dos óleos está ligado a um aumento na adesão dos sólidos, essa propriedade dos óleos é de grande interesse.

Na avaliação da ligação de coletores apolares na superfície dos minerais, a definição de oleosidade e a determinação de seus critérios são de grande importância.

Óleos minerais consistem principalmente de hidrocarbonetos, compostos apolares. A ausência de polaridade é uma característica comum de todos os óleos, e é óbvio que a diferença na propriedade lubrificante dos óleos (que é a oleosidade) deve ser devido à presença nos óleos de outras substâncias, principalmente oxigênio e compostos contendo enxofre, e não a diferentes composições dos hidrocarbonetos. Esses compostos heteropolares ativos na superfície são ácidos naftênicos e graxos, substâncias de alcatrão-asfálticas e compostos contendo enxofre. A significância destes compostos é provada pelo fato que óleos cuidadosamente purificados dos mesmos (por exemplo, óleo de vaselina branca) são de pouco uso como lubrificantes por causa de seu baixo grau de oleosidade. Assim, a habilidade dos óleos minerais lubrificar superfícies

metálicas é induzida por compostos heteropolares, e os mais efetivos são aparentemente aqueles os quais podem ficar ligados à superfície do metal por adsorção química.

O problema da oleosidade é importante na ligação de coletores apolares à superfície dos minerais, e também porque a mistura de compostos heteropolares e apolares é usada para flotação.

A figura 4.5 mostra o arranjo de moléculas em uma camada de óleo espalhada na superfície de um sólido de acordo com a teoria desenvolvida por Fuks ^(11,12), citado por Glembotskii ⁽²⁾. De acordo com essa teoria, a camada 1 tem propriedades elástico-viscosas e fica adjacente ao mineral. A camada 2 forma uma zona intermediária entre a primeira camada e o óleo bruto, designado pelo número 3.

O óleo espalha-se sobre a superfície de um metal porque o mesmo contém moléculas com grupos ativos de átomos, os quais têm uma afinidade particular pelo metal.

Para estudar camadas de moléculas orientadas usa-se o método de difração de raios – x. A espessura de uma camada elementar é usualmente igual ao dobro do comprimento das moléculas e, assim, cada camada, exceto a primeira, consiste de um par de moléculas ligadas aos seus finais. A tabela IV.9 dá a espessura medida das camadas elementares e a distribuição de moléculas nas mesmas.

Pelo método da difração de Raios – X é possível determinar a estrutura das camadas interfaciais e a influência da temperatura na sua estrutura. Um aumento na temperatura, o qual aumenta o movimento térmico das moléculas, perturba sua ordem e orientação na camada interfacial, especialmente quando as camadas orientadas de moléculas estão afastadas da superfície do metal.

A forte fixação da 1ª camada através de seu grupo polar aumenta a resistência das camadas orientadas à influência desordenante do movimento térmico.

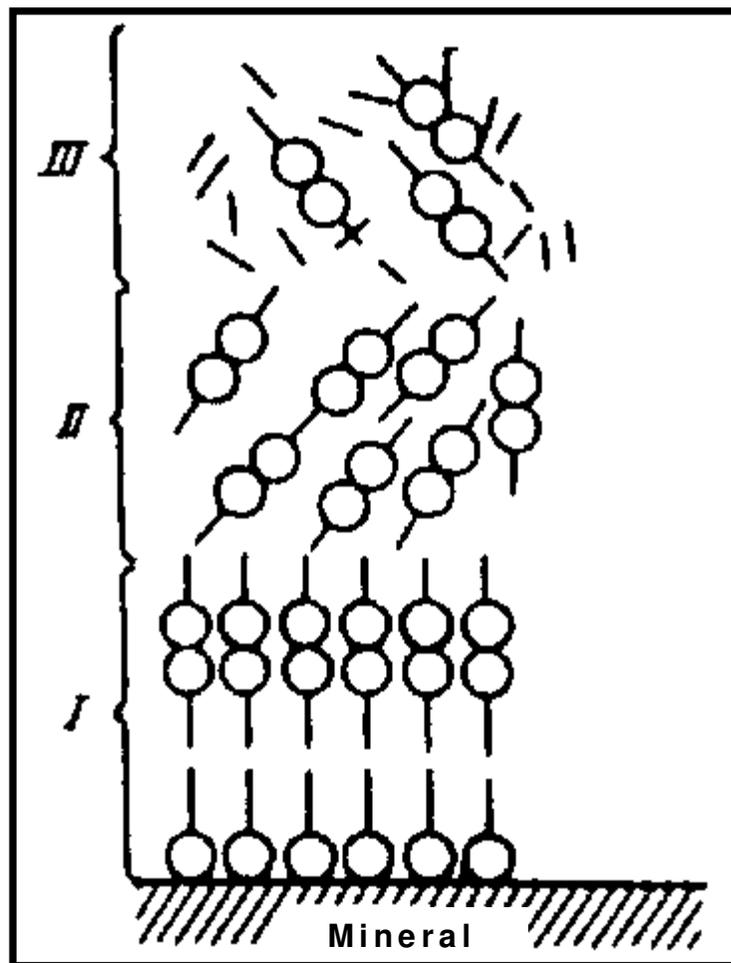


Figura 4.5 – Arranjo das moléculas de óleo na superfície de um mineral.

Tabela IV.9 ⁽²⁾ - Estrutura das camadas vizinhas formadas por comp. heterop. na presença de óleo.

Composto heteropolar	Espessura da camada elementar (monocamada) em Å ^º	Distribuição das moléculas
Ácido esteárico	39,5	Dupla camada
Acido dicloroesteárico	39,2	Dupla camada
Metil estearato	26,5	camada única
Metil dicloroestearato	45,0	Dupla camada
Metil palmitato	22,2	camada única
Etil dicloroestearato	51,5	Dupla camada
Metil dicloroestearato	27,6	camada única
Octil dicloroestearato	42,9	Indeterminada

Bowden et al. ⁽¹³⁾, citados por Glembotskii ⁽²⁾, verificaram que vários compostos produzem filmes fisicamente ou quimicamente adsorvidos no metal. É interessante que a temperaturas relativamente baixas as propriedades lubrificantes dos ácidos graxos nos metais de baixa atividade química e no vidro são inferiores às das dos hidrocarbonetos parafínicos. Nas superfícies metálicas quimicamente ativas (cobre, cádmio, zinco, magnésio, ferro e alumínio) ácidos graxos dos óleos minerais são lubrificantes altamente efetivos. É característico que as temperaturas nas quais a orientação das camadas interfaciais é perturbada depende da natureza química do metal.

Por exemplo, no caso de platina, na qual os ácidos graxos são ligados principalmente por forças bastante fracas de adsorção física, a orientação das camadas interfaciais é perturbada a temperatura de 10° C abaixo do ponto de fusão do ácido, enquanto nas superfícies quimicamente ativas (zinco, cádmio, cobre e aço) esse fenômeno inicia bem acima do ponto de fusão do ácido graxo.

Portanto, Bowden et al. concluíram que nas superfícies com as quais eles interagem, os ácidos graxos formam prontamente camadas dos sabões correspondentes, os quais são fortemente ligados na superfície do metal e têm uma forte coesão longitudinal. Portanto, esses filmes são capazes de resistir a consideráveis deformações, e têm boas propriedades de proteção. Sua presença em alguns metais, mesmo na forma de camada monomolecular, diminui grandemente o contato direto entre duas superfícies metálicas durante fricção e lubrificação. Pode ser mostrado que numerosos compostos contendo fósforo, enxofre e cloreto têm a mesma influência lubrificante do ácido graxo, ou mesmo melhor.

4.3.2. Adsorção de coletores apolares na superfície dos minerais

A interação de coletores apolares com a superfície das partículas minerais pode ser considerada como sendo adesão dos hidrocarbonetos aos minerais. Entretanto, se considerarmos adsorção como sendo a concentração de uma substância na interface ⁽¹⁴⁾, e “molhabilidade a adsorção de um líquido por um sólido” ⁽¹⁵⁾, tem-se os fundamentos para discussão de adsorção de hidrocarbonetos apolares na superfície dos minerais. Esse tipo de adsorção pode ser considerada física por natureza. É bem conhecido que adsorção física pode ser dividida em adsorção eletrostática, por exemplo, adsorção de moléculas polares no retículo cristalino iônico, ou molhabilidade do retículo por um líquido polar, e adsorção dispersiva.

Durante a adsorção física a energia potencial consiste usualmente de energia de atração eletrostática e dispersiva e energia de repulsão.

No balanço geral da energia de adsorção durante a molhabilidade dos pós cristalinos com um retículo iônico por líquidos polares (com dipolos rígidos), o componente eletrostático orientado é de grande importância.

Outro caso de adsorção física é a interação dispersiva de compostos apolares com retículos cristalinos iônicos. Aqui o componente dispersivo da energia de adsorção prevalece.

Se, além da adsorção física, ocorre também quimissorção devido a reação química entre as moléculas do adsorvente e das substâncias adsorvidas, a energia de quimissorção deve ser adicionada às forças de van der Waals.

Se o retículo cristalino iônico adsorve fisicamente moléculas apolares de um hidrocarboneto líquido, o campo elétrico formado pelos ions do retículo induz momentos de dipolo nessas moléculas, e uma indução (o componente de indução das forças de van der Waals) é criada entre estes dipolos de baixo momento e os ions do retículo. A magnitude desta indução depende do potencial do campo

produzido pelos íons do retículo, e da magnitude dos momentos de dipolo induzidos por esse campo nas moléculas dos hidrocarbonetos. A magnitude destes momentos também depende das propriedades das moléculas adsorvidas. Outras condições sendo iguais, os dipolos induzidos nas moléculas adsorvidas aumentarão com o aumento da assimetria e comprimento das moléculas dos hidrocarbonetos apolares, embora algumas vezes essas moléculas podem ter um momento de dipolo menor que o delas próprias. A habilidade de moléculas apolares produzirem dipolos sob a influência do campo elétrico de retículo cristalino do mineral é caracterizada pelas propriedades combinadas destas moléculas, chamada polarizabilidade.

A polarização de moléculas leva a uma mudança na nuvem eletrônica nas moléculas sob a influência do campo elétrico interno. A polarização das moléculas apolares leva à formação de um momento de dipolo \mathbf{m} , o qual é proporcional ao potencial do campo \mathbf{E} produzido pelos íons do retículo cristalino do mineral:

$$\mathbf{m} = \alpha \cdot \mathbf{E} \quad (4.8)$$

onde o coeficiente α , chamado de polarizabilidade da molécula, caracteriza sua habilidade de tornar-se deformada. Moléculas polares têm um dipolo constante (rígido), sob a influência de um campo externo. Elas não somente tornam-se fortemente polarizadas, como também tornam-se facilmente orientadas com relação a este campo.

A interação entre moléculas polares ou entre moléculas polares e apolares (ou íons apolares) é o resultado de orientação mútua e deformação destas partículas.

A polarizabilidade das moléculas é o resultado da polarizabilidade de todos os átomos na molécula, mas não é a soma de suas polarizabilidades, uma vez que isso depende da natureza das ligações entre os grupos atômicos ⁽²⁾. Conhecendo-se as frequências de oscilação características das moléculas, pode-se calcular a

polarizabilidade média de uma ligação. A polarizabilidade média α pode ser calculada pela fórmula de Lorentz-Lorentz para refração molecular:

$$\mathbf{Mr} = ((n^2 - 1) / (n^2 + 2)). (\mathbf{M} / \mathbf{d}) \quad (4.9)$$

onde **Mr** é a refração molecular, **n** é o índice de refração, **d** é a densidade e **M** é o peso molecular.

Uma vez que a densidade dos hidrocarbonetos muda pouco, e o termo $(n^2 - 1) / (n^2 + 2)$ tende para a unidade se **n** aumenta, a refração molecular aumenta com o aumento do peso molecular da substância.

Se a refração molecular é conhecida, é possível determinar prontamente a polarizabilidade pela seguinte fórmula:

$$\mathbf{Mr} = (4 \pi \cdot \mathbf{N} \alpha) / 3 \quad (4.10)$$

onde **N** é o número de Avogadro. A polarizabilidade ($\text{cm}^3 \times 10^{-21}$) de diferentes compostos orgânicos é dada na tabela IV.10.

Tabela IV.10 ⁽²⁾ - Polarizabilidade

Parafinas	Polariz.	Aromáticos	Polariz.	Alcoois	Polariz.
Matano C ₁ H ₄	2,6	Benzeno C ₆ H ₆	10,4	Metil	3,9
Etano C ₂ H ₆	2,6	Difenil C ₁₂ H ₁₀	20,7	Etil	5,6
Propano C ₃ H ₈	6,3	p - xileno C ₈ H ₁₀	14,5	Propil	7,3
Butano C ₄ H ₁₀	8,2	Nafteno C ₁₀ H ₈	17,5	Butil	9,5
Pentano C ₅ H ₁₂	10,0	Mesitileno C ₉ H ₁₂	16,4	Amil	13,4
Hexano C ₆ H ₁₄	11,9			Octil	17,5
Heptano C ₇ H ₁₆	13,7				
Octano C ₈ H ₁₈	15,6				

Esses dados indicam que moléculas longas (parafínicas e alcoois alifáticos), e também moléculas com um grande número de anéis benzênicos ou com cadeias laterais parafínicas, têm uma alta polarizabilidade.

Quando discute-se adsorção de hidrocarbonetos aromáticos pelos minerais, deve-se lembrar que anéis benzênicos têm uma estrutura coplanar, o que significa que todos os seis átomos de carbono e hidrogênio estão no mesmo plano, e que as nuvens dos elétrons π dos átomos de carbono são perpendiculares ao plano da molécula e paralelos uns aos outros ⁽²⁾. Essa característica dos grupos benzênicos cria condições particularmente favoráveis para sua ligação na superfície de um mineral quando as moléculas são paralelas à superfície do mineral. Essa posição paralela é também energeticamente mais favorável durante a adsorção.

A característica mais importante dos compostos aromáticos é a coplanaridade das moléculas, que é a localização dos átomos de carbono e hidrogênio e das cadeias laterais no mesmo plano ⁽²⁾. Assim, as características acima do benzeno, as quais influenciam favoravelmente sua ligação na superfície dos minerais, estão presentes também em numerosos compostos orgânicos.

Finalmente, irá se discutir a adsorção de moléculas apolares complexas nos adsorventes apolares sob a influência das forças dispersivas (componentes de dispersão das forças de van der Waals).

A energia de adsorção destas moléculas pode ser calculada como a soma das energias potenciais de adsorção de suas conexões (centros de força) Q_i ⁽²⁾:

$$Q = \sum Q_i \quad (4.11)$$

Assim, por exemplo, a energia de adsorção de n – alceno (parafinas normais com conexões CH_3 e CH_2) com os eixos de suas moléculas paralelas à superfície da grafita, a qual corresponde à energia potencial mínima das moléculas totais, pode

ser escrita como a soma da energia potencial de adsorção destas conexões, e portanto é uma função linear do número de átomos de carbono (n):

$$-Q = - (2 Q_{\text{CH}_3} + (n-2) Q_{\text{CH}_2}) = - (2(Q_{\text{CH}_3} - Q_{\text{CH}_2}) + n Q_{\text{CH}_2}) = a + b n \quad (4.12)$$

Um cálculo baseado na fórmula acima mostra que a energia de adsorção dos hidrocarbonetos aumenta linearmente com o comprimento da cadeia (com o número de conexões CH_2 da molécula). Veja figura 4.6 ⁽²⁾.

Muitos estudos foram realizados, incluindo os executados por Dubinin e colaboradores ⁽¹⁶⁾, citados por Glembotskii ⁽²⁾, que utilizaram compostos polares, tais como argilas branqueadoras naturais, sílica gel, aluminossilicatos sintéticos, óxido de alumínio ativado etc. para adsorver hidrocarbonetos líquidos. Esses autores também observaram que a interação por efeito de orientação e indução é da maior importância na adsorção física nesses adsorventes.

As moléculas desses adsorventes consistem principalmente de óxidos de sílcio e alumínio, e adsorventes naturais incluem também óxidos de outros metais. A rede cristalina desses adsorventes contém íons Si^{4+} , Al^{3+} , Mg^{2+} , O^{2-} e OH^- complexados por íons $(\text{SiO}_4)^{4-}$, $(\text{AlO}_4)^{5-}$ etc.. Todos esses íons apresentam cargas elétricas e formam campos de força eletrostáticos que permanecem em larga extensão não compensados na superfície dos íons.

Uma vez que adsorventes polares têm campos de forças eletrostáticas, na adsorção o componente eletrostático prevalece sobre o componente de dispersão. Portanto, adsorventes desse tipo adsorvem mais ativamente com o aumento dos momentos de dipolo dos hidrocarbonetos. A adsorção de componentes apolares desses adsorventes é determinada pela formação de dipolos induzidos nas moléculas dos componentes apolares adsorvidos.

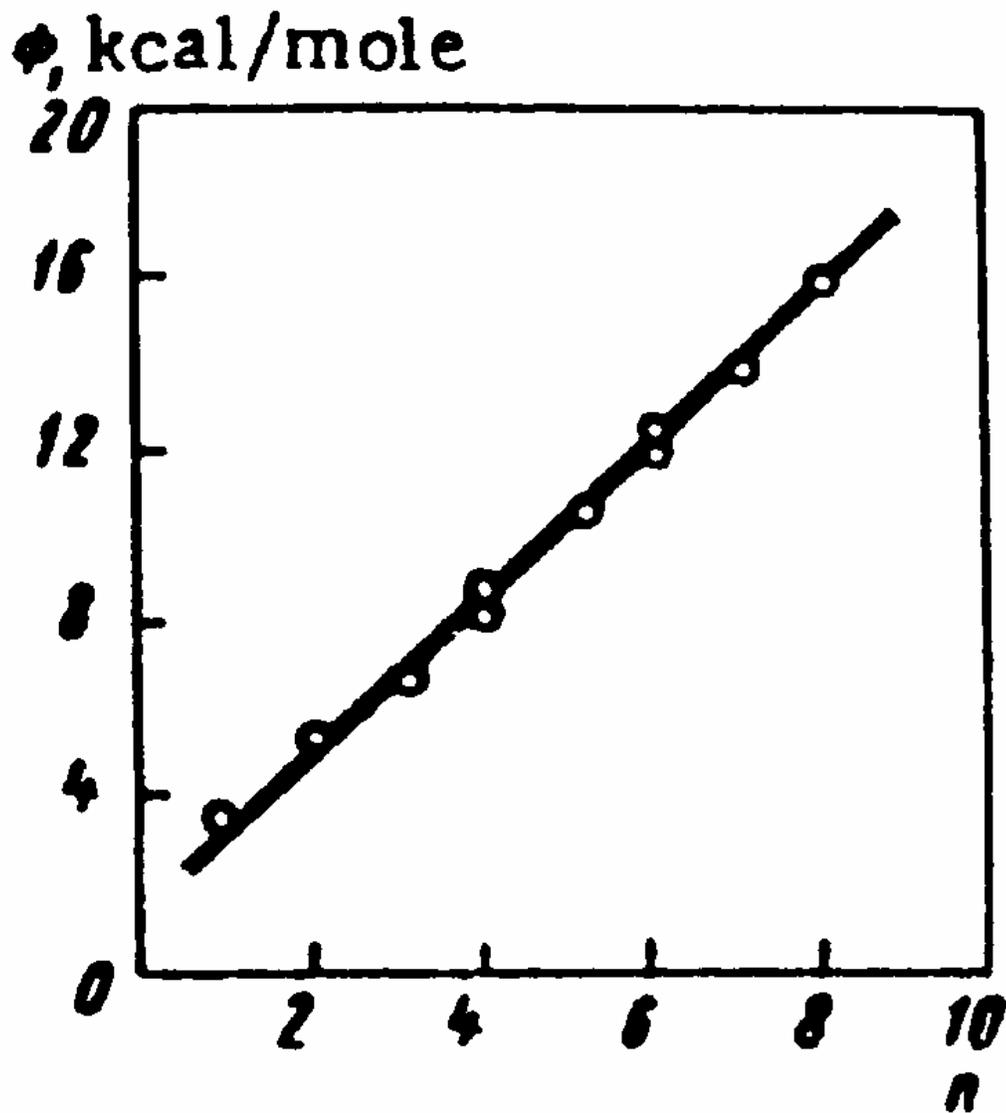


Figura 4.6 ⁽²⁾ – Dependência dos dados experimentais e calculados da energia potencial de adsorção de n-alcenos nos planos basais da grafita com o número de átomos de carbono (**n**) na molécula.

O oposto é verdadeiro na adsorção de adsorventes apolares (carvão ativado e ferrugem (“rust”). Carvão ativado tem uma estrutura similar àquela da grafita, e sua superfície, em contraste com aquela do adsorvente polar, consistindo de átomos de carbono eletricamente neutros, não tendo quase nenhum centro de carga, e é apolar. Portanto, forças eletrostáticas são de pequena importância durante adsorção no carbono. Aqui, os fatores principais são as forças de dispersão, as quais são muito mais fracas que as forças eletrostáticas. Assim, carbono é hidrofóbico uma vez que a energia de interação entre os dipolos da água excede a energia de interação da água com o carbono, e portanto, a adsorção no carbono decresce com o aumento na polaridade do adsorvado.

Uma vez que o calor de molhabilidade é uma indicação bastante acurada da energia de atração das moléculas de algum líquido na superfície de um sólido adsorvente, grande atenção deve ser prestada a esse fenômeno. Estudos nos adsorventes como os fluoretos e alumina (adsorventes polares) e carbono (adsorvente apolar) têm mostrado que com o aumento no grau de insaturação química, o calor de molhabilidade aumenta. Esses hidrocarbonetos incluem principalmente compostos com ligações duplas. Hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos, e compostos saturados e simétricos, têm um calor de molhabilidade menor. Compostos aromáticos tomam uma posição intermediária.

Gurevich ⁽¹⁷⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, foi um dos primeiros a formular a teoria de adsorção, e observou que compostos contendo oxigênio adsorvidos nos adsorventes polares típicos, como os fluoretos e alumina, envolvem mais calor que no carbono. Hidrocarbonetos, ao contrário, têm calores de molhabilidade mais altos durante adsorção no carbono, que nos adsorventes polares.

Gurevich acredita que, dos compostos do fracionamento do petróleo, as substâncias alcatrão-asfálticas são adsorvidas mais intensamente pelos aluminossilicatos e compostos aromáticos e naftênicos (em menor intensidade), enquanto os parafínicos são muito menos adsorvidos. Hidrocarbonetos

insaturados, particularmente diolefinas (que são hidrocarbonetos com duas duplas ligações nas moléculas), são adsorvidos melhor que hidrocarbonetos parafínicos e alcatrões nos aluminossilicatos.

De acordo com Rossinni ⁽¹⁸⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, a adsorção de hidrocarbonetos do petróleo na sílica gel decresce na seguinte ordem: hidrocarbonetos aromáticos bicíclicos ou policíclicos, hidrocarbonetos aromáticos monocíclicos, naftênicos e parafínicos. O autor também verificou que os hidrocarbonetos aromáticos cíclicos são adsorvidos mais fortemente que naftênicos e parafínicos.

Kiselev ⁽¹⁹⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, observou que na sílica gel a adsorção considerável de hidrocarbonetos aromáticos e olefinas, das suas misturas com hidrocarbonetos saturados, é devido às propriedades básicas dessas substâncias. A adsorção de hidrocarbonetos aromáticos substituídos é o resultado da combinação do momento de dipolo induzido, o qual promove adsorção, e do fortalecimento das propriedades básicas do anel e a ação de enfraquecimento dos substitutos alifáticos.

A boa adsorção das substâncias alcatrão-asfálticas nos aluminossilicatos e na sílica gel é explicada pela alta polarização desses compostos, e pelo fato que essas moléculas contêm anéis aromáticos condensados, oxigênio e nitrogênio, o que aumenta a interação doador-receptor. A ativa adsorção dos hidrocarbonetos aromáticos pelos aluminossilicatos e sílica gel, apesar da apolaridade desses hidrocarbonetos, é devido à formação do momento de dipolo induzido pelo campo eletrostático da superfície dos adsorventes.

Le Fevra et al., citados por Glembotskii ⁽²⁾, mostraram que hidrocarbonetos insaturados, particularmente os aromáticos, têm a maior média de polarização molecular. Isso é menos evidente nos hidrocarbonetos naftênicos e parafínicos. Portanto, solventes polares e adsorventes polares podem facilmente induzir

momento de dipolo nos hidrocarbonetos, como os benzênicos e seus derivados. As mais favoráveis condições para induzir momentos de dipolo em hidrocarbonetos aromáticos são criadas quando os anéis aromáticos são pouco protegidos pelas cadeias alifáticas ou anéis naftênicos. Essas propriedades dos hidrocarbonetos aromáticos e insaturados explicam sua boa adsorção pelos adsorventes apolares. Deve ser adicionado também que um aumento no número de anéis nos hidrocarbonetos aromáticos aumenta sua polarizabilidade, enquanto um aumento no número de átomos de carbono nas cadeias laterais decresce a polarizabilidade. É muito importante notar que compostos com enxofre dos óleos fracionados do petróleo são adsorvidos nos minerais polares tão ativamente quanto os hidrocarbonetos aromáticos.

A adsorção de hidrocarbonetos no carbono é diferente daquela dos adsorventes polares como os aluminossilicatos, sílica gel etc..

Hidrocarbonetos alifáticos insaturados (olefinas) são adsorvidos no carbono em menor intensidade que hidrocarbonetos saturados (parafinas). Compostos normais são adsorvidos mais intensamente e isocompostos menos. Deici e Thomas, citados por Glembotskii ⁽²⁾, estudaram a taxa de adsorção de hidrocarbonetos individuais no carbono e observaram que parafinas normais e moléculas planas de hidrocarbonetos aromáticos (benzeno) são adsorvidas mais rapidamente que isoparafinas e naftenos, os quais têm anéis tri-dimensionais (ciclohexano, decalin).

Se uma mistura de dois hidrocarbonetos isoméricos é adsorvida no carbono, o hidrocarboneto com a cadeia menos ramificada é preferencialmente adsorvido. Breshchenko ⁽²⁰⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, analisou as razões para a adsorção preferencial dos hidrocarbonetos não ramificados no carbono, e acredita que a fraca adsorção de hidrocarbonetos ramificados é devido à distribuição característica de forças nas cadeias, e a certos fatores geométricos. Cadeias normais (não ramificadas) têm forças intermoleculares distribuídas uniformemente, as quais são mais fortes na direção perpendicular do eixo da molécula e mais

fracas na direção paralela a esse eixo. Essa distribuição das forças de dispersão explica a habilidade das moléculas de hidrocarbonetos parafínicos não ramificados de permanecerem orientadas paralelamente umas às outras nos líquidos hidrocarbônicos, com a formação dos cristais líquidos.

Nametkin ⁽¹⁰⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, acredita que assumindo-se que a adsorção de hidrocarbonetos é determinada pelas forças intermoleculares, é obvio que se outras condições são iguais, a massa da substância adsorvida crescerá com o aumento de seu peso molecular.

4.3.3. Adesão de hidrocarbonetos individuais na superfície de oxi-minerais e minerais sulfetados

Já foram discutidos vastamente os aspectos teóricos da atração de hidrocarbonetos apolares pela superfície dos minerais, levando em consideração todas as classes de hidrocarbonetos, sua saturação, seu comprimento e ramificação, e suas propriedades físicas e físico-químicas, sua contaminação por compostos heteropolares, os quais podem interagir com a rede cristalina dos minerais e, finalmente, a natureza das ligações insaturadas livres na superfície dos minerais. Foi mostrado também que todas as propriedades dos compostos apolares diretamente relacionadas à sua ligação na superfície dos minerais são relacionadas com a viscosidade. Uma vez que todas as propriedades dos coletores apolares são relacionadas à viscosidade, um completo estudo da influência da viscosidade na adesão dos coletores à superfície dos minerais e na hidrofobicidade de suas superfícies é de grande interesse prático e teórico.

Primeiramente tem-se que relacionar a viscosidade diretamente à ação de forças intermoleculares no processo de ligação de óleos e de querosene aos minerais e, em segundo lugar, tem-se que discutir a influência da viscosidade em relação aos resultados finais do processo, e não os seus aspectos individuais (distribuição dos reagentes na polpa, dispersão, temperatura, duração do condicionamento etc.). Uma vez que dados conflitantes da influência da viscosidade dos óleos e seus efeitos na flotação podem ser encontrados na literatura, é necessário estudar a adesão de hidrocarbonetos individuais, sob condição de molhabilidade seletiva, nos sulfetos típicos e nos oxi-minerais.

Pela medida de ângulos de contato nos minerais depois do tratamento com vários hidrocarbonetos em meio aquoso, e calculando a energia de adesão desses hidrocarbonetos, é possível determinar sua eficácia como reagentes hidrofóbicos, a força de sua ligação na superfície dos minerais, a influência da estrutura e comprimento de suas moléculas na força da ligação, e a dependência dos resultados na viscosidade dos hidrocarbonetos.

A equação da energia de adesão $W = \sigma (1 - \cos\theta)$ contém os termos da tensão de superfície da interface σ do carbono-água, e o ângulo de contato θ . A tabela IV.6 mostra que, para parafinas e naftenos de propriedades similares, σ é quase constante e igual a 50 erg/cm^2 e para hidrocarbonetos aromáticos σ tem um valor médio de 38 erg/cm^2 .

Conseqüentemente, a energia de adesão dos compostos de mesma série homóloga depende principalmente do ângulo de contato θ e de seu cosseno (o ângulo é calculado na direção da fase aquosa).

A figura 4.7 e a tabela IV.11 mostram os valores experimentais da viscosidade e do ângulo de contato (adesão) de varios hidrocarbonetos na hematita.

Adicionalmente a essas correlações entre adesão e viscosidade, observou-se que um decréscimo na viscosidade de todos os hidrocarbonetos discutidos envolve um decréscimo na adesão ao mineral (decréscimo em θ). Verificou-se também que hidrocarbonetos aromáticos alcançam o mesmo ângulo de contato a baixa viscosidade que parafinas. Assim, por exemplo, o mesmo valor de θ (37° a 39°) é obtido por parafinas e naftenos relacionados (cicloparafinas) a uma viscosidade de 1,18 centipoise, mas benzeno, o-xileno e xileno alcançam esse ângulo de contato a viscosidades de 0,417, 0,804 e 0,514 centipoise, respectivamente. Isso confirma um vez mais que mantendo-se outras condições iguais, a coplanaridade dos compostos aromáticos garante melhor adesão.

Hidrocarbonetos naftênicos (cicloparafinas), os quais não têm essa propriedade, apresentam uma adesão próxima daquela das parafinas. Por exemplo, undecano e ciclohexano, com uma viscosidade de 0,755 centipoise, têm a mesma adesão, mas decalin e hexadecano têm quase a mesma adesão a 1,18 centipoise.

θ , Graus

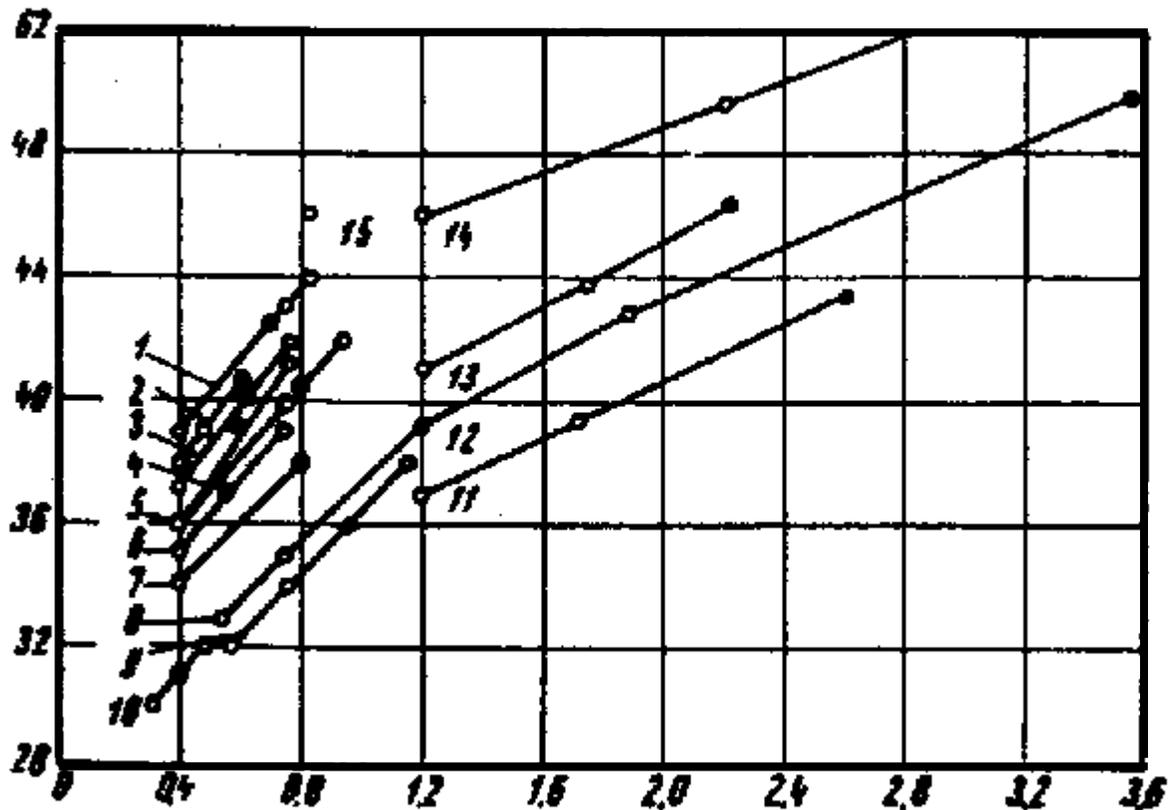
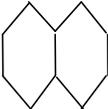
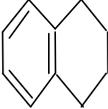


Figura 4.7 – Influência da viscosidade e natureza química dos hidrocarbonetos na molhabilidade da hematita em meio aquoso:

1 – Mesitileno (1,3,5 – Trimetilbenzeno); 2 – p-xileno; 3 – benzeno; 4 – m-xileno; 5 – isopropilbenzeno. 6 – tolueno; 7 – o-xileno; 8 – undecano; 9 – ciclohexano; 10 – heptano; 11 – decalin; 12 – hexadecano; 13 – tetralin; 14 - α - metilnafteno; 15 – nafteno. Viscosidade dos hidrocarbonetos a 20° c.

Tabela IV.11 ⁽²⁾ - Influência da viscosidade dos hidrocarb. no ângulo de contato.

Hidrocarboneto	t, ° C	η , centipoise	θ , graus
Heptano C ₇ H ₁₆	5	0.496	32
	20	0.417	31
	40	0.339	30
Undecano C ₁₁ H ₂₄	20	1.18	39
	52	0.755	35
	80	0.535	33
Hexadecano C ₁₆ H ₃₄	20	3451	50
	50	1.9	43
	80	1.18	39
Ciclohexano C ₆ H ₁₂	10	1.18	38
	20	0.979	36
	36	0.755	34
	55	0.57	32
Decalin  C ₁₀ H ₁₈	20	2.6	44
	52	1.65	39
	70	1.18	37
Tetralin  C ₁₀ H ₁₂	20	2.2	47
	33	1.65	44
	62	1.18	41
Benzeno C ₆ H ₆	10	0.755	42
	20	0.649	40
	55	0.417	37
Tolueno C ₆ H ₅ .CH ₃	2	0.755	39
	20	0.584	37
	52	0.417	35
o - Xileno C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	20	0.804	38
	80	0.417	34
m - Xileno C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	5	0.755	41
	20	0.615	39
	57	0.417	36
p - Xileno C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	20	0.648	41
	40	0.514	39
	60	0.416	38
Mesitileno (1,3,4-trimetilbenzeno) C ₆ H ₃ (CH ₃) ₂	10	0.830	44
	17	0.755	43
	62	0.417	39
Cumeno (isopropilbenzeno) C ₆ H ₅ .C ₃ H ₇	10	0.916	42
	22	0.755	40
	78	0.417	36

É interessante que decalin e tetralin têm dois anéis de seis membros, mas a presença de um único anel benzênico no tetralin aumenta sua adesão, como pode ser visto pelo fato de que à viscosidade de 1,65 centipoise o ângulo de contato do decalin é igual a 39° e o do tetralin 44°. P-xileno tem uma adesão algo melhor que os outros 2 isômeros, os quais têm momentos de dipolo (o-xileno apresenta um elevado momento de dipolo e a mais baixa adesão). Em ambos os casos o aumento no momento de dipolo aparentemente influencia a interação de xilenos com água, mais que com o mineral, e diminui a adesão.

Resultados característicos têm também sido obtidos com minerais sulfetados: para o menos hidrofóbico calcopirita e para o extremamente hidrofóbico molibdenita, o ângulo de contato foi medido à mesma temperatura (20° a 25° C) e os resultados foram os seguintes:

Hidrocarboneto	CuFeS₂	MoS₂
Heptano	55	70
Undecano	58	73
Hexadecano	61	78
Ciclohexano	38	54
Decalin	41	68
Benzeno	41	52
Tolueno	47	52
o-xileno	45	58
m-xileno	42	59
p-xileno	38	52
Mesitileno	45	64
Cumeno	43	61
α - metilnafteno	59	77

Por causa da influência do estado de oxidação da superfície dos minerais sulfetados, os resultados são menos confiáveis e acurados que aqueles obtidos com os oxi-minerais. Uma vez que a molibdenita tem uma hidrofobicidade bem

maior que a calcopirita, a adesão de todos os hidrocarbonetos na mesma é também maior. Se os hidrocarbonetos forem ordenados de acordo com sua seqüência decrescente de adesão, os primeiros 4 compostos teriam as mesmas posições para ambos os minerais: hexadecano, α -metilnafteno, undecano e heptano.

A diferença entre o efeito dos hidrocarbonetos parafínicos e aromáticos nos sulfetos não é tão grande quanto o observado no oxi-mineral hematita. Adicionalmente, benzeno tem um menor ângulo de contato na hematita que o hexadecano, mas uma maior adesão que heptano e undecano. Nos sulfetos, o ângulo de contato do hexadecano, heptano e undecano é menor, mas a diferença é mais quantitativa que qualitativa. Para isômeros do xileno, os quais apresentam momentos de dipolo, a dependência da adesão em relação ao momento de dipolo não é tão forte quanto no caso da hematita. Entretanto, como já mencionado anteriormente, a influência dos dipolos pode ser conflitante. Por um lado eles podem aumentar a adesão devido à ação no componente eletrostático das forças de van der Waals, mas por outro lado podem decrescer a adesão devido à hidratação do hidrocarboneto na interface hidrocarboneto-água.

4.3.4. Estudos de flotação com produtos comerciais

O efeito, na flotação, de óleos apolares é grandemente aumentado com um aumento na viscosidade, passando de 3 para 200 centistoke.

Um estudo de emulsões de diferentes óleos com uma viscosidade de 3 a 1080 centistokes tem mostrado que a estabilidade de emulsões aquosas de óleos produzidos sob idênticas condições, decresce com o aumento na viscosidade do óleo. Se os óleos são emulsificados a temperaturas nas quais a viscosidade deles é a mesma, a estabilidade e as densidades óticas das emulsões obtidas são também as mesmas. Isso confirma a afirmação que, se outras condições são iguais, a viscosidade é a medida das forças de atração intermolecular dos óleos. Se essas forças aumentam, a ligação das moléculas do óleo na superfície dos minerais é mais forte, uma vez que isso é determinado pelo mesmo tipo de forças. Outra prova da grande importância da viscosidade dos óleos é dada pelos dados de flotação de óxidos de ferro naturais por misturas de coletores heteropolares e apolares. Nestes experimentos, as recuperações aumentam com aumento da viscosidade dos coletores apolares. A ligação de óleos na superfície dos minerais durante a flotação por misturas de coletores apolares e heteropolares é grandemente influenciada pela ordem de adição dos coletores à polpa. Experimentos com hematita mostraram que a adição do IS-45 depois do óleo heteropolar vetluga (fenol polihídrico com uma cadeia alifática lateral contendo de 3 a 5 átomos de carbono) produz menores recuperações que a adição simultânea de ambos coletores à polpa.

Esses resultados indiretamente confirmam a grande eficácia do método de ligação de coletores apolares na superfície dos oxi-minerais. Os coletores estão na forma de gotículas de óleo cobertas por moléculas de coletores heteropolares contendo grupos polares, quimicamente ativos, posicionados em direção à fase aquosa e dos rabos dos hidrocarbonetos imersos no óleo apolar ⁽²⁾. Assim é possível usar grupos quimicamente ativos de coletores apolares como uma ponte de ligação entre a superfície do mineral e as gotículas de óleo.

Se a concentração do coletor apolar é baixa, a densidade da camada adsorvida na superfície das gotículas de óleo é baixa, e uma grande porção das gotículas de óleo está livre do reagente heteropolar. Se o mineral tem superfície de vários graus de hidratação (por causa de heterogeneidade), as superfícies hidrofóbicas das gotas cobertas por coletores heteropolares cria as mais favoráveis condições para a ligação dessas gotículas ao mineral.

Se a camada de adsorção do coletor heteropolar é densa, um grande número de grupos polares, altamente hidratados, na superfície da gotícula de óleo, leva a uma diminuição do efeito hidrofóbico dessas gotículas na superfície do mineral. Tem sido experimentalmente mostrado que é possível reduzir o consumo dos coletores heteropolares caros em cerca de 30 a 50%, pela adição de pequenas quantidades dos óleos apolares mais baratos.

Com o objetivo de investigar a influência da composição e viscosidade dos hidrocarbonetos na flotação, condicionou-se hematita (martita) com misturas de coletores apolares de vários grupos e oleato de sódio, conforme tabela IV.12 abaixo.

A tabela IV.12 mostra que as viscosidades de todos os hidrocarbonetos estudados a 20°C variaram de 22 a 2.000 centistokes. Em todos os testes o consumo de ambos: oleato de sódio, adicionado à polpa, e do coletor apolar, emulsionado, foi de 100 g/t. A eficácia dos coletores apolares foi determinada pelo aumento na recuperação da martita, calculado pela dedução da recuperação da martita obtida pela flotação com oleato de sódio somente, da recuperação alcançada pela adição do coletor apolar.

Pode-se ver também que hidrocarbonetos aromáticos são mais efetivos que os naftênicos ou iso-parafínicos de mesmo peso molecular. Se o peso molecular é aumentado, os hidrocarbonetos aromáticos são ainda mais eficientes.

Tabela IV.12 ⁽²⁾ - Influência da composição dos hidrocarbonetos na flotação da martita.

Nº da amostra	Grupo hidrocarbônico	Peso molecular	Densidade (g/cm ³)	Viscosidade , centistoke		Temperatura durante a emulsificação, °C	Densidade ótica da emulsão	Aumento de recuperação, % abs.
				durante a flotação (20°C)	durante a emulsificação			
1	Naftenos	300	0.83	22.78	23.0	20	0.223	7
2	Aromáticos	300	0.93	34.8	23.0	30	0.216	11
3	Isoparafinas	300	0.79	30.09	23.0	25	0.225	8
4	Naftenos	500	0.86	371.0	23.0	81	0.235	18
5	Aromáticos	500	0.96	2000.0	23.0	78	0.195	22
6	Naftenos	133	0.86	3.0	-	-	-	-
7	Parafinas	245	0.78	4.0	-	-	-	-

Porém, embora a composição dos hidrocarbonetos afete a flotação, essa influência é geralmente menor que aquela da viscosidade.

Tem sido demonstrado que misturas de coletores heteropolares e apolares de várias composições e em diferentes proporções são mais efetivas se sua viscosidade for aumentada.

A proporção do coletor apolar para o heteropolar, e uma mudança na composição do coletor heteropolar sem uma mudança na composição do coletor apolar, são de grande importância prática. Por exemplo, na flotação do minério de ferro por misturas contendo substâncias heteropolares como o óleo Vetluga (fenol polihidríco com cadeia alifática lateral), oleato de sódio ou ácido naftênico, boas recuperações são obtidas com coletor apolar com viscosidade variando de 200 a 400 centistokes, mas se o óleo vetluga for substituído por produtos de sua hidrólise (substâncias similares ao óleo vetluga, mas destiladas a temperatura mais alta), resultados satisfatórios são obtidos com coletores apolares com uma viscosidade variando de 30 a 50 centistokes.

4.4. O uso de óleos apolares para flotação

4.4.1. A emulsificação dos óleos apolares

A eficácia dos reagentes espumantes e dos reagentes apolares durante a flotação é muito dependente da preparação dos mesmos antes da flotação. A adição direta de reagentes oleosos na polpa, sem emulsificação, não é efetiva, mesmo se produtos de baixa viscosidade (querosene) são usados. Uma vez que eles são pobremente dispersos na máquina de flotação, uma grande quantidade de óleo flota para a superfície e passa através da espuma, aumentando assim o consumo do reagente e a contaminação dos efluentes aquosos.

O uso de emulsões de reagentes espumantes oleosos (xileno, piridina etc.) e de reagentes apolares em água decresce o consumo do reagente de 20 a 75%, facilita o controle e freqüentemente aumenta a seletividade do processo e a recuperação dos minerais ⁽²⁾.

A flotação é empregada para vários tipos de minérios que possuem diferentes características: hidrofobicidade natural, impregnação, tamanho de partículas etc. Portanto, óleos com diferentes propriedades físico-químicas podem ser usados: desde óleos de baixa viscosidade (óleo diesel, querosene), até bem mais viscosos. Naturalmente, as condições de emulsificação podem também ser diferentes, e devem ser escolhidas como resultado de vasta pesquisa das propriedades das emulsões e métodos para sua preparação.

Acredita-se que a resistência à agregação de emulsões estabilizadas é influenciada por um dos seguintes fatores: a dupla camada elétrica na interface e a camada de reagente estabilizante, com propriedade mecânica e estrutural bem definida, nas gotas de óleo. O segundo fator é mais provável, embora acredita-se que a dupla camada elétrica tenha uma certa influência também.

Emulsões são sistemas dispersos, termodinamicamente instáveis, de dois líquidos imiscíveis: um meio de dispersão e a fase dispersa. Tem-se dois tipos de emulsões: óleo em água (O/W) e água em óleo (W/O).

Emulsões, como outros sistemas dispersos, são caracterizadas pela granulometria das gotas (diâmetro médio d), e área total de superfície da interface (S_{Tot}), a qual é determinada com base na característica granulométrica:

$$S_{Tot} = 3,142 \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (4.13)$$

$$V = 0,5236 \sum_{i=1}^n d_i^3 \quad (4.14)$$

onde n é o número de gotas.

Emulsões são chamadas monodispersas se todas as gotas são do mesmo tamanho. Essa propriedade pode ser vista somente em emulsões de óleos de baixa viscosidade ⁽²⁾.

Rebinder ⁽²¹⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, classificou todos os sistemas dispersos de duas fases em dois grupos, de acordo com a energia livre da interface (tensão de superfície) σ_m : sistemas liofóbicos e sistemas liofílicos. Sistemas dispersos liofóbicos são aqueles para o qual:

$$\sigma_m = \gamma \cdot \frac{RT}{N\delta} \geq 0,1 \text{ erg/cm}^2 \quad (4.15)$$

Onde δ é o diâmetro médio das partículas que participam do movimento Browniano ($\delta = 10^{-6}$ cm ou $0,01 \mu$); γ é um fator adimensional ($\gamma=30$); $R = 8,31 \times 10^7$ erg/mole. ° C é a constante dos gases; $N = 6 \times 10^{23}$ é o número de

Avogadro ($\frac{R}{N}$ é a constante de Boltzmann); $T = 300$ ° K é a temperatura absoluta. Em sistemas liofílicos $\sigma_m \leq 0,1$ erg/cm².

Em emulsões obtidas sem nenhum reagente estabilizante, as fases contíguas, óleo apolar e água, são separadas por uma fina camada de transição, consistindo de moléculas de óleo e água. As propriedades dessa camada diferem daquelas das fases contíguas, e variam continuamente segundo a seção transversal. Se as fases contíguas estão em estado de equilíbrio, a tensão de superfície na camada de transição pode ser descrita pela equação:

$$\sigma_{ab} = \sigma_a - \sigma_b \quad (4.16)$$

Onde σ_{ab} é a tensão de superfície na interface, que está na camada de transição; σ_a e σ_b são os valores da tensão de superfície do óleo apolar e água, respectivamente, na interface líquido-vapor.

A tensão de superfície de hidrocarbonetos saturados na interface óleo-água é igual a cerca de 50 erg/cm². Consequentemente, $\sigma_{ab} = 72,8 - 50 = 22,8$ erg/cm², a qual é muito maior que 0,1 erg/cm². Assim, emulsões de óleos apolares em água são liofóbicas.

As forças moleculares livres na superfície das gotículas dos óleos apolares permanecem não compensadas pelo meio ao redor (uma vez que são imiscíveis). Isso leva à coalescência das gotículas de óleo. A instabilidade de agregação desses sistemas (taxa de coalescência) aumenta com o aumento na intensidade do movimento Browniano e a probabilidade de colisões efetivas, isto é, com o aumento na concentração da fase dispersa, há decréscimo nas dimensões das gotículas e aumento na temperatura.

Kremnev e Revdal ⁽²²⁾, citados por Glembotskii ⁽²⁾, estudaram a dependência do tempo de coalescência em relação às dimensões das gotículas da emulsão, e usaram a derivada da fórmula de Smoluchowski para descrever o processo de coagulação das partículas não dispersas. Após um número de transformações derivaram a seguinte fórmula:

$$\tau = 1,8 \times 10^{11} \varphi - \varphi_0 \quad (4.17)$$

Onde φ_0 e φ são o volume inicial e final das gotículas, respectivamente. Se o diâmetro da gotícula aumenta 10 vezes, seu volume aumenta 1.000 vezes. Conseqüentemente, $\varphi \gg \varphi_0$, e φ_0 pode ser desconsiderado. Assim, a fórmula pode ser escrita da seguinte forma:

$$\tau = 1,8 \times 10^{11} \varphi \quad (4.18)$$

Substituindo-se φ pelo diâmetro das gotículas ($V = (\pi D^3) / 6$), obtém-se a seguinte fórmula:

$$\tau = 9,42 \times 10^{10} D^3 \quad (4.19)$$

através da qual é possível calcular a influência do volume da gotícula sobre o tempo de coalescência. Veja Tabela IV.13.

Em emulsões polidispersas a coalescência é sempre mais rápida.

Para aumentar a estabilidade das emulsões, reagentes ativos na superfície (ionogênicos e não ionogênicos) são adicionados. Os reagentes ativos na superfície são adsorvidos na interface entre as fases líquidas, e filmes estabilizantes de adsorção são formados, os quais impedem mecanicamente agregação, e particularmente a coalescência das gotículas.

Tabela IV.13 ⁽²⁾ - Tempo de coalescência de emulsões monodispersas (a 18°C).

Diâmetro das gotículas		Tempo de coalescência (segundo) para a concentração da fase dispersa na emulsão de (%):		
cm	μ	99.0	10.0	1.0
10^{-6}	0.01	$9.42 \cdot 10^{-8}$	$9.42 \cdot 10^{-7}$	$9.42 \cdot 10^{-6}$
10^{-5}	0.10	$9.42 \cdot 10^{-5}$	$9.42 \cdot 10^{-4}$	$9.42 \cdot 10^{-3}$
10^{-4}	1.00	$9.42 \cdot 10^{-2}$	$9.42 \cdot 10^{-1}$	$9.42 \cdot 10^0$
10^{-3}	10.00	$9.42 \cdot 10^1$	$9.42 \cdot 10^2$	$9.42 \cdot 10^3$

Nota: As emulsões foram obtidas sem reagente

Teorias modernas descrevem a estrutura das camadas protetoras nas emulsões da seguinte forma: o radical hidrocarboneto do reagente estabilizante é solvatado pela fase oleosa, e o grupo polar desse reagente é solvatado pela fase polar (usualmente água). Esse arranjo de moléculas do reagente emulsificante corresponde ao mínimo de energia livre do sistema.

O número de moléculas do reagente estabilizante (emulsificante) adsorvidas na interface é determinado pela equação de Gibbs:

$$\Gamma = - \frac{C}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dC} \quad (4.20)$$

Onde C é a concentração do reagente emulsificante na solução e Γ é a adsorção do reagente emulsificante.

Para $\Gamma = \Gamma_{\infty}$, isto é, quando a superfície total das gotículas da emulsão é coberta pelas moléculas do reagente emulsificante, a tensão de superfície na interface gotícula de óleo-água fica próxima da tensão de superfície do reagente emulsificante. Conseqüentemente a adsorção do reagente emulsificante depende de sua concentração, da temperatura e de σ , em outras palavras, da natureza do reagente emulsificante.

A influência da natureza do reagente emulsificante é bem ilustrada pela equação de Shishkovskii:

$$\sigma_0 - \sigma_s = b \ln \left(\frac{C}{\alpha} + 1 \right) \quad (4.21)$$

Onde σ_0 e σ_s são os valores da tensão de superfície do solvente puro e da solução (neste caso em estudo, do hidrocarboneto e da solução),

respectivamente; $b = RT\Gamma_{Max}$ é uma constante, fixada para dadas séries homólogas. A área de superfície ocupada por uma molécula pode ser escrita como:

$$S_0 = \frac{1}{N \cdot \Gamma_{Max}} \quad (4.22)$$

onde Γ_{Max} é uma estimativa do número de moléculas por unidade de superfície.

S_0 é diferente para diferentes séries homólogas. Para ácidos graxos insaturados monobásicos e alcóois $S_0 = 21 \times 10^6 \text{ cm}^2 = 21 \text{ } \oplus^2$.

A segunda constante da equação é a recíproca da atividade de adsorção da substância:

$$\alpha = \frac{1}{a} \quad (4.23)$$

Onde $a = K_a/K_b$ onde K_a e K_b são as constantes de taxas de adsorção e dessorção. A atividade de adsorção aumenta dentro das séries homólogas.

Um equilíbrio é estabelecido na interface entre a tendência do grupo polar puxar as moléculas do reagente estabilizante para dentro da água e a atração das cadeias de hidrocarbonetos para o interior do óleo. As moléculas do reagente emulsificante podem, não somente serem orientadas para a interface, mas permanecerem na superfície das gotículas de óleo e formarem uma camada de adsorção estável. A estabilidade desta camada de adsorção é influenciada mais pela suas propriedades estruturais e mecânicas que pela sua baixa tensão de superfície na interface causada pela adsorção do reagente emulsificante. Essas propriedades da camada estabilizante são determinadas por sua viscosidade, a qual gradualmente aumenta de uma viscosidade normal do meio de dispersão na

camada difusional, para uma viscosidade máxima na vizinhança direta da superfície da gotícula. Rebinder ⁽²¹⁾ observa que a camada estável pode não somente ter uma alta viscosidade e elasticidade, mas também pode ter a habilidade de tornar-se restaurável se rupturas locais ocorrem.

A espessura do filme de adsorção (δ) varia em uma ampla faixa (de 500 a 30 \AA), e depende da concentração da fase dispersa e da concentração e tipo do reagente estabilizante (emulsificante). Filmes estabilizantes delgados são formados em emulsões extremamente concentradas, nas quais quase a totalidade do meio de dispersão é retido nos filmes solvatados. Esses tipos de emulsões são quase imóveis, uma vez que é raro ter alguma água livre entre o filme de adsorção, a qual pode agir como um lubrificante para decrescer a fricção entre os filmes.

Os valores críticos de δ para emulsões extremamente concentradas são dados na tabela IV.14, a qual mostra que a espessura do filme de adsorção nas gotas de óleo nas emulsões extremamente concentradas depende da habilidade do reagente estabilizante tornar-se bem hidratado.

Kremnev ⁽²²⁾, citado por Glembotskii, observou que emulsões de O/W e W/O são formadas se $\delta_{cr}^i / \delta_{cr}^o > 1$ e se $\delta_{cr}^i / \delta_{cr}^o < 1$, respectivamente, onde δ_{cr}^i é a espessura crítica do filme de adsorção em emulsões O/W e δ_{cr}^o é a espessura crítica nas emulsões W/O. Para emulsões O/W, a espessura crítica é igual a $1 \times 10^{-2} \mu$ e para emulsões W/O a mesma é igual a $0,6 \times 10^{-2} \mu$.

O tipo do grupo polar ou o número desses grupos no reagente estabilizante não determina inteiramente a sua eficácia. A atividade do reagente estabilizante é também grandemente influenciada pelo comprimento da cadeia hidrocarbônica,

Tabela IV.14 ⁽²⁾ - Espessura das camadas de adsorção nas emulsões com diferentes reagentes emulsificantes.

Reagente estabilizante	Hidrocarboneto	Conteúdo da fase dispersa, volume %	Espessura do filme de adsorção, A ²	Referência
Oleato de sódio	Gasolina	98.0	350	(53)
Oleato de sódio	Gasolina	99.3	100	(54)
Oleato de sódio	Benzeno	99.3	60	(55)
Oleato de trietanolamina	Benzeno	99.3	100	(56)
Oleato de potássio	Benzeno	99.3	50	-
Oleato de amônia	Benzeno	99.3	30	(55)
Oleato de cério	Benzeno	99.3	20	(56)
Estearato de sódio (70% de saponificação)	Parafina	99.3	400	(57)
Estearato de trietanolamina	Benzeno	99.3	110	(56)
Gelatina	Heptano	90.0	1000	(23)
Caseinato de amônia	Heptano	90.9	550	(23)

uma vez que as forças de ação das moléculas do reagente estabilizante são orientadas em direções opostas.

Nos reagentes emulsificantes as propriedades dos radicais devem prevalecer sobre aquelas dos grupos polares ⁽²⁾. Tem sido experimentalmente demonstrado que reagentes ativos na superfície mais específicos são reagentes emulsificantes fracos, por causa da sua inadequada habilidade de formar colóides.

A tabela IV.15 mostra que se a cadeia hidrocarbônica diminui, a espessura crítica decresce de 11×10^{-3} para $3 \times 10^{-3} \mu$, uma vez que embora as forças de hidratação do grupo polar sejam fixas, as forças de solvatação do radical com o óleo decrescem e, como resultado, o número de moléculas do reagente estabilizante por unidade de área de superfície da fase oleosa decresce também.

A estabilização também decrescerá se, quando fixar-se o mesmo radical hidrocarboneto, aumentar-se a hidratação do grupo polar.

Após enfatizar-se as propriedades das emulsões, serão apresentados a seguir os métodos para a sua preparação.

Têm-se 02 diferentes métodos de emulsificação: auto-emulsificação (“self-emulsification”) e dispersão mecânica. No primeiro caso, Rebinder ⁽²¹⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, considera esse processo de emulsificação como sendo solubilização, isto é, dissolução de uma fase oleosa numa solução aquosa de um reagente estabilizante. Não se dará nenhuma ênfase a esse tipo de emulsificação. No segundo caso a fase dispersa é dividida em pequenas gotículas em máquinas emulsificantes, seja mecanicamente ou por ondas ultrassônicas. Para estabilizar as emulsões, pequenas quantidades (2 a 5% do meio de dispersão, raramente mais) de reagente estabilizante (também chamado reagente emulsificante) são adicionadas.

Tabela IV.15 - Influência do comprimento dos radicais hidrocarbônicos dos sais de ácidos graxos de trietanolamina na espessura do filme de adsorção e área de superfície para emulsões extremamente concentradas de benzeno-água.

Número de átomos de carbono no radical do sal	Concentração do reagente estabilizante, g.mole/l	área de superfície das camadas de proteção, m ²	Espessura do filme de adsorção, 10 ⁻³ microns	Área de superfície S_0 ocupada por uma única molécula do reagente estabilizante, A ^{o 2}	Tamanho médio das gotículas da emulsão, microns
18	0.22	91.0	11	69	1.1
16	0.30	125.0	8	69	1.2
14	0.39	200.0	5	85	1.1
12	0.49	333.0	3	112	1.1
10	0.81	333.0	3	69	1.4
9	0.98	333.0	3	56	1.5

O princípio de emulsificação mecânica é que a fase dispersa é deformada sob a influência de correntes turbulentas do meio de dispersão e a superfície das gotículas da fase dispersa aumenta. Como resultado, o sistema torna-se instável e fragmenta-se em um número de pequenas gotículas de diferentes tamanhos. A desintegração das gotículas alongadas (elipsóides) acontece com $L > 3,14 D$. Quando as gotículas de óleo tornam-se menores, a dispersão torna-se mais difícil. Com $R \rightarrow 0$, a pressão capilar ($P = 2 \sigma / R$) na gotícula aumenta, e as gotículas tornam-se mais resistentes a mudar de forma.

Em geral, dispersões de fases líquidas podem ser comparadas com o mecanismo de moagem de sólidos: a área de superfície das novas partículas será proporcional à quantidade de energia usada para moagem. Deve ser lembrado, entretanto, que para sólidos o processo é irreversível, uma vez que o cristal quebrado não pode recuperar sua estrutura, mas, dispersão de fases líquidas envolve dois processos simultâneos: dispersão e coalescência de gotículas líquidas. Portanto, os resultados finais dependem da razão das taxas desses processos.

Para aumentar a eficácia da emulsificação, isto é, para aumentar a razão das taxas de dispersão para coalescência, substâncias especiais, reagentes emulsificantes, são adicionadas. Essas substâncias têm uma estrutura difícil e ficam bem adsorvidas na interface entre as fases.

Martynov ⁽²³⁾, citado por Glembtskii ⁽²⁾, verificou que, em relação a energia, os tipos de emulsões podem ser determinados da equação:

$$\frac{\beta_0}{\alpha_0} < \frac{\beta_w}{\alpha_w} \quad (4.24)$$

onde α e β são os coeficientes de expansão térmica e compressão adiabática das fases correspondentes, respectivamente. A presença de um terceiro componente (reagente estabilizante ou vários sais inorgânicos) no sistema pode mudar esses coeficientes, e isso influenciará o tipo de emulsão e sua estabilidade. Conseqüentemente, é obvio que a dispersividade das emulsões é principalmente determinada pela natureza molecular das fases (como refletida pelas taxas de dispersão, coalescência e adsorção do reagente estabilizante) que formam o sistema, e também pelo seu estado (temperatura, concentração de sais inorgânicos e outros fatores). A dispersividade das emulsões depende também da concentração do reagente emulsificante, a concentração das fases, o método de alimentação do óleo (todo de uma vez ou em estágios), a duração e tipo de equipamento usado para a emulsificação (emulsificador).

Como já mencionado, reagentes estabilizantes são adicionados na emulsão para diminuir a taxa de coalescência ⁽²⁾. Pela equação de Gibbs é mostrado que a quantidade de substância adsorvida na interface é proporcional à sua concentração na solução. Conseqüentemente, o reagente emulsificante se adsorverá nas gotículas do óleo mais rapidamente se sua concentração na solução é alta. Com mais rápida adsorção é possível obter emulsões mais finamente dispersas, uma vez que os filmes de adsorção diminuem a taxa de coalescência. O reagente emulsificante também diminui a tensão de superfície, e o óleo torna-se mais facilmente disperso. Veja figuras 4.8 e 4.9.

Assim, pode-se entender porque, se outras condições são iguais, os resultados da emulsificação mecânica dependem da taxa de alimentação da fase dispersa. Se a fase dispersa é adicionada lentamente (ou se o óleo é adicionado em porções), as condições de emulsificação tornam-se mais favoráveis. A concentração do reagente emulsificante comparada à do óleo é mais alta, e portanto σ na interface decresce rapidamente e como resultado é rapidamente deformada e freqüentemente quebra. Neste método de emulsificação a energia necessária para

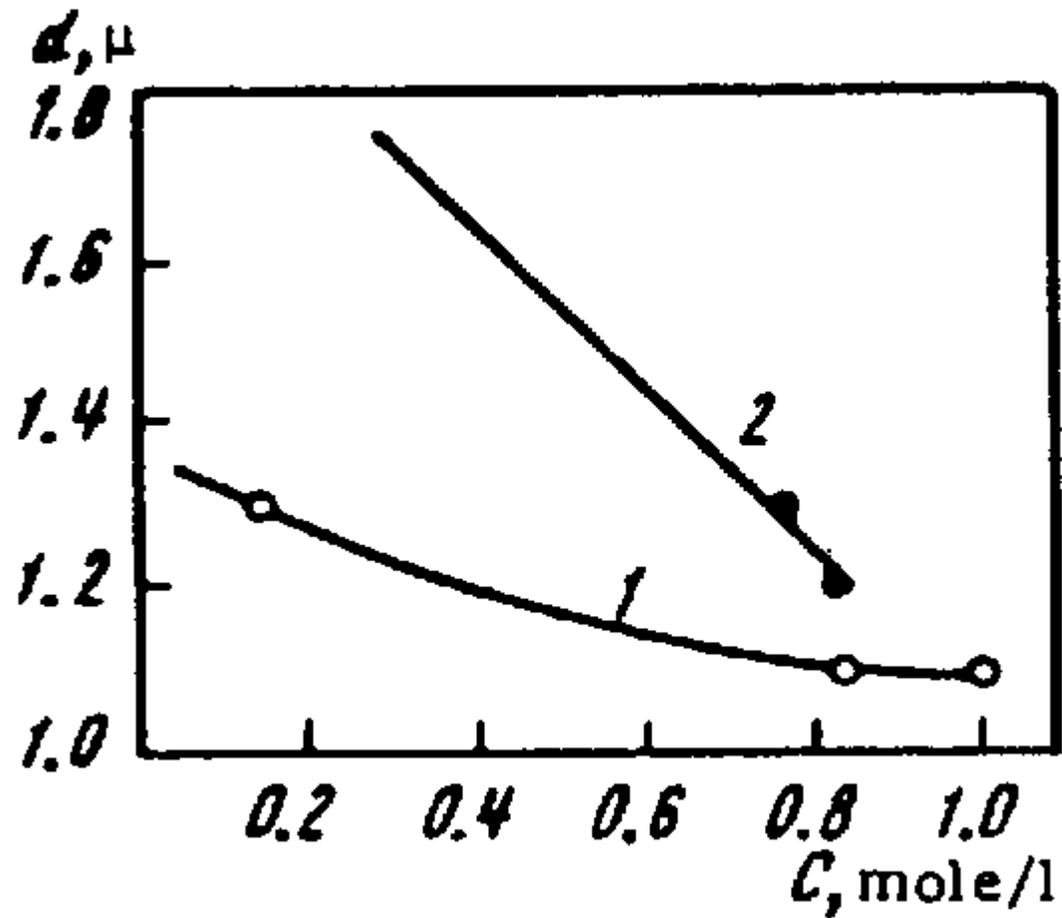


Figura 4.8 ⁽²⁾ – Dependência da dispersividade de uma emulsão de benzeno com a concentração de reagente emulsificante:

1 – Oleato de amônia; 2 – Oleato de sódio.

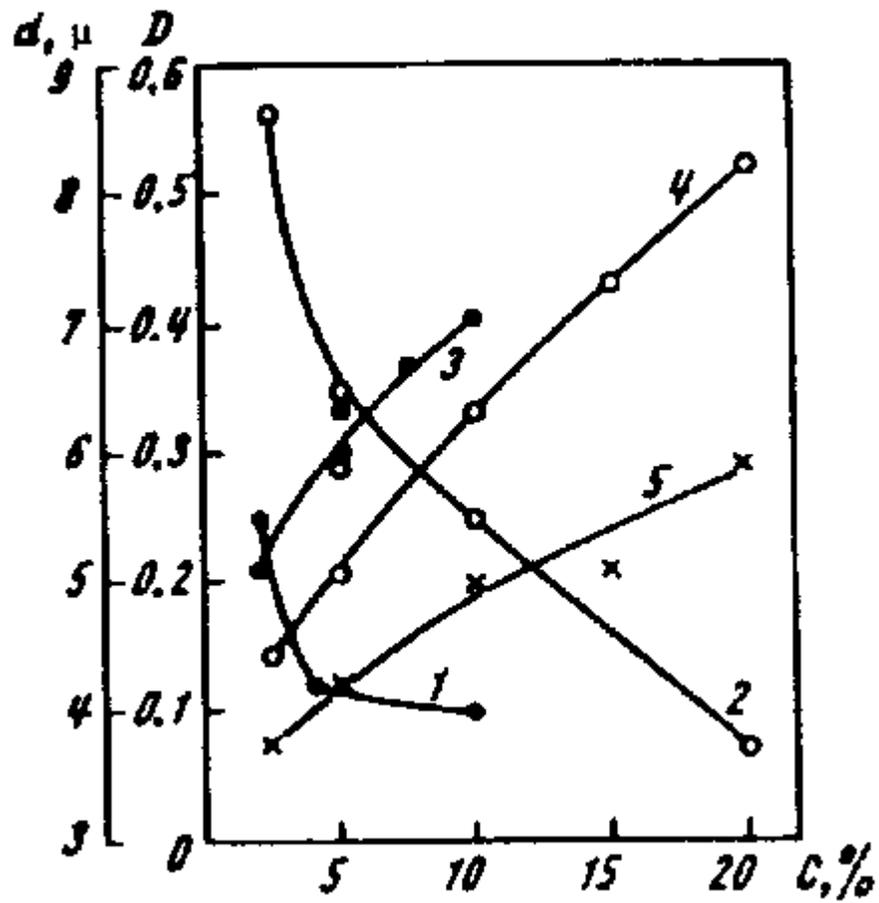


Figura 4.9⁽²⁾ – Dependência da dispersividade (1,2) e da densidade ótica (3,4,5) de uma emulsão do óleo IS-45 com a concentração do reagente emulsificante:

1,5 – $n=2$; 2,4 – $n=22$; 3 – $n=100$.

diminuir a tensão de superfície e a energia puramente mecânica para quebra da fase oleosa complementam-se uma a outra.

A altas taxas da fase dispersa (particularmente durante a produção de emulsões com alta concentração de óleo), a concentração do reagente estabilizante por unidade de volume de óleo cai imediatamente, σ muda somente levemente, e o óleo fica portanto mais difícil de dispersar. Neste caso somente a energia mecânica é usada para emulsificação.

Podemos dizer que a dispersão mecânica do óleo em água é grandemente influenciada pela viscosidade do óleo, a qual depende das forças de reações intermoleculares entre hidrocarbonetos ⁽²⁾.

A figura 4.10 mostra a dependência da dispersividade e densidade ótica de emulsões com a viscosidade do óleo que está sendo emulsificado ⁽²⁾.

Óleos que tenham diferentes viscosidades à temperatura ambiente podem ser emulsificados à temperatura na qual todos eles tenham a mesma viscosidade. Se o tempo de emulsificação e a concentração do reagente estabilizante são também mantidos constantes, as emulsões obtidas têm quase a mesma densidade ótica, isto é, a mesma dispersividade.

Cada óleo aparentemente tem uma temperatura ótima de emulsificação (ou uma viscosidade ótima). Se esta é excedida, tem-se um decréscimo na dispersividade da emulsão. Obviamente, isso é devido ao enfraquecimento da ligação entre o radical hidrocarbônico do reagente estabilizante e o óleo. A camada de adsorção torna-se, assim, muito instável e as gotículas coalescem mais rapidamente.

A dispersividade das emulsões com óleo é grandemente influenciada pelo projeto e tipo de emulsificador. Tem-se diversos tipos de aparelhos usados para a emulsificação de óleo ⁽²⁾. Esses podem ser mecânicos, ultrassônicos ou elétricos,

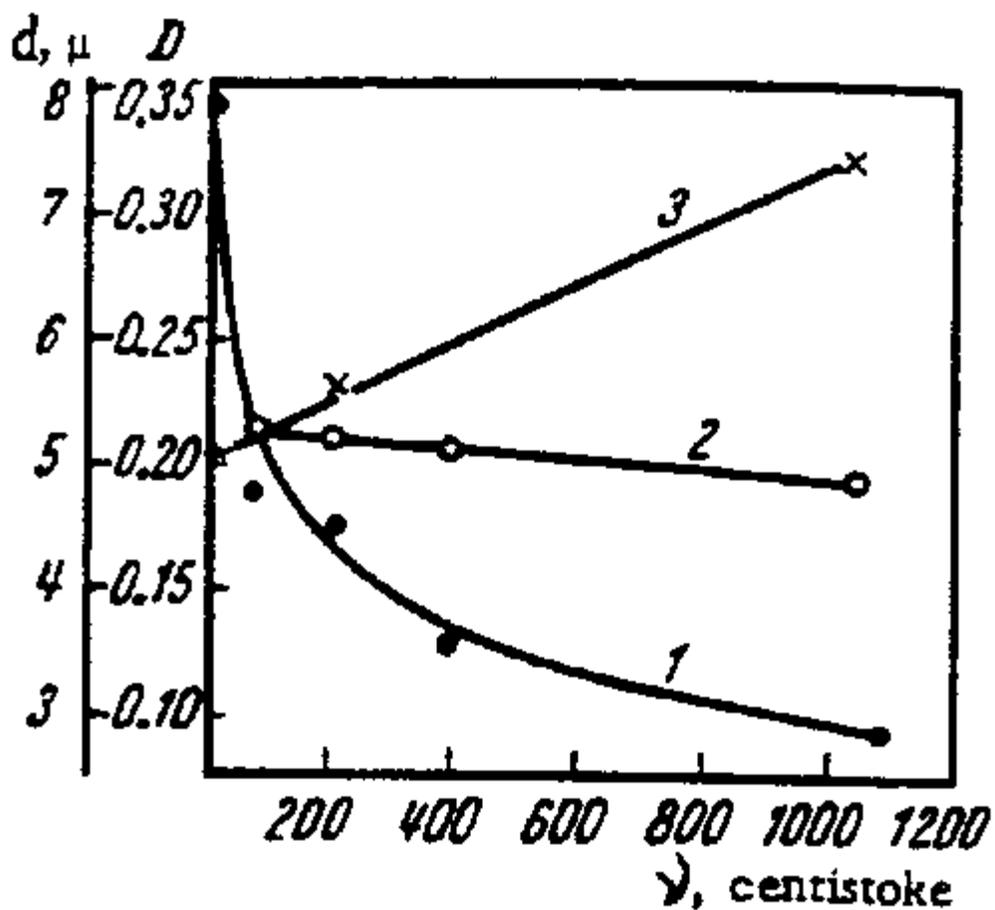


Figura 4.10 ⁽²⁾ – Dependência da dispersividade e densidade ótica das emulsões ($C = 0.005\%$) com a viscosidade dos óleos que estão sendo emulsificados:

1 – densidade ótica de emulsões de óleos de diferentes viscosidades, preparadas a 20°C ; 2 – densidade ótica de emulsões de uma dada viscosidade; 3 – dispersividade das emulsões.

ou operarem com o princípio do ejetor. O aparelho emulsificador é escolhido de acordo com as propriedades do óleo que será emulsificado.

Usualmente com emulsificadores ultrassônicos (com transdutores hidrodinâmico, magnetorestritivo ou combinados) é possível obter emulsões mais finamente dispersas que com aparatos mecânicos. A eficiência de emulsificadores ultrassônicos é de 2 m³/h ou mais, para emulsões contendo de 2 a 35% de óleo.

A emulsificação de óleo de pinho pode ser feita por descargas elétricas impulsivas. Os parâmetros básicos do emulsificador elétrico são as seguintes: capacitância de cada capacitor 0,1 μF , voltagem da descarga de 15-30 kV , frequência das descargas impulsivas de 4 a 12 impulsos por segundo, força máxima de 2,5 kW . Por esse método de emulsificação, o consumo de óleo de pinho pode ser reduzido de 25 a 30%.

Emulsões de óleos apolares usados para flotação podem ter não somente uma característica granulométrica, mas também uma estabilidade definida. Flotação dura apenas alguns minutos e, conseqüentemente, emulsões muito estáveis não são necessárias nem desejáveis. Como já mencionado, se outras condições (concentração da emulsão, temperatura etc.) são iguais, a estabilidade das emulsões é determinada pela habilidade do filme de adsorção na interface óleo-água de tornar-se hidratado. Se o filme de adsorção é mais hidratado, a emulsão é mais estável. Ao mesmo tempo se a superfície da emulsão é mais hidratada, as gotículas de óleo tomam mais tempo para interagirem com a superfície do mineral.

Conseqüentemente, observa-se que os reagentes emulsificantes dos óleos podem ter substâncias as quais têm um efeito hidrofóbico na superfície do mineral ou serem, no caso extremo, inertes para flotação, mas nunca devem suprimir a atividade de flotação.

Após as discussões acima acerca das propriedades das emulsões e os métodos de preparação das mesmas, pode-se formular os seguintes requerimentos básicos para emulsão para flotação:

i. emulsões de óleos apolares devem ser mais finamente dispersas, uma vez que com o aumento no número de gotículas de óleo por unidade de volume de polpa, a probabilidade de suas colisões com as partículas do mineral aumenta, e a área de superfície do mineral que elas podem cobrir também aumenta;

ii. os reagentes emulsificantes dos óleos apolares não devem ter nenhuma influência negativa no processo de flotação. Reagentes emulsificantes que podem ser usados são sabões (particularmente se a flotação for feita com coletor saponificado), sulfonatos, sulfatos e diferentes reagentes não ionogênicos ativos na superfície, com grupos polares consistindo de cadeias com oxietileno (ácidos graxos oxietilados e alcoóis com radicais hidrocarboneto de vários comprimentos e graus de oxietilenação);

iii. as emulsões de óleos apolares não devem ser muito estáveis, isto é, não devem ter um filme de adsorção muito hidratado, o qual impedirá o acesso das gotículas de óleo à superfície do mineral. Também as gotículas de óleo de emulsões estáveis, as quais não são adsorvidas pela superfície do mineral, contaminam os efluentes aquosos da flotação.

4.4.2. A influência da viscosidade dos óleos apolares nas suas propriedades de flotação

Viscosidade é um fator muito importante durante a flotação com coletores apolares.

Dados existentes na literatura sobre a influência da viscosidade dos óleos apolares na flotação são freqüentemente conflitantes. Alguns autores ^(24,25,26,27,28,29) acreditam que a viscosidade tem uma influência favorável no efeito dos óleos na flotação, mas outros ⁽³⁰⁻³²⁾ acreditam diferentemente.

Determinar a função da viscosidade dos óleos apolares durante a flotação é uma tarefa bastante complexa. A influência da viscosidade está relacionada com: a dispersividade das emulsões obtidas de diferentes óleos sob as mesmas condições, variação na concentração do reagente espumante nas emulsões com diferentes interfaces, diferenças nas propriedades dos minerais e outros fatores.

É bem conhecido que óleos apolares adicionados durante a flotação, freqüentemente suprimem a espuma, uma vez que as moléculas do reagente espumante tornam-se adsorvidas ativamente na interface líquido-gás. Óleos apolares são algumas vezes usados durante a flotação como reguladores da espuma.

Óleos hidrocarbônicos obtidos do petróleo são de grande interesse prático para a flotação dos oxi-minerais. Atualmente a indústria do petróleo produz mais de 140 tipos de óleos, muitos dos quais são prontamente disponíveis e baratos. Portanto, a substituição parcial dos coletores heteropolares pelos óleos apolares baratos é de grande interesse prático.

Para a flotação de certos minerais, particularmente aqueles naturalmente hidrofóbicos, é usual adicionar hidrocarbonetos neutros, obtidos de vários

alcatrões por destilação seca, e outros produtos (várias substâncias não saponificadas). Esses produtos são efetivos porque eles incluem um certo número de compostos portadores de ácido.

Apesar de certas mudanças que acontecem durante a purificação, a composição química dos óleos depende da natureza do óleo cru inicial. Estudos de flotação foram executados com dois grupos de óleos: petróleo de baixo enxofre de Baku e petróleo de alto enxofre do leste da Rússia. Esses óleos têm conteúdos bem diferentes de compostos aromáticos: óleos produzidos com petróleos de alto enxofre do leste da Rússia contêm mais compostos aromáticos (40 a 50%) que os óleos produzidos com o petróleo de Baku (30%). Uma segunda característica dos óleos de alto enxofre é que eles contêm uma certa quantidade de compostos heterocíclicos complexos contendo enxofre com propriedades próximas daquelas dos compostos aromáticos. A viscosidade dos óleos de cada grupo varia em uma vasta faixa. Algumas propriedades das emulsões produzidas desses óleos são dadas na tabela IV.16.

Foi experimentalmente demonstrado que a recuperação da martita aumenta com o aumento da viscosidade do óleo (veja figura 4.2), e que o maior aumento na recuperação da martita foi com a viscosidade na faixa de 3 a 100 centistokes. Na faixa de viscosidade de 100 a 400 centistokes a curva representando a dependência de \mathcal{E} com V tem uma grande inclinação. A figura 4.11 mostra que não somente a viscosidade afeta a recuperação, mas também a composição química do óleo. A curva representando a dependência de \mathcal{E} com V para óleos originados do petróleo contendo alto enxofre é mais alta que aquela representando óleos de baixo enxofre. A atividade mais alta dos óleos contendo alto enxofre é aparentemente devido ao conteúdo mais alto de compostos contendo enxofre e aromáticos, uma vez que compostos aromáticos são intensamente adsorvidos pelas superfícies sólidas ⁽²⁾.

Tabela IV.16 ⁽²⁾ - Propriedades dos óleos e suas emulsões.

Nome do óleo	Viscosidade do óleo, centistoke		Temperatura dos óleos durante a emulsificação, °C	Densidade ótica das emulsões
	a 20°C	durante a emulsificação		
Originários de petróleos de baixo enxofre				
Diesel fuel DL	3.83	3.84	20	0.213
Transformer oil	30.00	50.0	10	0.196
Spindle oil-3	86.45	81.0	21	0.197
Axle oil L	289.50	81.0	38	0.190
Machine oil SV	352.06	81.0	45	0.197
Aviation oil MS-20	1079.00	81.0	66	0.182
Cylinder oil - 24	4842.49	81.0	78	0.185
Originários de petróleos contendo enxofre				
Transformer oil	30.00	50.0	10	0.185
Industrial IS-20 oil	81.42	81.44	20	0.183
Industrial IS-45 oil	209.69	81.0	37	0.190
Diesel DS-11 oil	390.16	81.0	44	0.185

Nota: As temperaturas do óleo e da água durante a emulsificação foram as mesmas. A emulsão do óleo DL foi produzida com um agitador do tipo RT-1, e as emulsões dos outros óleos foram produzidas em um emulsificador ultrasônico do tipo vortex 503-RM de laboratório. A emulsificação do óleo DL e do óleo de transformador durou 1 minuto, e a emulsificação dos outros óleos 2 minutos. A concentração do reagente emulsificante OZhK-22 foi de 0.05 ou 5%, variando de acordo com o óleo utilizado (a concentração do óleo foi de 1%).

Compostos contendo enxofre são também ativamente adsorvidos, por causa de radical hidrocarbônico contendo átomos de enxofre, os quais têm valências adicionais (como =N-, =O etc.), e são também mais ativos.

As diferenças nas composições químicas dos óleos influenciam a flotação da martita em menor extensão que as diferenças na viscosidade. A relação entre as influências da viscosidade e da estrutura química dependerá aparentemente do conteúdo de compostos ativos nos óleos, e dos minerais com diferentes hidrofobicidades (natural ou artificialmente adquirida).

A influência da estrutura química dos óleos e seus efeitos na flotação na mesma viscosidade são mostrados na figura 4.11. Pode ser visto que a atividade dos hidrocarbonetos na flotação da martita pode ser ordenada na seguinte seqüência: hidrocarbonetos aromáticos, naftênicos, isoparafinas e parafinas. Essa ordem vale também para a adsorção de hidrocarbonetos na sílica gel ⁽³³⁾, e na flotação de carvões ⁽³⁴⁾.

A recuperação de minerais de ferro é grandemente influenciada pela viscosidade das misturas de reagentes apolares com diferentes coletores heteropolares, os quais têm diferentes radicais hidrocarbônicos e grupos polares (veja tabela IV.17).

É bem conhecido que soluções de compostos orgânicos heteropolares podem solubilizar óleos apolares, e que hidrocarbonetos de baixa viscosidade tornam-se solubilizados mais rapidamente que óleos viscosos. A adsorção de óleos apolares nas superfícies dos minerais é similar ao processo de solubilização, uma vez que ambos são causadas pelo mesmo fator, isto é, a habilidade dos óleos apolares (hidrocarbonetos) de molhar fases hidrofóbicas.

Minerais os quais têm hidrofobicidade natural (enxofre, carbono, grafita, diamante etc.) podem usualmente ser flotados com óleo apolar somente, o

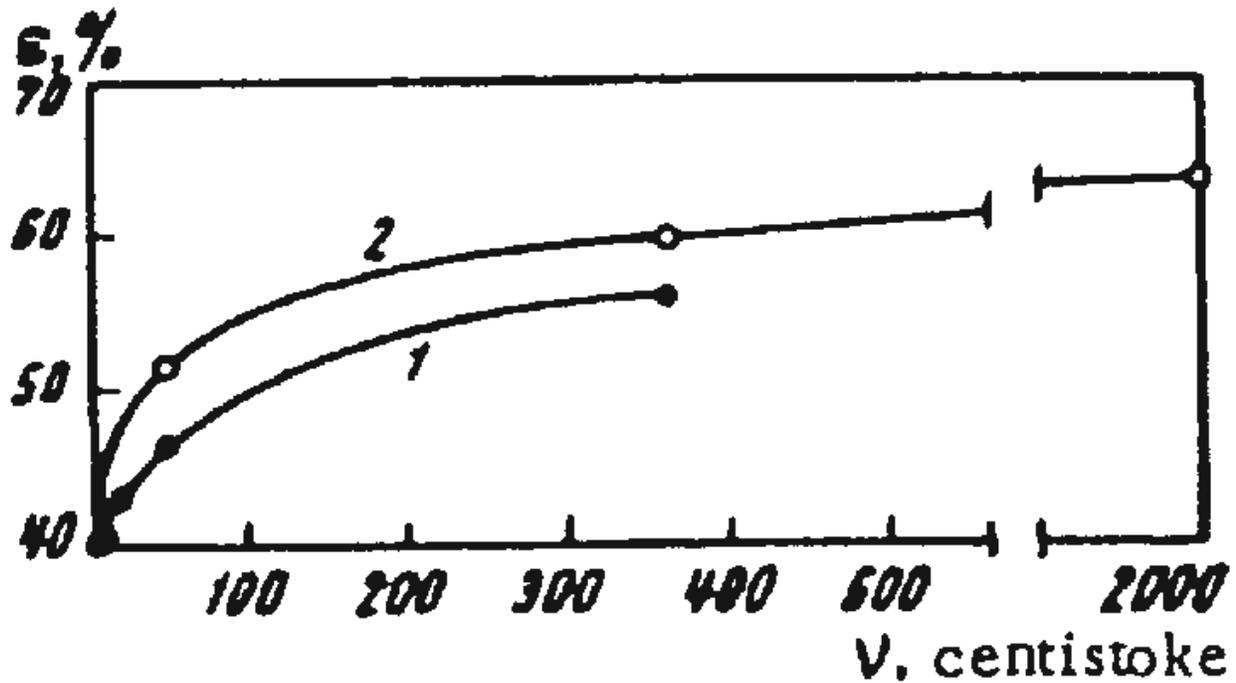


Figura 4.11 ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita de Krivoi-Rog com a viscosidade dos hidrocarbonetos individuais de vários tipos (reagente emulsificante Ozhk com $n=22$; o consumo de oleato de sódio e óleo apolar foi de 100 g/t, cada):
1 – hidrocarbonetos naftênicos; 2 – hidrocarbonetos aromáticos.

Tabela IV.17 ⁽²⁾ - Propriedades dos coletores heteropolares usados.

Coletor	Conteúdo de componentes, %			Número ácido	Número carbonílico
	Derivados de fenol	Ácido carboxílico	Hidrocarbonetos neutros		
Óleo Vetluga	46.9	4.7	41.1	50.0	-
Resíduo de destilação SZhK	-	85.0	14.69	109.2	-
Oleato de sódio	-	99.0	-	-	11.0
Ácidos naftênicos sintéticos	-	100	-	287	-
Produtos de pirólise	40.2	11.2	25.7	43.7	-

qual adere à superfície desses minerais muito fortemente. Ao mesmo tempo, minerais com superfícies menos hidrofóbicas (carvões de baixa metamorfização, sulfetos e especialmente oxi-minerais) devem usualmente ser hidrofobizados por coletores heteropolares, ou pela regulagem do pH da polpa para valores que conduzem a uma condição de carga zero da superfície mineral.

Pode-se esperar que a quantidade de óleo apolar adsorvida, e a força da ligação ao mineral, são proporcionais à hidrofobicidade da superfície mineral, à viscosidade do óleo e ao tempo da mistura. Veja figura 4.12.

Já tinha sido mostrado que hidrocarbonetos viscosos, com interações de van der Waals mais fortes, são mais lentamente solubilizados. Portanto, a adsorção destes hidrocarbonetos na superfície dos minerais é lenta, e o tempo de mistura deve ser aumentado compativelmente com o aumento da viscosidade do óleo, para permitir a adesão da mesma quantidade de óleo.

Os experimentos ⁽³⁵⁾ mostram que a viscosidade do óleo e o tempo de condicionamento dos reagentes com a polpa afetam sensivelmente o consumo do coletor heteropolar (veja figura 4.13). As dependências verificadas para minerais foram experimentalmente confirmadas para minérios (veja figura 4.14).

Um aumento na atividade de flotação dos óleos com o aumento nas suas viscosidades foi observado durante a flotação de vários minérios ⁽²⁾: sulfetos, carvão, ilmenita, sais solúveis etc..

Experimentos com certas classes de minerais mostram que óleos apolares juntamente com coletores heteropolares têm um efeito marcante, dependendo da viscosidade do óleo, da proporção de coletores heteropolares para apolares, e da granulometria do mineral. A figura 4.15 mostra que a adição de óleos

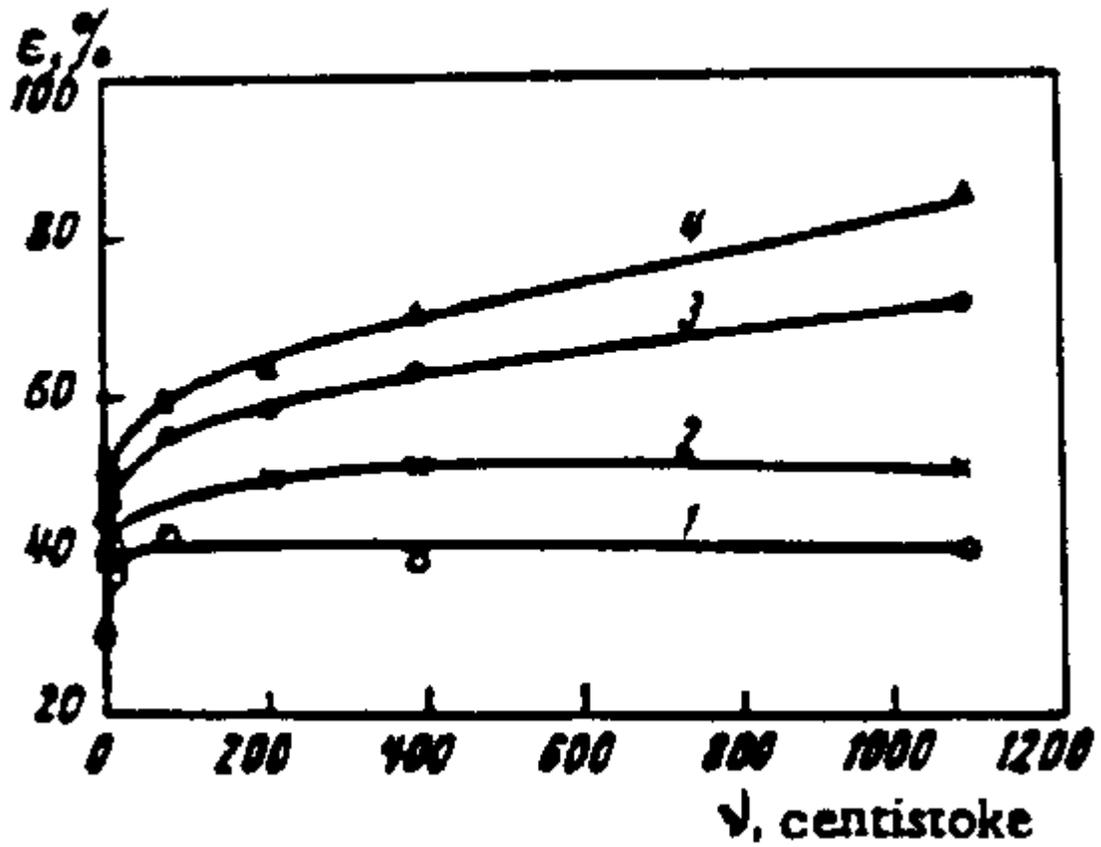


Figura 4.12 ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a viscosidade do óleo e o tempo de mistura (coletor – vetluga oil 800 g/t; óleo apolar 400 g/t).

Tempo de mistura: 1 – 2 min.; 2 – 5 min.; 3 – 10 min.; 4 – 20 min.

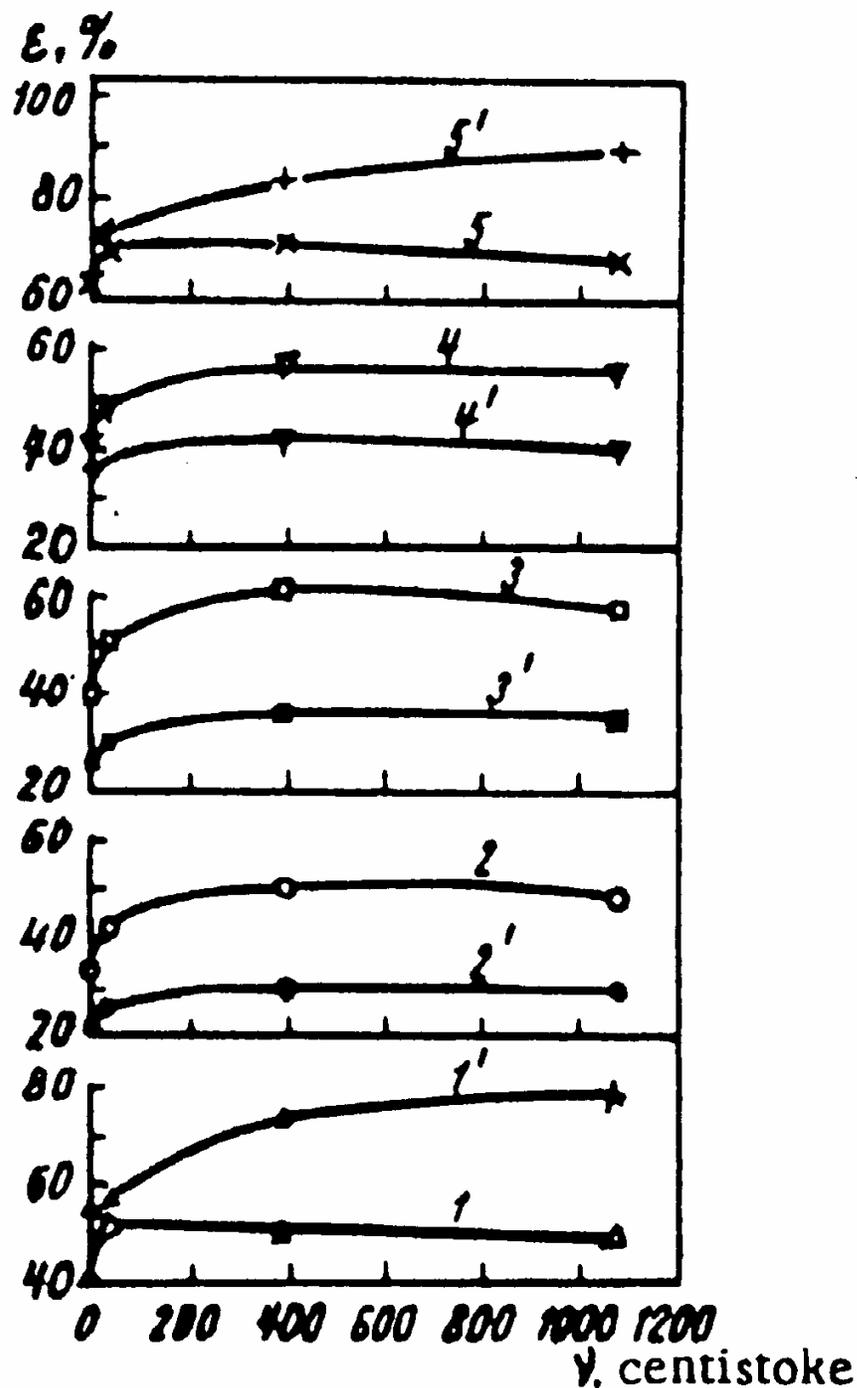


Figura 4.13 ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a viscosidade dos óleos apolares a vários tempos de mistura.

Tempo de mistura com reagentes: 1 a 5 – 2 min.; 1' a 5' – 10 min. Consumo dos reagentes heteropolar e apolar (entre parenteses) , g/t: 1, 1' – resíduo de destilação SZhK 1200 (900); 2, 2' – ácido naftênico 200 (100); 3, 3' – oleato de sódio 100 (100); 4, 4' – óleo Vetluqa 300 (150); 5, 5' – óleo Vetluqa 500 (250).

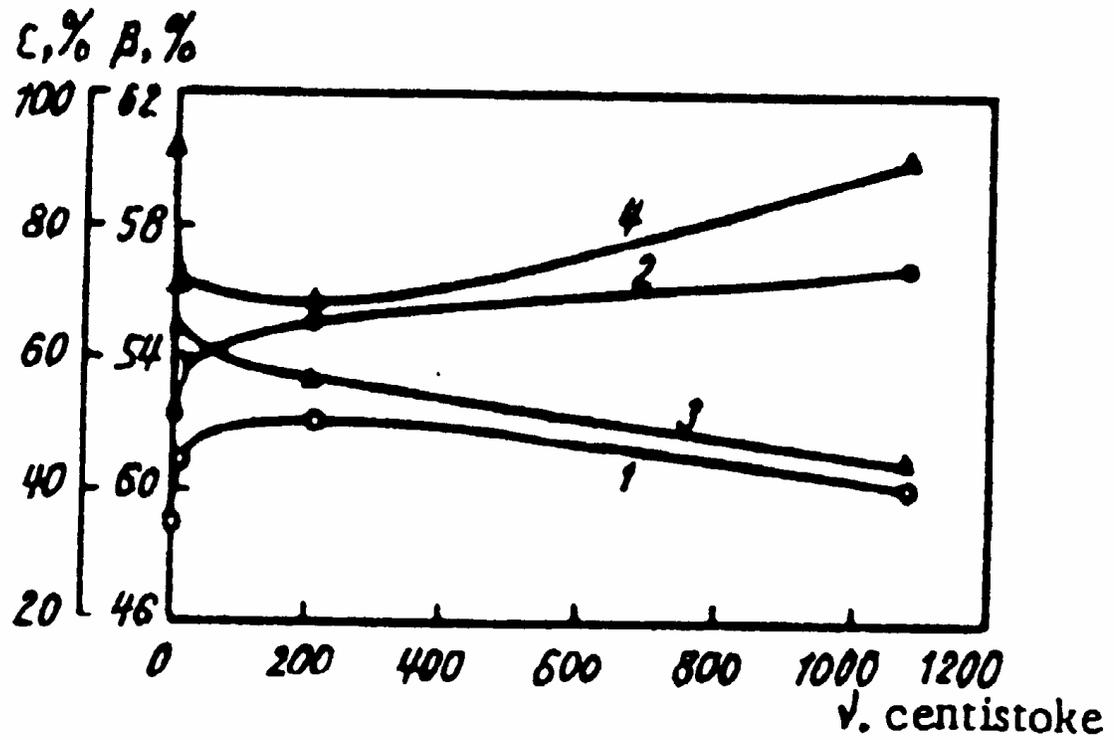


Figura 4.14 ⁽²⁾ – Dependência dos resultados de flotação de rejeitos da planta de separação magnética de Gubkin (17,23% Fe) com a viscosidade dos óleos apolares e com o tempo de mistura.

Consumo de produtos de pirólise 1260 g/t; óleo apolar 170 g/t; reagente depressor (silicato de sódio) 250 g/t: 1,3 – 3 min.; 2,4 – 10 min (mistura do reagente com a polpa).

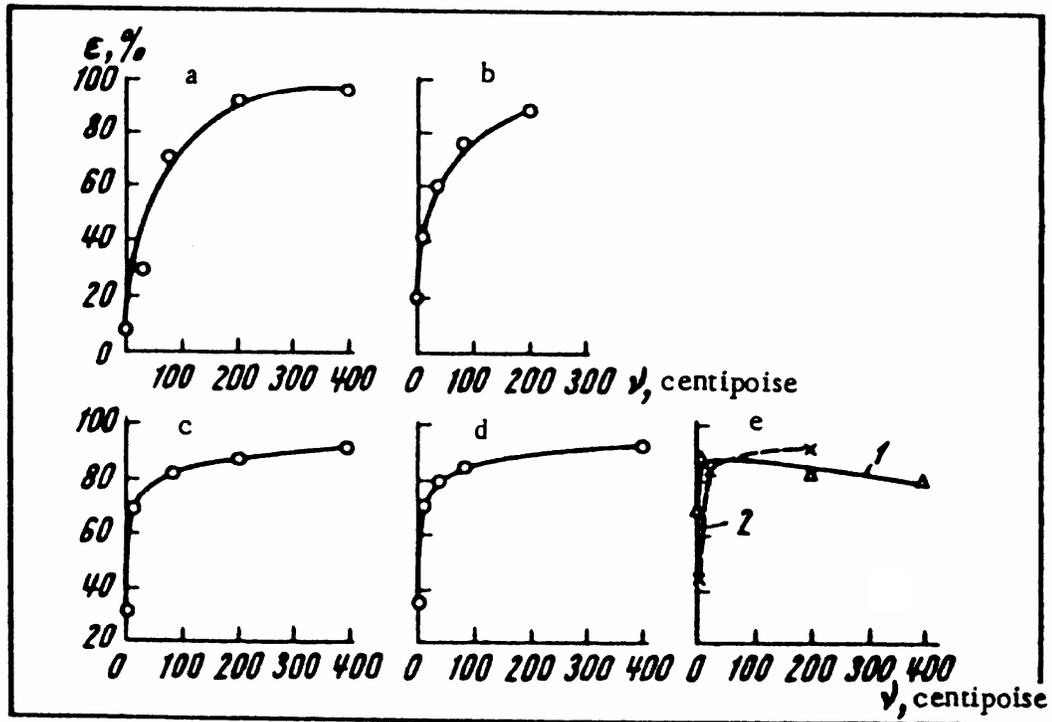


Figura 4.15 ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita de vários tamanhos com a viscosidade dos óleos apolares:

a – $-650 + 400\mu$; **b** - $-300 + 200\mu$; **c** - $-150 + 100\mu$; **d** - $-74 + 44\mu$;
e: 1 - $-44 + 20\mu$; **2** - $-44 + 0\mu$.

Consumo de oleato de sódio, g/t: **a,b,c** – 400; **d** – 200 ; **e: 1** – 500; **2** – 200.

Consumo de óleo apolar , g/t: **a** – 1600; **b,c** – 800; **d** – 400; **e: 1** – 200; **2** – 1200.

apolares influencia fortemente a flotação de quase todas as classes de martita estudadas, particularmente partículas grossas.

Uma boa ilustração da influência da viscosidade dos óleos na flotação de vários tamanhos de martita é dada na figura 4.16, a qual mostra que um aumento na viscosidade dos óleos leva a um aumento na recuperação da martita de tamanho entre 650 μm a 44 μm , mas decresce a recuperação da fração menor que 44 μm .

Essa influência da viscosidade na flotação de partículas de vários tamanhos é explicada pelo aumento na resistências das bolhas de ar causado pelo aumento na viscosidade dos óleos. Esse fato, por sua vez, está conectado com a influência da viscosidade dos óleos no efeito hidrofóbico durante a ligação das bolhas de ar na superfície do mineral, e também com a taxa e força da adesão das bolhas de ar no mineral coberto de óleo.

A fração menor que 44 μm é flotada melhor por óleos de mais baixa viscosidade (figura 4.15, curvas 1 e 2). Entretanto, para essa fração a adição de óleos apolares é muito menos efetiva que para frações mais grossas.

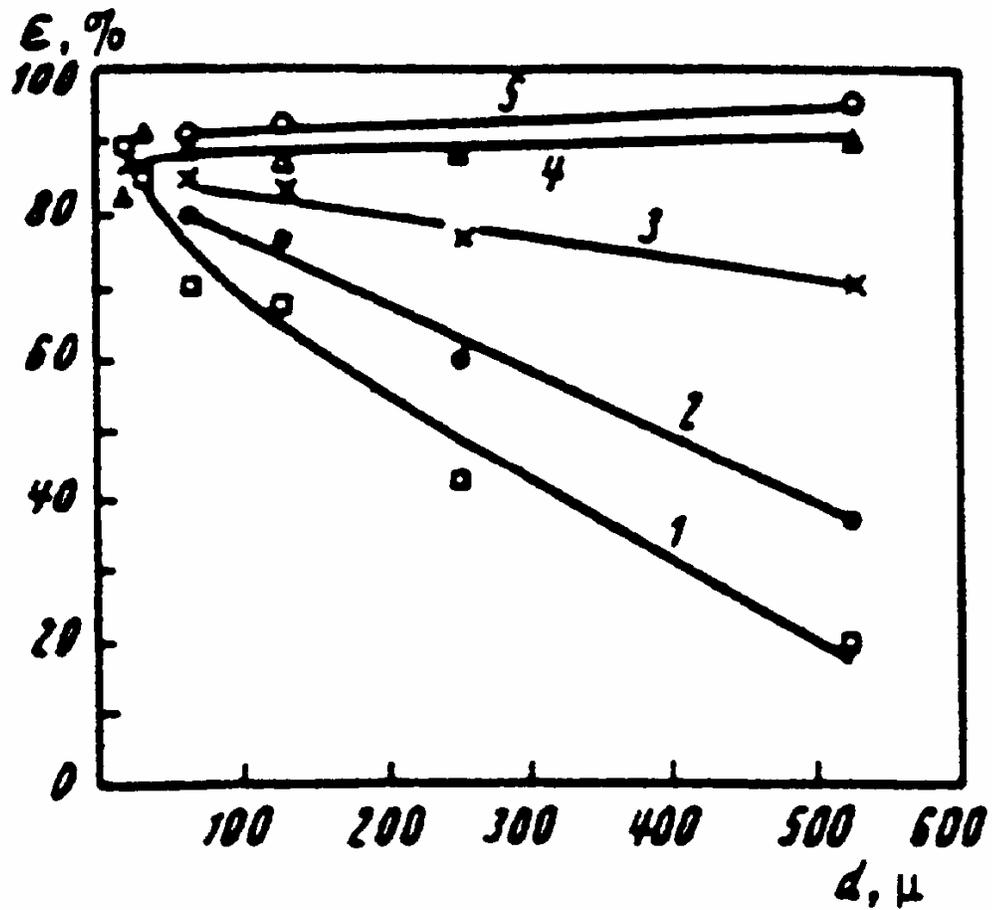


Figura 4.16 ⁽²⁾ – Influência do tamanho da partícula de martita na flotabilidade com vários óleos apolares:
 1 – óleo diesel L; 2 – óleo de transformador; 3 – óleo IS-20; 4 – óleo IS-45; 5 – óleo DS-11 (o consumo de coletores foi o mesmo dado na figura 19).

4.4.3. A dispersividade das emulsões

Tendo-se já discutido a influência da viscosidade como, acredita-se, o critério chefe para a força de ligação dos óleos apolares durante a flotação, outro critério importante para compreensão do efeito dos óleos apolares é a dispersividade de suas emulsões, uma vez que óleos apolares são usualmente adicionados na máquina de flotação em forma de emulsões.

Óleos de baixa viscosidade (querosene, óleo diesel etc.) têm sido usualmente adicionados diretamente na máquina de flotação, e óleos mais viscosos têm sido emulsificados, mas não se têm muitos dados acerca da dispersividade das emulsões.

Alguns autores acreditam que se atinge uma dispersividade ótima do óleo apolar com o tamanho da gotícula de cerca de $5 \mu\text{m}$ ⁽²⁾, e que um aumento adicional da dispersividade é indesejável, uma vez que isso leva a um decréscimo na atividade do óleo na flotação. Os argumentos dados em favor desta conclusão têm sido confirmados experimentalmente. Pode ser visto na figura 4.17 que a curva mostrando a dependência da recuperação de carvão e minérios com a dispersividade das emulsões dos óleos apresenta um máximo.

Pelo menos duas razões podem ser dadas para explicar o decréscimo do efeito na flotação de emulsões finamente dispersas (tamanho menor que $5 \mu\text{m}$): a porosidade dos minerais, particularmente dos carvões, e o decréscimo na probabilidade de colisão de pequenas gotículas de óleo com a superfície mineral. A energia cinética de pequenas gotículas $E = m.v^2/2$ é insuficiente para superar a resistência da camada hidratada das partículas minerais.

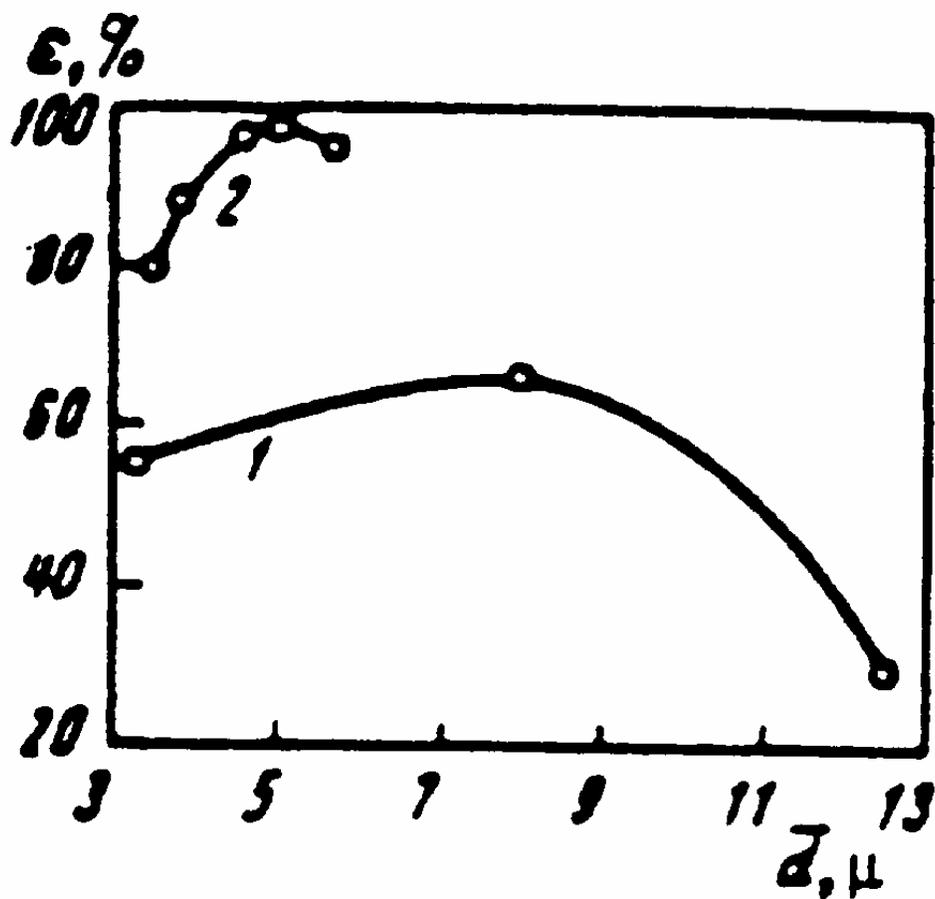


Figura 4.17⁽²⁾ – Dependência da recuperação de carvão (1) e de cobre (2) com a dispersividade das emulsões de óleo.

Não há dúvidas que a existência de poros e fraturas na superfície dos minerais tem um efeito deletério na flotação por emulsões altamente dispersas de óleos apolares. A influência deste fator foi descoberta por Klassen e Plaksin⁽⁴⁰⁾, citados por Glembotskii⁽²⁾, e confirmada por outros pesquisadores.

A segunda razão não parece muito convincente. Acredita-se que as dificuldades na flotação de minerais finamente divididos (tamanho abaixo de 5 μm) são parcialmente devido à baixa energia cinética, a qual é insuficiente para a destruição da camada hidratada da superfície do mineral. Se, por analogia, assume-se que a baixa flotabilidade das partículas minerais por emulsões finamente dispersas é devido à baixa energia cinética, gotículas de óleo menores que 7-10 μm não permanecerão ligadas à superfície mineral, como pode ser visto pelo seguinte cálculo:

Sendo m_1 a massa das partículas minerais; P_1 seu peso; m_2 a massa das gotículas da emulsão; P_2 seu peso; v a velocidade da corrente da polpa, na qual os grãos minerais finos e as gotículas da emulsão se movem, a energia cinética dos grãos minerais e das gotículas de óleo são iguais $E_1 = E_2$. Uma vez que $E_1 = m_1 \cdot v^2/2$ e $E_2 = m_2 \cdot v^2/2$, então $m_1 = m_2$ ou $P_1 = P_2$. Se d_1 é a densidade dos grãos minerais, V o seu volume, e d_2 a densidade do óleo (por exemplo: $d_1 = 2,7$ e $d_2 = 0,9$), então $P_1 = 2,7 V_1$ e $P_2 = 0,9 V_2$, conseqüentemente, $V_2 = 2,7 V_1/0,9 = 3V_1$. Se as partículas são esféricas, $V = \pi D^3/6$, $D_2^3 = 3 \cdot D_1^3$ ou $D_2 = D_1 \sqrt[3]{3}$. Então se $D_1 = 5 \mu$, obtem-se $D_2 = 7,2 \mu\text{m}$.

Conseqüentemente, a relação mostrada na figura 4.17 não pode ser válida para emulsões com tamanho de gotícula $> 1 \mu\text{m}$ (emulsões finas são instáveis). Outros fatores ainda desconhecidos devem exercer também alguma influência.

Foram feitos estudos de flotação de martita, preparando-se emulsões de vários tamanhos de gotículas de óleo IS-45, o qual tem uma alta viscosidade de 209,7

centistokes. A quantidade de óleo emulsificado foi obtida extraíndo-o da emulsão com dietiléter e pela determinação da densidade ótica da emulsão. Amostras para a determinação da densidade ótica da emulsão, da quantidade de óleo emulsificado, da dispersividade da emulsão e também para os experimentos de flotação foram tomadas 4 minutos após a preparação da emulsão. As condições de preparação das emulsões e suas propriedades são dadas na tabela IV.18.

O diâmetro médio das gotas da emulsão foi obtido das curvas de distribuição das emulsões de óleo IS-45 obtidas sob várias condições (temperatura e tempo de emulsificação, tipo de emulsificador etc.):

$$\bar{d} = \frac{\sum V_i \phi_i}{\sum V_i} \quad (4.25)$$

A dependência da densidade ótica das emulsões do diâmetro médio das gotículas de óleo é mostrada na figura 4.18. Destes gráficos verificou-se a dispersividade das emulsões e a quantidade de óleo emulsificado durante os estudos de flotação. A figura 4.24 mostra que emulsões grossas têm uma baixa densidade ótica, são muito instáveis e quebram. A quantidade de óleo a qual permanece na emulsão como gotículas de óleo acima do tamanho de 20 μm é somente 10-20% da quantidade inicial.

Esses dados caracterizam as condições de formação das emulsões se o óleo for alimentado diretamente na máquina de flotação, e o grau de utilização do mesmo. Aparentemente, polpas com alta densidade produzem dispersões algumas vezes mais efetivas, mas não muito, uma vez que a velocidade do meio de dispersão nas máquinas de flotação industriais é baixa.

A figura 4.19 mostra que as curvas representando a dependência da recuperação (%) com o consumo de óleo apolar IS-45 (g/t) exibem um máximo.

Tabela IV.18 ⁽²⁾ -Propriedades das emulsões preparadas com o óleo IS-45 e as condições para a preparação das mesmas.

Nº	Densidade ótica das emulsões	Diâmetro médio em micron das gotículas de óleo na emulsão	Concentração de óleo na parte da emulsão que não sofreu coalescência, %	Método de preparação da emulsão
1	0.010	13.5	9.01	Mistura na máquina de flotação a 1.440 rpm
1a	0.020	12.5	-	
2	0.024	11.5	17.7	
2a	0.030	11.0	-	Emulsificação mecânica com um misturador de hélice PT-1 a 8.000 rpm
3a	0.075	7.8	-	
3	0.074	6.9	38.0	
4	0.155	6.4	52.4	
4a	0.110	6.0	-	
5	0.235	5.6	86.9	
5a	0.240	5.3	-	
6	0.255	5.3	-	
6a	0.295	4.7	-	
7	0.402	4.0	-	Emulsificação ultrasônica com um aparato com magnetostrição do tipo PMS-7, com frequência de 22 kHz.
7a	0.400	3.7	-	
8	0.450	3.5	97.9	
8a	0.460	3.2	-	
9a	0.530	2.4	-	
10	0.625	1.2	99.0	
11	0.790	0.6	-	

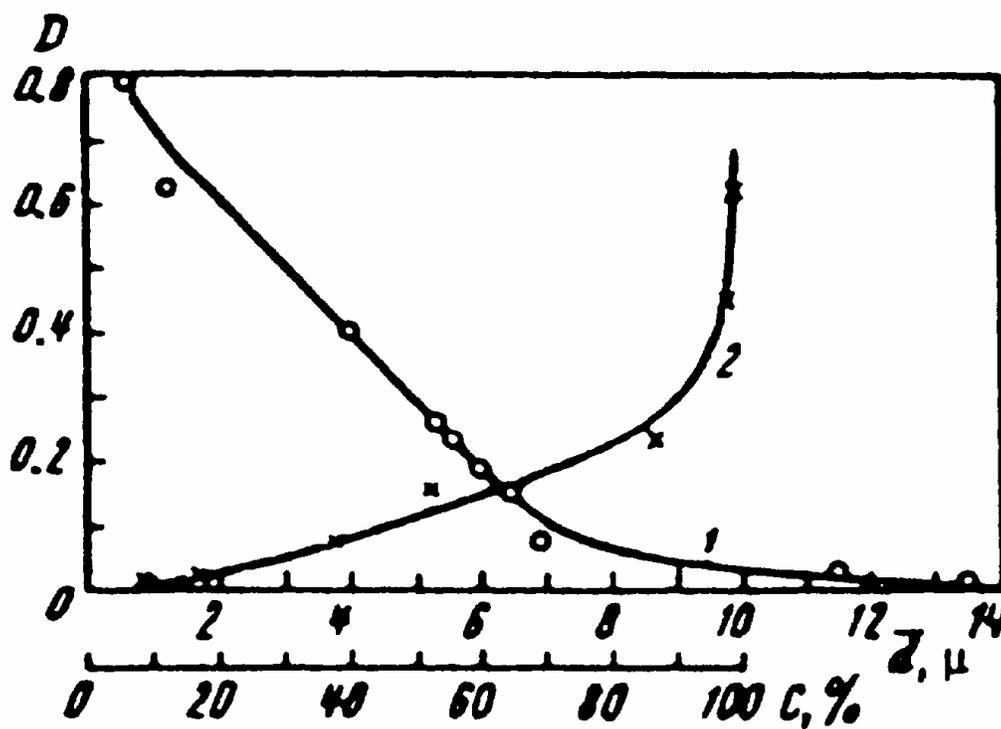


Figura 4.18⁽²⁾ – Dependência da densidade ótica das emulsões do óleo IS-45 com suas dispersividades (1) e com a quantidade do óleo emulsificado (2).

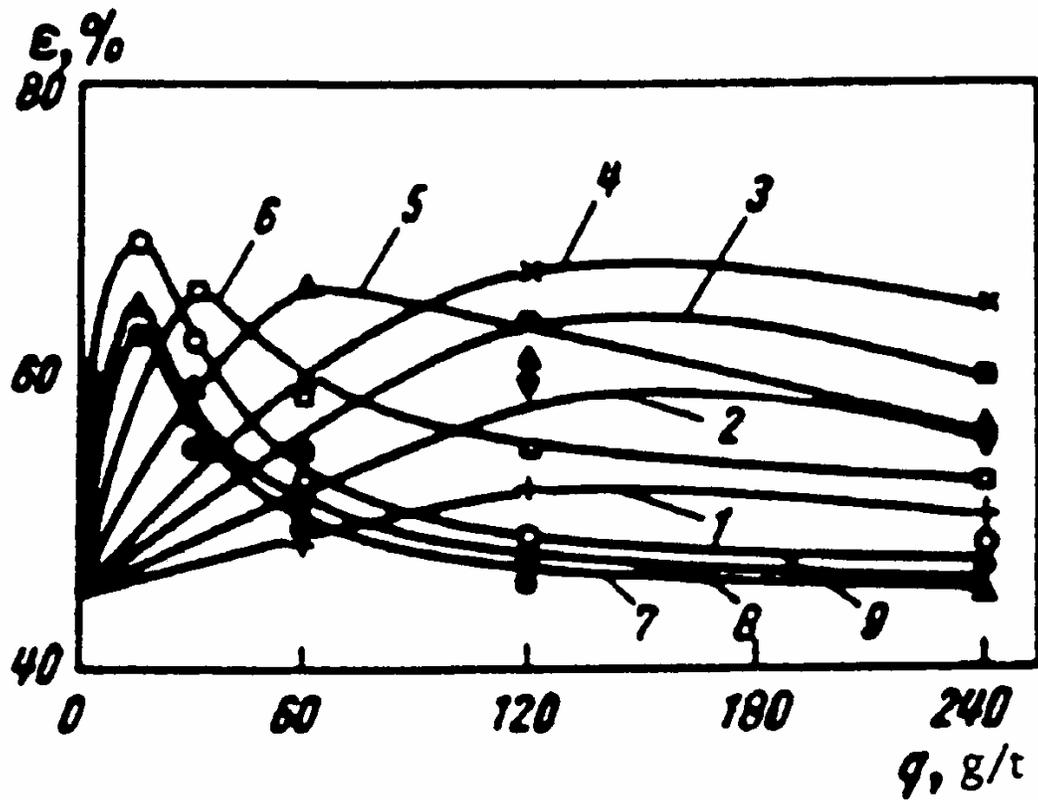


Figura 4.19 ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita e do consumo do óleo apolar IS-45 com a dispersividade de suas emulsões (consumo de oleato de sódio, 120 g/t). As propriedades das emulsões são dadas na tabela 21 (veja numero das emulsões com indice "a").

Deste gráfico da figura 4.19 construiu-se a figura 4.20, que ilustra a recuperação (%) em função do diâmetro médio (μm) das gotículas de óleo na emulsão.

Pode ser visto no gráfico da figura 4.20 que um aumento na dispersividade das emulsões não leva a uma diminuição na recuperação da martita, provando que um aumento na dispersividade é acompanhada por um decréscimo no consumo de óleo. Conseqüentemente o decréscimo na recuperação de um mineral, como resultado de um aumento na dispersividade para um dado consumo de óleo, é devido a fatores inteiramente diferentes.

A figura 4.21 mostra a dependência da recuperação da martita com a área de superfície da interface óleo-água, para um dado consumo de óleo, para as primeiras 5 emulsões da tabela IV.18 (emulsões com índice "a").

As recuperações máximas obtidas com emulsões de várias dispersividades e também as superfícies arbitrárias da interface na qual essas recuperações foram obtidas (a unidade arbitrária da área da superfície é uma superfície correspondente a uma emulsão com $d = 12\mu\text{m}$ com um consumo de 15 g/t) são dadas na tabela IV.19.

A figura 4.21 mostra que mesmo com as mesmas áreas de superfície na interface óleo-água, emulsões grossas levam a um maior aumento na recuperação da martita que emulsões finamente dispersas. Isso ocorre aparentemente porque emulsões grossas (com a mesma área de superfície na interface) têm um menor efeito hidrofóbico na superfície dos minerais, mas ao mesmo tempo podem adsorver aproximadamente a mesma quantidade de reagente espumante.

Uma vez que a grande área de superfície da interface óleo-água pode adsorver grande quantidade de compostos heteropolares (coletores, reagente espumante),

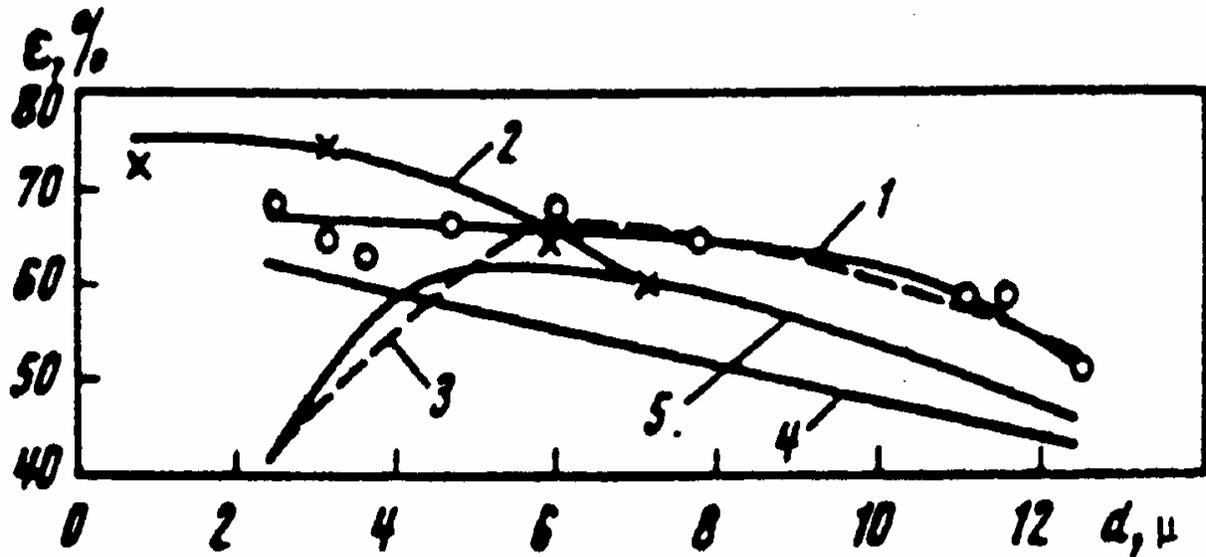


Figura 4.20 ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a dispersividade das emulsões do óleo IS-45.

Consumo de oleato de sódio, 120 g/t (curvas 1, 3, 4 e 5) e consumo de óleo vetluga, 800 g/t (curva 2). Consumo de óleo apolar: 3 – 30; 4 – 60; 5 – 15 g/t. (as curvas 1 e 2 foram construídas dos máximos das curvas mostrando a dependência de ϵ com q a uma dada dispersividade da emulsão).

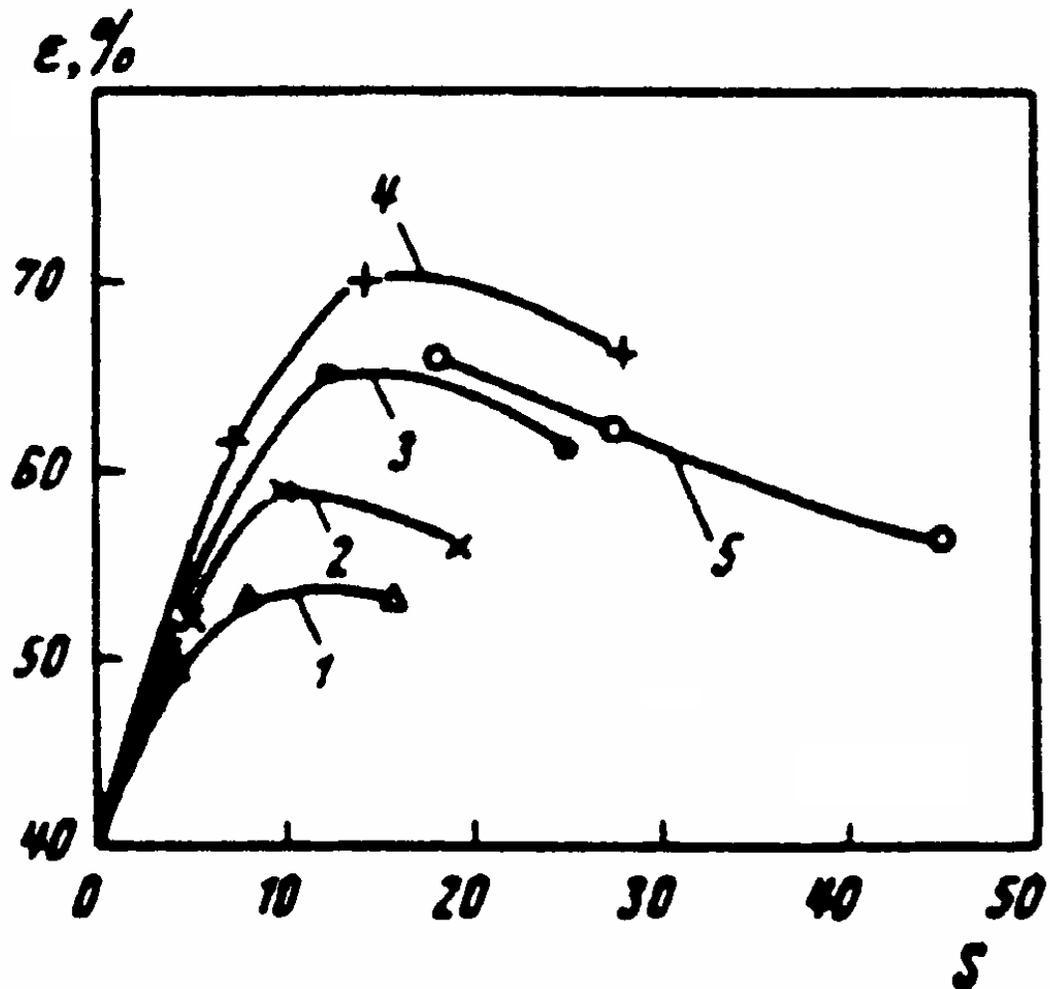


Figura 4.21 ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a área de superfície da interface óleo-água em unidades arbitrárias.

1 - 4 – para emulsões com $d = 12; 10.5; 7.7$ e 6.9μ com um consumo de óleo apolar de 60, 120 e 240 g/t; 5 – para emulsões com $d = 5.5 \mu$ com um consumo de óleo apolar de 50, 60 e 120 g/t.

Tabela IV.19 ⁽²⁾ - Influência da superfície da fase oleosa adicionada na máquina de flotação na recup.da martita.

Diâmetro médio das gotículas de óleo, em micron	Área de superfície em unidades arbitrárias	Recuperação máxima, %	Diâmetro médio das gotículas de óleo, em micron	Área de superfície em unidades arbitrárias	Recuperação máxima, %
12.0	8.00	53.5	5.0	4.80	66.0
10.5	9.44	58.0	4.0	3.00	63.5
7.7	12.40	63.2	3.4	3.60	65.8
6.9	14.00	67.8	2.7	4.44	69.0
5.5	8.70	65.9			

um aumento no consumo do óleo apolar (com a mesma dispersividade) ou um aumento na dispersividade das emulsões (com o mesmo consumo), leva a um decréscimo na recuperação do mineral na espuma, se a dosagem do reagente espumante permanece constante. A razão para o decréscimo na recuperação é a mesma, um decréscimo na concentração do reagente espumante na polpa, pois o mesmo torna-se adsorvido pela superfície das gotículas do óleo. Se a concentração do reagente espumante na polpa é aumentada, a recuperação do mineral aumenta com o aumento no consumo do óleo apolar (veja figura 4.22). Aparentemente, o decréscimo na recuperação (figura 4.17) é devido ao severo decréscimo na concentração do reagente espumante.

É interessante examinar ainda outra relação dada na figura 4.20, a qual mostra que a adição de várias quantidades de óleos apolares de alta dispersividade produz máximos nas curvas, as quais são de magnitude muito similar. Para alcançar esse máximo, o consumo necessário de óleo nas emulsões finamente dispersas é um décimo do consumo das emulsões grossas. Portanto, isso mostra que deve-se conhecer não somente o consumo do óleo apolar, mas também sua viscosidade e dispersividade (ou área de superfície da emulsão).

Uma dependência similar de ϵ (%) com q (g/t) foi obtida com coletores Vetluga. Veja figura 4.23.

Assim, a atividade de flotação dos óleos apolares depende de sua viscosidade e dispersividade.

Conseqüentemente, é interessante determinar qual dessas duas propriedades dos óleos apolares é mais importante, uma vez que emulsificando-se óleos apolares de varias densidades sob condições idênticas (temperatura, concentração de reagente espumante), óleos de baixa viscosidade produzirão emulsões finamente dispersas e óleos viscosos emulsões grossas. Assim, pode parecer que óleos de.

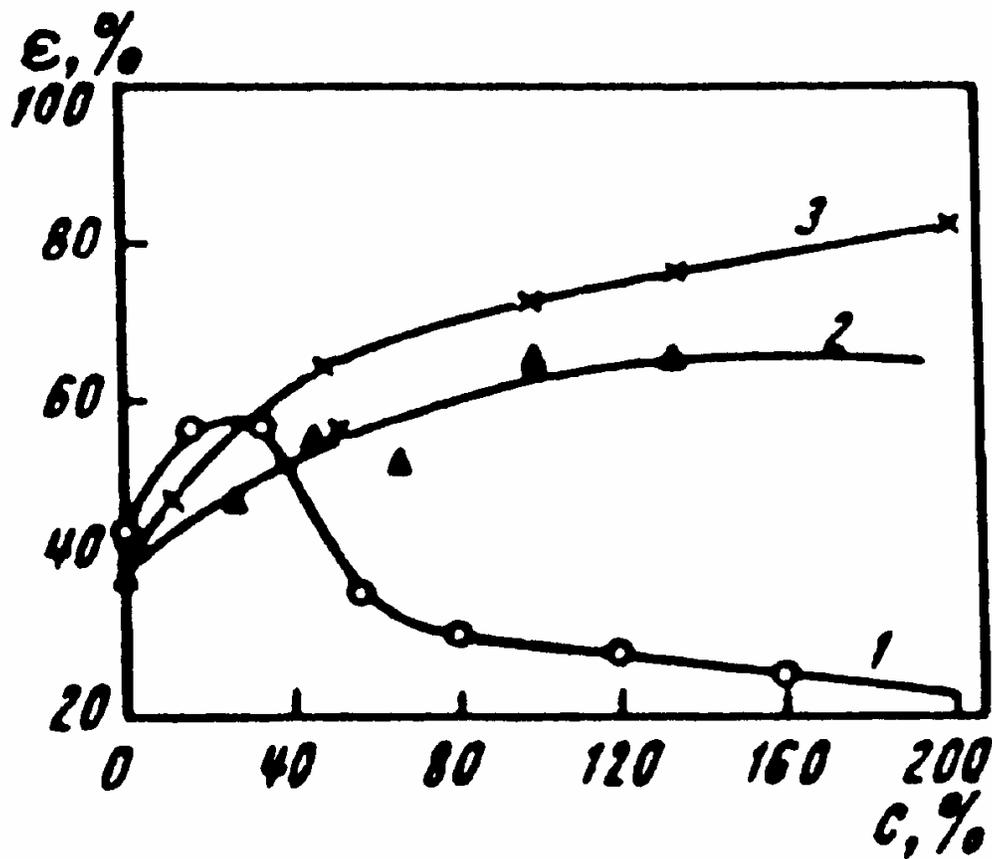


Figura 4.22 ⁽²⁾ – Influência dos óleos apolares na recuperação da martita com emulsões de ácido naftênico (C – concentração de óleo com relação ao ácido naftênico):

1,2 – óleo diesel; 3 – óleo IS-45; 1 – ácido naftênico 125 g/t, alquilaurilsulfonato DS-RAS 100 g/t; 2,3 – ácido naftênico 150 g/t, alquilaurilsulfonato DS-RAS 500 g/t.

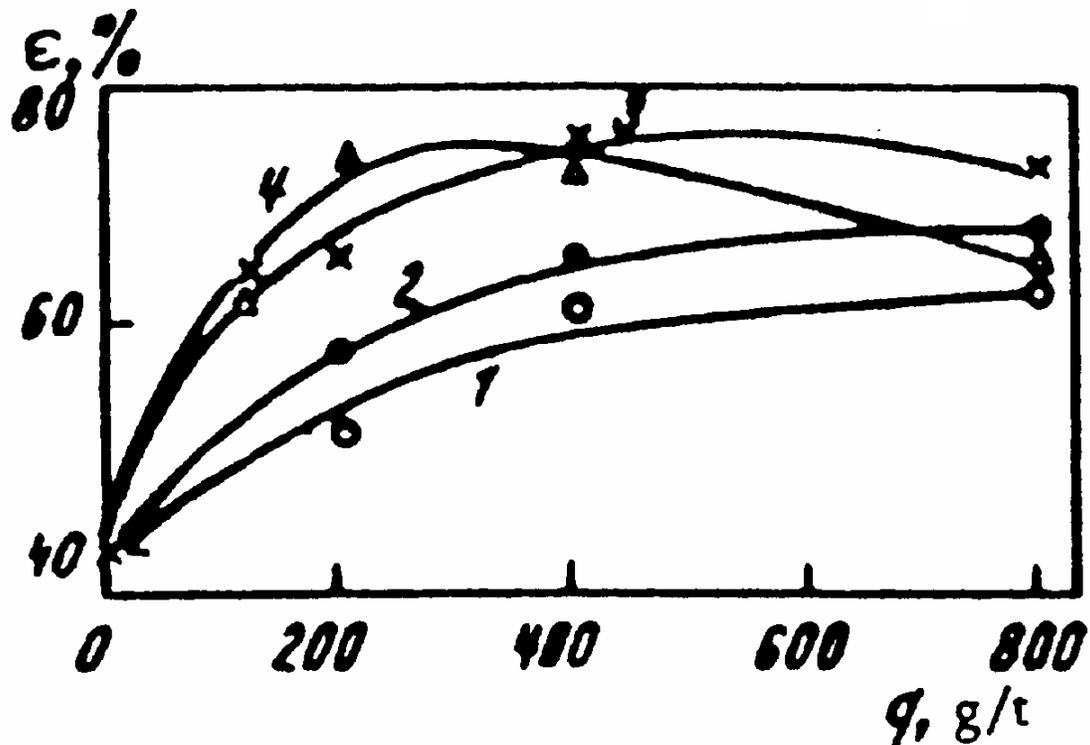


Figura 4.23 ⁽²⁾ – Dependência da recuperação da martita com a dispersividade e consumo do óleo IS-45 (consumo do óleo vetluga, 800 g/t):

1 - 4 – para emulsões com uma dispersividade de 7.2, 5.9, 3.2 e 0.9 μ, respectivamente.

baixa viscosidade são mais efetivos e conseqüentemente mais econômicos. A tabela IV.20 mostra os resultados obtidos durante a flotação da martita. Pode ser visto portanto que óleos mais viscosos garantem que, mesmo sob condições menos favoráveis (uma baixa dispersividade), a recuperação foi melhor.

Por razões de saúde, também os óleos mais viscosos são preferíveis nas instalações industriais.

Tabela IV.20⁽²⁾ - Influência da viscosidade dos óleos apolares e da dispersividade de suas emulsões nos resultados de flotação.

Nome do óleo	Densidade ótica da emulsão	Diâmetro médio das gotículas de óleo em micron	Aumento na recuperação, %	
			1	2
Óleo diesel	0.350	4.5	3.5	14.0
Óleo industrial IS-45	0.170	6.2	20.0	21.0
Óleo diesel DS-11	0.135	6.6	38.0	24.5

4.4.4 – A influência dos reagentes apolares na formação da espuma

A força de coleta dos reagentes espumantes tem sido freqüentemente discutida, mas idéias conflitantes existem a esse respeito. Por exemplo, escreveu Goden ⁽³⁶⁾: “certos minerais sulfetados têm uma apreciável flotabilidade na presença de pequenas quantidades de reagentes espumantes”. York ⁽³⁷⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, mostrou que a adição de reagentes espumantes não muda o ângulo de contato produzido pelo coletor.

Cientistas soviéticos tendem a confirmar a opinião de Goden. Shvedov e Shorsher ⁽³⁸⁾, citados por Glembotskii ⁽²⁾, verificaram que terpineol tem um efeito de coleta na calcopirita e Mitrofanov ⁽³⁹⁾ observou que piridina pesada ajuda a extrair calcopirita durante a flotação. Outros autores observaram que cresol tem um efeito de coleta na galena, terpineol na esfalerita e óleo de pinho nos sulfetos e na ganga.

A força coletora dos reagentes espumantes durante a flotação foi notada por Erchikovskii, Gudel, Klassen, Plaksin, Okolovich, Nazarova e Khazhinskaya ^(40,41), citados por Glembotskii ⁽²⁾.

Foi experimentalmente demonstrado ⁽⁴²⁾ que as propriedades coletoras não seletivas demonstradas pelos reagentes espumantes são uma função linear do decréscimo da tensão superficial da água na polpa, causada por esses reagentes. Os autores acreditam que isso indica que a adsorção dos reagentes espumantes na superfície dos minerais é proporcional à adsorção na interface líquido-gás, e é da mesma natureza (adsorção físico-molecular).

As propriedades coletoras dos reagentes espumantes são mais acentuadas se a superfície do mineral for menos ionizada e tiver um potencial mais baixo (grafita, molibdenita, talco).

A flotação é melhor executada sob condições de mais baixa dissociação das moléculas dos reagentes espumantes em íons, quando então a espumação alcança um patamar ótimo.

Assim, foi demonstrado que em muitos casos os reagentes espumantes aumentam a hidrofobicidade dos minerais. A força coletora dos reagentes espumantes na presença de coletores é sempre mais complexa. Coletores e reagentes espumantes podem interagir e influenciar ambos, a espumação e a atividade coletora.

Os experimentos de Eigeles ⁽⁴³⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, indicaram que reagentes espumantes aceleram a ligação das bolhas nas partículas minerais, cujas superfícies são desidratadas pelos coletores.

Mitrofanov ⁽³⁹⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, observou que lauril-xantato e cetil-alcool interagem em solução.

Tagart e Hassialis ⁽⁴⁴⁾, citados por Glembotskii ⁽²⁾, verificaram que cresol melhora a ligação das bolhas de ar na esfalerita coberta por xantato.

Plaksin e Khazhinskaya ⁽⁴⁵⁾, citados por Glembotskii ⁽²⁾, notaram que reagentes espumantes influenciam a ligação dos coletores aos minerais. Essa influência é diferente para diferentes minerais e reagentes espumantes.

Leja e Schulman ⁽⁴⁶⁾, citados por Glembotskii ⁽²⁾, verificaram que a ligação das partículas nas bolhas é influenciada pelas interações monomoleculares entre o coletor e o reagente espumante nas interfaces ar-água e mineral-água (coadsorção).

Usando o método de Langmuir notou-se que se um filme insolúvel é adsorvido na interface água-ar, as moléculas difíceis do reagente solúvel em água penetram essa camada e mudam suas propriedades mecânicas e elétricas pela formação de várias moléculas complexas. Pelos métodos de observação direta, descobriu-se que a adsorção de reagentes espumantes na superfície das partículas minerais é grandemente influenciada pela concentração e natureza dos reagentes adicionados à polpa, e também pela superfície específica dos minerais.

A coadsorção e interação entre os reagentes espumantes e coletores acontecem somente se um dos dois reagentes tem uma certa estrutura específica e para uma dada proporção entre esses dois reagentes.

Desses fatos é possível formular a teoria do mecanismo de formação dos complexos (reagentes coletor-espumante), a qual explica que as moléculas do reagente espumante formam complexos com as moléculas (íons) do coletor, e assim fortalecem seu efeito hidrofóbico ⁽⁴⁶⁾. O reagente espumante pode também permanecer ligado à superfície do mineral, como os coletores ⁽¹²⁹⁾. Na presença dos coletores, melhores condições são algumas vezes criadas para a estabilização das bolhas, e a estabilidade da espuma aumenta.

Erchikovskii ⁽⁴⁷⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, que estudou a influência do benzeno, clorofórmio e bromobenzeno nas espumas bifásicas formadas por n-propil álcool, terpineol, fenol e piridina pura, verificou que a adição de pequenas quantidades de substâncias apolares acelera a formação de uma espuma nitidamente estável. A razão para esse fenômeno é a participação das moléculas das substâncias apolares na formação de fortes filmes de adsorção nas lamelas da espuma, os quais tornam-se um calço do lado da fase gasosa, entre as moléculas dos reagentes espumantes adsorvidos nestes filmes. Erchikovskii chamou esse fenômeno de adsorção secundária.

Como resultado dessa adsorção, as moléculas do reagente espumante aparentemente tornam-se alongadas, e a hidratação da parte polar e a estabilidade da camada de adsorção aumentam ⁽¹⁴⁷⁾.

Bresler e Pokhil ⁽⁴⁸⁾, citados por Glembotskii ⁽²⁾, que confirmaram a teoria de Erchikovskii, observaram que nos filmes formados na água por moléculas de ácido mirístico e de hidrocarbonetos líquidos com 16 átomos de carbono, uma molécula de ácido atrai 4-5 moléculas de hidrocarbonetos. O excesso de hidrocarbonetos é deslocado do filme, e uma camada bem orientada de moléculas de ácido mirístico é formada sob a camada de hidrocarbonetos, a qual impede a ação de calço (“wedging-in”) dos grupos polares.

Mitrofanov ⁽³⁹⁾ observou que a adição de etil-celulose aumenta a espumação, mas a adição de alquil-sulfatos aromáticos e alifáticos decresce a estabilidade da espuma formada pela mistura de ácidos graxos.

Aleinikov ⁽⁴⁹⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, observou que uma certa concentração de querosene estabiliza as espumas bifásicas obtidas do óleo de pinho, mas um aumento no consumo de querosene tem uma influência desfavorável, e aparentemente as moléculas dos reagentes espumantes são deslocadas das camadas superficiais.

Emel'yanov ⁽⁶³⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, notou que a adição de querosene melhora a qualidade dos concentrados de carvão, mas diminui a força da espuma.

Brukhgol'd ⁽⁵⁰⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, acredita que óleos lubrificantes, os quais permanecem na superfície da polpa, destroem a espuma. Mas, se são bem emulsificados, eles não inibem a espuma, e sob certas condições podem igualmente produzir espumas estáveis. Ele também acredita que a estabilização da espuma pelos óleos lubrificantes é causada pela apreciável quantidade de reagentes ativos na superfície presentes nesses óleos.

A ação dos inibidores da espuma na espumação da água é aparentemente influenciada pela natureza do inibidor e pelas substâncias as quais promovem espumação. Alguns inibidores da espuma causam mudanças na estrutura do filme adsorvido nas bolhas, as quais decrescem a força mecânica do filme e destroem o mesmo.

Kuz'kin e Livshits ⁽⁶⁴⁾, citados por Glembotskii ⁽²⁾, estudaram a estabilidade de espumas bifásicas e a taxa de coalescência das bolhas na presença de diversas substâncias apolares. Eles descobriram que a estabilidade da espuma é grandemente diminuída pela adição de óleos apolares durante a flotação. A estabilidade da espuma na presença de óleos leves é menor que na presença de hidrocarbonetos pesados. Se a concentração de reagentes espumantes (terpineol, cresol, OPSB) é aumentada, o tempo necessário para coalescência das bolhas de ar aumenta, mas a adição de óleos apolares decresce a estabilidade da espuma, tanto que anula completamente o efeito produzido pelos reagentes espumantes.

Acredita-se que a inibição da espuma seja devido às forças de atração adicionais produzidas pelos meniscos côncavos dos filmes dos óleos hidrocarbônicos.

De acordo com Adam ⁽⁶⁵⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, as gotas de água-óleo na interface água-ar apresentam a forma de lentes, com um ângulo de contato não excedendo 30° (medido através do óleo). Se duas bolhas de óleo aparecem em contato através de uma camada de óleo, um menisco côncavo é formado ao longo das extremidades da camada de óleo, e um decréscimo na pressão ocorre na bolha de óleo, o qual é determinado pela curvatura da superfície dos meniscos. Isso cria forças de atração nas superfícies com pequenas curvaturas, as quais aceleram a atração das bolhas e causam sua coalescência.

Existem outras hipóteses sobre o mecanismo de inibição de espuma por gotas minúsculas e partículas de hidrocarbonetos. A inibição da espuma ocorre devido à

“conversão” das emulsões trí-fásicas sob a influência de reagentes que tornam hidrofóbicas as partículas do reagente emulsificante sólido, e à adsorção do reagente espumante no hidrocarboneto adicionado.

A primeira hipótese de inibição da espuma talvez seja verdadeira, mas somente para espumas trifásicas formadas na presença de depósitos hidrofóbicos.

A segunda hipótese parece ser mais provável para hidrocarbonetos líquidos, mas não para todos, uma vez que é difícil explicar, por exemplo, a inibição da espuma com hidrocarbonetos sólidos, pelo decréscimo na concentração dos reagentes espumantes somente.

A inibição da espuma pode também ocorrer devido a mudança na tensão interfacial água-ar, na qual os hidrocarbonetos tornam-se concentrados.

Melik-gaikazyan ⁽⁶⁶⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, estudou a tensão de superfície no sistema bolha-mineral e verificou que essa tensão depende das propriedades dos hidrocarbonetos usados (composição e presença de impurezas ativas na superfície).

– A influência dos hidrocarbonetos nas espumas formadas por diversos reagentes espumantes

Estudos de flotação ⁽⁵¹⁾ foram feitos com diversos reagentes espumantes vastamente empregados: terpineol, hexil-álcool, óleo de pinho, OPSB, fenol, “penoreagent”, E-1, IM-68 (contendo um grupo hidrofóbico OH), isoácido (mistura de ácidos valérico e butírico), ácido oleico (contendo um grupo solidofílico COOH), alquilbenzenossulfonato, DS, “azolyat A”, SB-1 (contendo um grupo polar sulfonato de sódio SO₃Na), piridina pesada, piridina pura (com grupos hidrofílicos contendo nitrogênio).

Os seguintes hidrocarbonetos foram usados: parafinas individuais, hidrocarbonetos naftênicos e aromáticos, produtos obtidos pela destilação fracional do petróleo, petróleo e óleos hidrocarbônicos: MS-20, SV, SU, IS-45, óleo lubrificante de eixo (“axle oil”), EKS, óleo de turbina, óleo lubrificante de engrenagem (“spindle oil”), óleo IS-20, óleo de transformador, óleo diesel e querosene (de várias viscosidades e composições).

Dados da estabilidade da espuma formada por óleo de pinho, “penoreagent”, piridina e DS, juntamente com hidrocarbonetos individuais são apresentados na tabela IV.21. Os hidrocarbonetos foram adicionados como emulsões, e seu consumo e densidade foram controlados por fotocolorímetro.

Pode ser visto que hidrocarbonetos puros não produzem nenhuma espuma, mas usualmente estabilizam a espumação, embora em diferentes extensões, dependendo da estrutura das moléculas do hidrocarboneto e do reagente espumante usado.

Por exemplo, a espuma formada pelo óleo de pinho é melhor estabilizada por hidrocarbonetos parafínicos. O mais longo tempo de vida é produzido por

Tabela IV.21 ⁽²⁾ - Influência de vários hidrocarbonetos nas espumas formadas.

Hidrocarboneto	Óleo de pinho		"Penoreagent"		Piridina		DS	
	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos
Sem adição	220	8,5	150	5	200	6	230	124
Benzeno	230	14	150	5	200	7	240	163
Tolueno	200	12	170	6	200	7,5	190	129
o - xileno	200	72	150	5	200	7	180	150
m - xileno	190	100	160	6	200	7,5	170	220
p - xileno	180	67	160	5	230	9	180	180
Mesitileno	210	107	160	6	210	7,5	240	230
Cumeno	240	142	180	6	220	8	250	230
Alfa-metilnafteno	190	9	160	6	140	4	250	12
Tetralin	230	80	170	5	230	10	190	110
Decalin	270	77,5	170	6	180	4	380	156
Ciclohexano	250	80	150	5	220	8	260	98
n - heptano	210	133	150	5	240	9,5	280	144
n- undecano	220	135	170	6	240	9,5	280	152
n - hexadecano	200	137	170	7,5	240	10	240	174
fenol	170	6	130	5	240	10	290	15

parafinas com um alto peso molecular, isto é, com uma longa cadeia hidrocarbônica.

Hidrocarbonetos naftênicos também facilitam a espumação com óleo de pinho, mas estes hidrocarbonetos não necessariamente aumentam a estabilidade da espuma se a molécula for mais complexa, e hidrocarbonetos com um peso molecular mais baixo produzem espumas de grande volume.

Espumas produzidas por hidrocarbonetos aromáticos adquirem uma grande estabilidade se cumeno é adicionado, o qual aumenta a espessura da camada de espuma de 220 mm (sem adição) para 240 mm e seu tempo de vida de 8,5 segundos (sem adição) para 142 segundos. Mesitileno, o qual tem o mesmo peso molecular que o cumeno, mas uma molécula mais ramificada, diminui o tempo de vida da espuma de 142 para 107 segundos. Espumas produzidas por hidrocarbonetos aromáticos, com as moléculas mais complexas e mais alto peso molecular (α - metilnafteno), também têm mais baixa estabilidade.

Espumas produzidas por outra substância, “penoreagent”, podem também ser estabilizadas pela adição de alguns hidrocarbonetos individuais. Porém, neste caso, os hidrocarbonetos aromáticos, juntamente com hidrocarbonetos parafínicos, são mais ativos, e a maior espessura da camada de espuma é, como anteriormente, produzida pelo cumeno.

As melhores espumas são produzidas por decalin, pertencente à classe dos naftenos.

A adição de hidrocarbonetos puros aumenta a estabilidade da espuma produzida por piridina pesada.

Somente α - metilnafteno (hidrocarboneto aromático) e decalin (nafteno) diminuem a espessura da camada de espuma de 200 (sem adição) para 140-180 mm e seu tempo de vida de 6 (sem adição) para 4 segundos.

Pela adição de hidrocarbonetos parafínicos é possível, como em outros casos, obter as espumas mais estáveis e seguindo a regularidade do aumento da estabilidade com aumento do peso molecular do reagente.

Cumeno e mesitileno são os mais ativos hidrocarbonetos aromáticos que podem ser adicionados à espuma produzida pela solução DS.

A adição de hidrocarbonetos naftênicos ou parafínicos também aumenta a estabilidade da espuma. Um aumento no peso molecular desses hidrocarbonetos aumenta sua atividade.

Assim, os dados experimentais acima indicam que a adição de hidrocarbonetos individuais usualmente aumenta a estabilidade da espuma. Porém, não existe nenhuma regularidade governando o aumento da força de espumação nas espumas produzidas pelos vários reagentes espumantes com todas as três classes de compostos estudados. Deve ser notado que a estabilidade das espumas formadas pelos vários reagentes espumantes é influenciada pela estrutura das moléculas, a viscosidade e o peso molecular do coletor apolar.

Pode ser visto que hidrocarbonetos parafínicos facilitam a produção de espumas mais estáveis. Por causa da sua estrutura linear, as moléculas desses hidrocarbonetos podem aparentemente formar calços, mais livremente, entre os grupos apolares das moléculas dos reagentes espumantes inicialmente adsorvidas na camada de superfície das bolhas de ar. Como resultado, os grupos apolares das moléculas dos reagentes espumantes tornam-se alongados, a diferença entre as polaridades de ambos os lados das bolhas aumenta, e sua estabilidade é melhorada.

Pode-se assumir que para hidrocarbonetos naftênicos ou aromáticos, os quais têm moléculas mais complexas, essa orientação pode requerer uma mais longa interação com as moléculas do reagente espumante e, portanto, para o limitado período de tempo de formação da espuma, o efeito dos reagentes apolares não é tão grande.

Com a diminuição no coeficiente de espalhamento, a probabilidade de coalescência decresce, e a estabilidade da espuma e seu tempo de vida aumentam. Portanto, o pequeno coeficiente de espalhamento explica a melhor espumação produzida por cumeno e mesitileno, os quais são hidrocarbonetos aromáticos com os mais baixos coeficientes de espalhamento de todos os hidrocarbonetos aromáticos estudados.

A influência do peso molecular e da viscosidade dos hidrocarbonetos é essencialmente verificada nos hidrocarbonetos parafínicos ou nos naftenos, se são usados os reagentes espumantes DS ou “penoreagent”, e aumentando a viscosidade ou o peso molecular dos hidrocarbonetos, aumenta a estabilidade da espuma.

A aumento na estabilidade da espuma por hidrocarbonetos mais viscosos pode ser explicado por seus baixos coeficientes de espalhamento, os quais decrescem com o aumento no peso molecular dos reagentes.

Reagentes apolares usados nas instalações de tratamento de minérios consistem de uma mistura de hidrocarbonetos de várias composições, os quais são difíceis de determinar por causa da grande quantidade de isômeros presentes. Portanto, para estudar as propriedades dos reagentes apolares torna-se interessante determinar os elementos estruturais desses hidrocarbonetos (grupos atômicos individuais), e verificar sua influência na espuma formada pelos vários reagentes espumantes.

Estudos foram feitos para verificar essa influência utilizando os mesmos grupos hidrocarbônicos apresentados na tabela IV.12.

Foi experimentalmente demonstrado que certas frações do petróleo diminuem a espessura da camada de espuma. Os hidrocarbonetos adicionados têm uma influência muito diferente na estabilidade da espuma produzida por vários reagentes espumantes (em função de suas composições). Melhores efeitos dos reagentes espumantes contendo um grupo hidroxila OH são obtidos adicionando frações do petróleo com grande quantidade de parafinas e hidrocarbonetos isoparafínicos (e também adicionando hidrocarbonetos individuais deste tipo).

A adição de óleo isoparafínico com um peso molecular de 300 aumenta o tempo de vida da espuma formada por terpineol em 85 segundos, e daquela formada por OPSB em 41 segundos, conforme ilustrado na figura 4.24.

Com reagentes espumantes contendo grupos carboxílicos COOH, espumas de vida mais longa podem ser obtidas adicionando produtos aromáticos ou naftênicos da destilação do petróleo (figura 4.25).

O tempo de vida das espumas formadas por reagentes espumantes com um grupo polar SO_3Na é aumentado, adicionando frações naftênicas da destilação do petróleo (figura 4.26).

A figura 4.27, como as figuras de 4.24 a 4.26, mostra dados da estabilidade da espuma formada por piridina pura e pesada. Pode ser visto que a adição de várias frações da destilação do petróleo reduz o tempo de vida da espuma formada por piridina pura, mas algumas vezes estabiliza espumas produzidas por piridina pesada. Hidrocarbonetos aromáticos (amostras 2 e 5) são os mais efetivos.

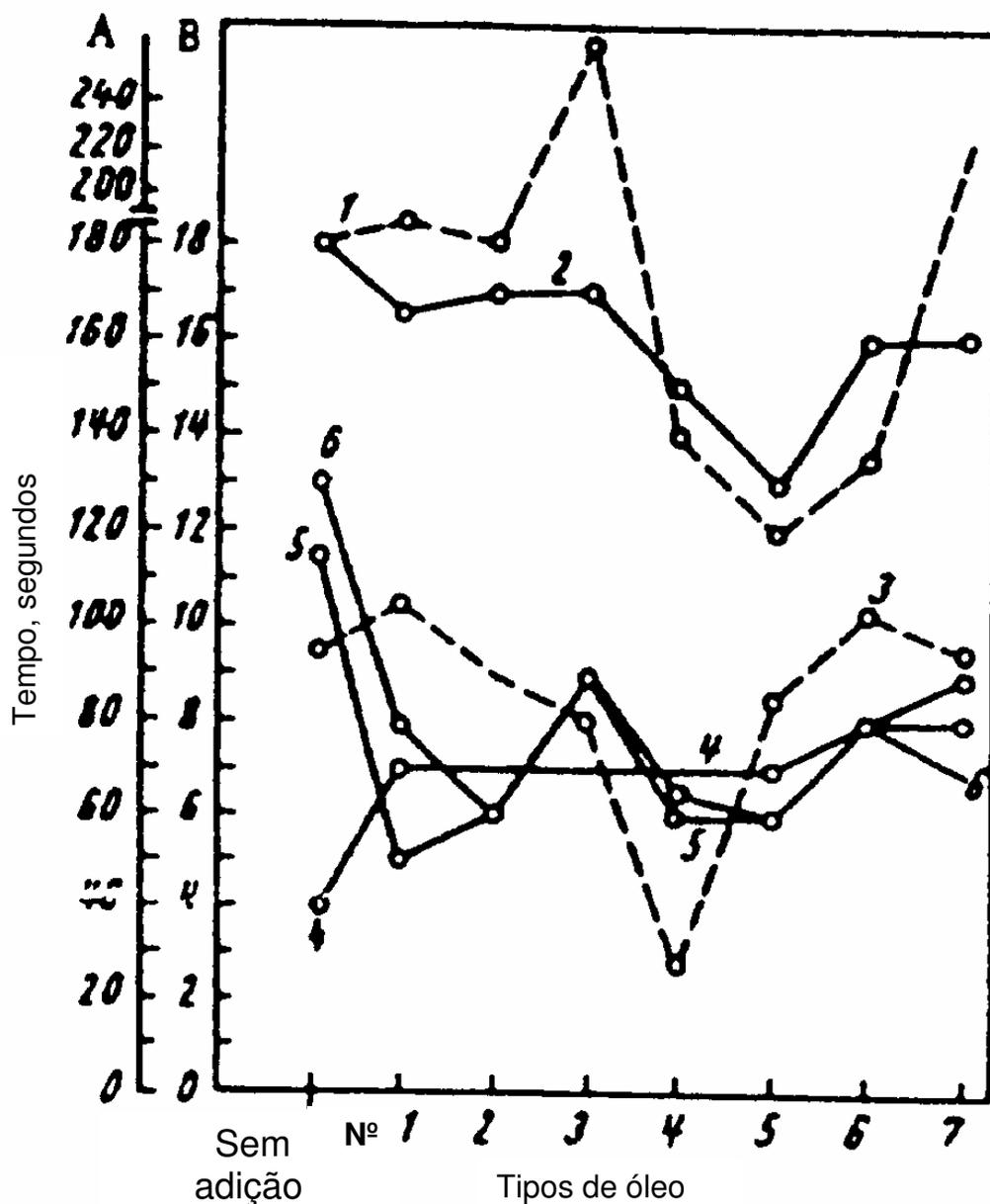


Figura 4.24 ⁽²⁾ – Influência das adições de hidrocarbonetos na estabilidade da espuma produzida por vários reagentes espumantes com um grupo hidrofílico OH. Curvas: 1 – Terpineol; 2 – Óleo de pinho; 3 – Alcool hexil; 4 – “Penoreagent”; 5 – Fenol; 6 – OPSB; **A** – para curvas 1, 3, 6; **B** – para curvas 2,4,5.

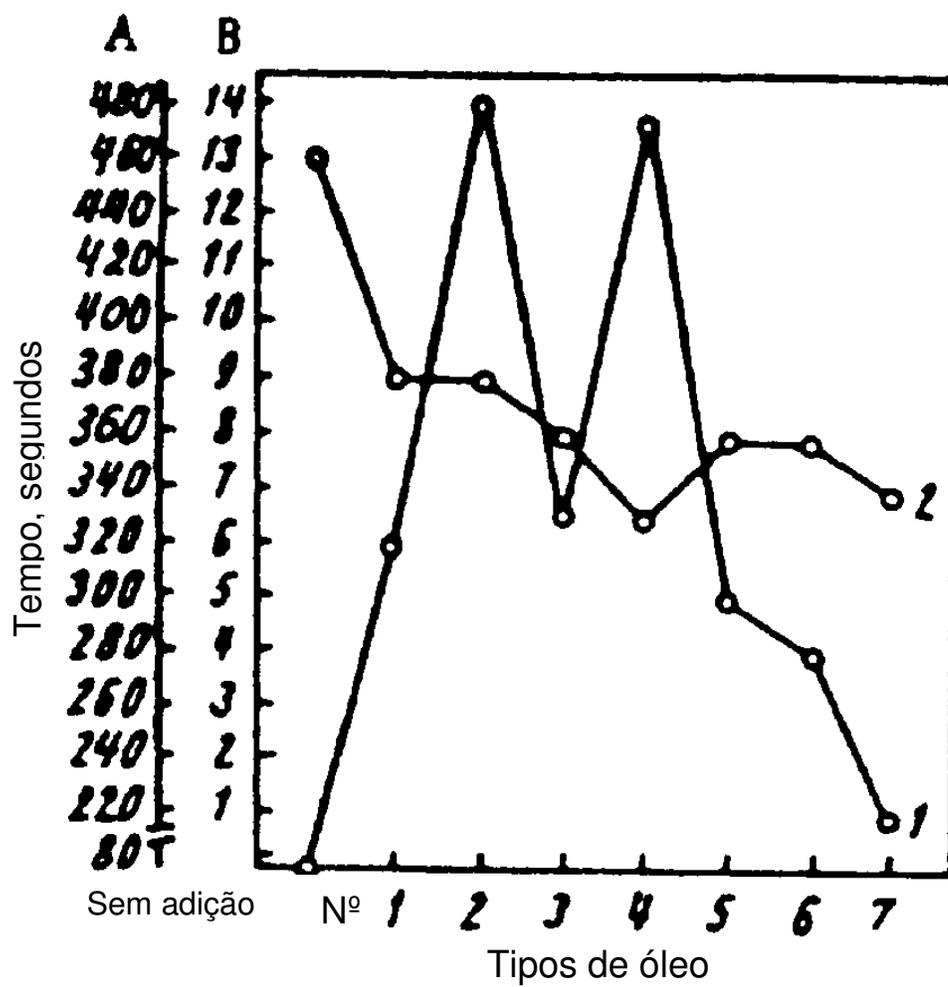


Figura 4.25 ⁽²⁾ – Influência das adições de hidrocarbonetos na estabilidade da espuma formada por ácido oléico (1) e por isoácido (2):

A – para curva 1; B – para curva 2.

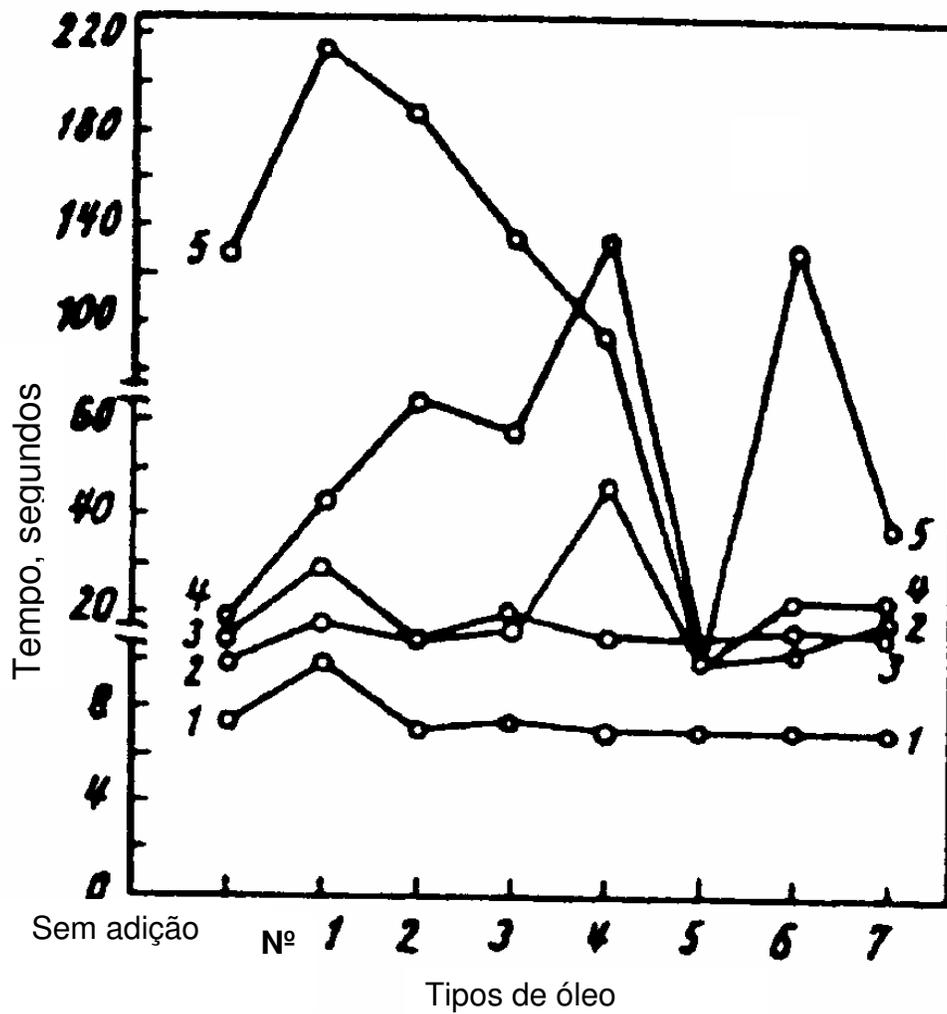


Figura 4.26 ⁽²⁾ – Influência das adições de hidrocarbonetos na estabilidade da espuma formada por diferentes reagentes espumantes. Curvas:

1 – Alquilbenzenosulfonato; 2 – DS; 3 – Azolyat; 4 – SB-1; 5 – Alquilsulfonato.

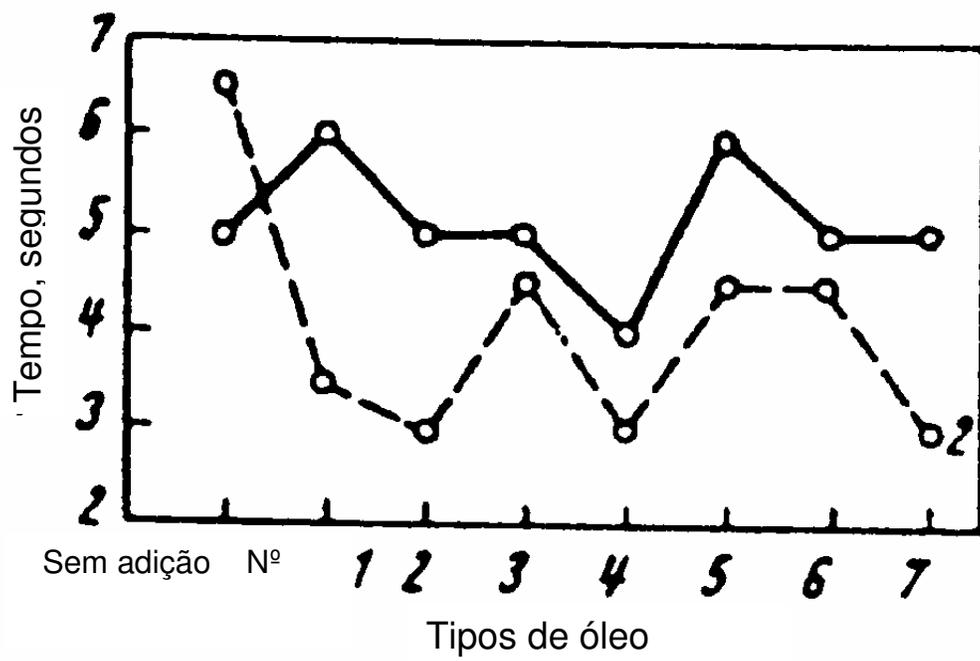


Figura 4.27 ⁽²⁾ – Influência das adições de hidrocarbonetos na estabilidade da espuma formada por piridina pesada (1) e por piridina pura (2).

Os resultados dos estudos da estabilidade das espumas produzidas por vários reagentes espumantes na presença de frações do petróleo têm mostrado que:

- a adição de produtos da destilação do petróleo leva algumas vezes a um decréscimo na espessura da camada de espuma;
- para cada grupo de reagentes espumantes contendo moléculas polares existe uma fração hidrocarbônica mais efetiva, a qual aumenta o tempo de vida da espuma e reduz o decréscimo no volume da espuma (ou algumas vezes pode levar a um aumento);
- frações parafínicas da destilação do petróleo não são os melhores estabilizadores da espuma formada por diferentes reagentes espumantes.

A estrutura das moléculas dos hidrocarbonetos parafínicos é preferencialmente complexa, já que contêm naftenos, compostos aromáticos, cetonas, éteres, anidridos acíclicos e outros compostos.

Parafinas são os melhores estabilizadores somente para reagentes espumantes contendo um grupo OH.

A tabela IV.22 mostra a influência dos óleos do petróleo nas espumas produzidas por vários reagentes espumantes e indica que a adsorção de óleos apolares usualmente decresce a espessura da camada de espuma e o tempo de vida da mesma.

Assim, por exemplo, para reagentes espumantes com um grupo polar, “penoreagent”, E-1, IM-68, hexil-alcool e terpineol, os melhores estabilizadores são óleo de transformador e óleo IS-20.

As mais efetivas adições para espumas produzidas por OPSB, fenol e óleo de pinho são óleo IS-45, óleo diesel (OPSB) e óleo de transformador (óleo de pinho e fenol). A estabilidade da espuma produzida com esses reagentes é grandemente diminuída pela adição do óleo EKS.

Tabela IV.22 ⁽²⁾ - A influência dos reagentes apolares na estabilidade da espuma formada por:

Óleo Hidrocarbônico	OPSB*		Óleo de pinho*		Fenol		Alcool hexil		Isoácido	
	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos
Sem adição	330 280	38 13	310 190	10 8	240	11,5	480	95	420	13
MS-20	300 170	24 6	260 170	8 5	130	4	400	25	260	5
SV	260 160	20 6	270 170	9 7	130	4,5	400	71	300	7
SU	260 170	17 7	230 175	8 7	120	4	360	84	300	7
IS-45	300 200	36 9	230 180	8 6	140	5	440	77	310	7
Óleo lubrificante de eixo - "axle"	250 200	29 7	230 180	7,5 6	130	4,5	430	78	290	8
EKS	380 150	20 5	220 120	14 5	130	3,5	260	26	300	7,5
Turbina	300 210	30 7,5	220 170	8 5	140	4	480	47	340	8
Óleo lubrificante de engrenagem - "Spindle"	250 200	34 8	220 190	8 6,5	140	5	490	45	380	8
IS-20	270 200	24 7	220 170	7,5 6	140	5	510	97	340	8
Transformador	320 190	25 7	270 170	10 6	160	6,5	460	46	350	9,5
Diesel	290 220	30 8,5	240 160	8 5	140	4,5	480	89	370	10
Petróleo "Romashkino"	270 140	9,5 5	220 150	9 6	140	5	320	20	330	8
Querosene	280 220	12 6	220 180	8 7	130	4,5	430	40	300	9

* O numerador mostra o uso soluções preparadas com água da planta industrial; o denominador o uso de água destilada.

Óleo Hidrocarbônico	Ácido oleico		"Azolyat A"		Alquilbenzenosulfonato		Piridina pesada	
	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos	Espessura da camada de espuma, mm	Tempo de vida da espuma, segundos
Sem adição	140	80	450	15	300	7,5	150	5
MS-20	140	170	310	11	260	7	130	5
SV	140	173	390	14	270	7	140	4,5
SU	140	180	420	11	240	6	120	4
IS-45	140	295	360	11	300	7,5	120	4
Óleo lubrificante de eixo - "axle"	140	264	380	18	290	7	140	4,5
EKS	140	295	340	13	140	5	120	3,5
Turbina	140	205	320	10	310	10	130	4,5
Óleo lubrificante de engrenagem - "Spindle"	140	495	380	15	300	35	110	4
IS-20	150	377	330	15	250	7,5	140	4,5
Transformador	140	330	380	17	230	7,5	140	4
Diesel	140	246	350	11	280	7	140	6
Petróleo "Romashkino"	140	162	380	15	130	5	150	7
Querosene	140	155	390	10	280	6	120	3

Espuma formada por ácido oléico, o qual tem um grupo COOH, pode ser estabilizada pela adição de óleos apolares, embora a espessura da camada de espuma fique inalterada.

Espumas formadas por reagentes com um grupo polar SO_3Na (“azolyat A”, SB-1,DS) são melhor estabilizadas por óleo lubrificante de eixo L (“axle oil L”), enquanto espumas formadas por alquilbenzenossulfonato e por alquilssulfonato são melhor suprimidas por óleo lubrificante de engrenagem (“spindle oil”).

O tempo de vida é usualmente diminuído por óleos apolares, mas cada grupo de reagentes espumantes tem seu mais eficiente reagente apolar, o qual algumas vezes aumenta o tempo de vida, mas diminui a espessura da espuma.

É mesmo difícil determinar a razão para as diferentes influências dos óleos na espuma formada por diferentes reagentes espumantes, uma vez que não se pode dizer que óleos mais viscosos produzem uma maior estabilização da espuma e que óleos menos viscosos produzem uma maior inibição da espuma. Aparentemente, essas propriedades são grandemente influenciadas pela composição dos óleos e dos reagentes espumantes.

Se não se considerar a influência da composição e estrutura dos reagentes é impossível determinar as razões para a estabilização ou inibição das espumas.

Aparentemente a presença de ácidos carboxílicos ou alcoois nos óleos de transformador e IS-45 torna-os mais efetivos, e usualmente melhora a espumação.

Variações na composição do óleo MS-20, levando a uma diminuição no número de grupos hidroxila (alcoois) e a um aumento no número de compostos aromáticos cíclicos complexos, causam um aumento na viscosidade e uma deterioração na espumação.

A diminuição na quantidade do reagente espumante na solução causada pela adição dos reagentes apolares foi confirmada por dados de análise de luminescência.

Portanto, mudanças com adição de coletores apolares ocorrem não somente na solução mas também nas bolhas da espuma, onde as moléculas do reagente espumante são coadsorvidas com moléculas do reagente apolar.

Assim, a adsorção de reagentes apolares na superfície da bolha de ar pelas moléculas do reagente espumante leva a mudanças estruturais na camada hidratada da bolha.

Existe, aparentemente, uma interação entre as moléculas do reagente espumante e de várias substâncias ativas na superfície presentes nos reagentes apolares. O resultado dessa interação pode levar à produção de novas substâncias, as quais podem diminuir, ou mesmo aumentar, a força do filme de adsorção na bolha de ar, dependendo da composição das novas substâncias formadas, sua quantidade, e da razão entre a quantidade de reagentes espumantes e coletores usada. Essa diminuição na força da camada de adsorção pode levar à destruição da espuma.

A tabela IV.23 mostra os dados de um estudo do efeito de adições de hidrocarbonetos na espuma bifásica formada por vários reagentes espumantes com um minério de cobre-molibdênio. A estabilidade da espuma foi medida pela recuperação do primeiro concentrado. Os dados mostram que a adição de hidrocarbonetos usualmente diminui a recuperação na espuma do primeiro concentrado.

Embora a adição de coletores hidrocarbônicos reduz a recuperação do primeiro concentrado, a recuperação dos componentes valiosos pode ser aumentada, e

Tabela IV.23 ⁽²⁾ - A estabilidade das espumas bifásicas contendo hidrocarbonetos apolares.

Óleo Hidrocarbônico	Óleo de pinho			Fenol			"Penoreagent"		
	Recuperação do 1º concentr., %	Espessura da camada da espuma bifásica, mm	Tempo de vida da espuma bifásica, segundos	Recuperação do 1º concentr., %	Espessura da camada da espuma bifásica, mm	Tempo de vida da espuma bifásica, segundos	Recuperação do 1º concentr., %	Espessura da camada da espuma bifásica, mm	Tempo de vida da espuma bifásica, segundos
Sem adição	16,7	190	8	11,3	240	11,5	15,8	140	4
MS-20	-	-	-	10,9	130	4	13,4	130	3,5
SV	13,8	170	8	-	-	-	15,8	140	5
SU	14,9	175	7	10,3	120	4	-	-	-
IS-45	16,1	180	6	11,1	140	5	14,9	140	5
Óleo lubrificante de eixo - "axle"	14,5	180	6	11,5	130	4,5	15,2	140	5
EKS	10,6	120	5	10	130	3,5	15,3	130	5
Turbina	14,1	170	5	-	-	-	14,9	140	5
Transformador	14,4	170	6	13,5	160	6,5	-	-	-
Petróleo "Romashkino"	14	150	6	11,1	140	5	-	-	-
Querosene	16,6	180	7	11,5	130	4,5	-	-	-

Óleo Hidrocarbônico	E-1			Isoácido			Azolyat A		
	Recuperação do 1º concentr., %	Espessura da camada da espuma bifásica, mm	Tempo de vida da espuma bifásica, segundos	Recuperação do 1º concentr., %	Espessura da camada da espuma bifásica, mm	Tempo de vida da espuma bifásica, segundos	Recuperação do 1º concentr., %	Espessura da camada da espuma bifásica, mm	Tempo de vida da espuma bifásica, segundos
Sem adição	7,2	500	45	10,1	420	13	9,5	450	15
MS-20	6,5	440	36	-	-	-	-	-	-
SV	10,1	360	51	10,7	300	7	10,5	390	14
SU	8,1	400	23	9,7	300	7	10,6	420	11
IS-45	7,1	470	35	11,7	310	7	-	360	11
Óleo lubrificante de eixo - "axle"	10,2	340	-	10,1	290	8	10	380	18
EKS	-	-	-	10,2	300	7,5	10,9	340	13
Turbina	-	-	-	10,1	340	7	10,1	320	10
Transformador	-	-	-	11,5	350	9,5	12,4	380	17
Petróleo "Romashkino"	-	-	-	11,1	330	8	11,7	380	15
Querosene	7,8	280	36	8,9	300	9	11	390	10

Óleo Hidrocarbônico	SB-1			alquilsulfonato			Piridina		
	Recuperação do 1º concentr., %	Espessura da camada da espuma bifásica, mm	Tempo de vida da espuma bifásica, segundos	Recuperação do 1º concentr., %	Espessura da camada da espuma bifásica, mm	Tempo de vida da espuma bifásica, segundos	Recuperação do 1º concentr., %	Espessura da camada da espuma bifásica, mm	Tempo de vida da espuma bifásica, segundos
Sem adição	4	420	17	9,4	420	20	12,1	150	5
MS-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SV	5,5	330	12	-	340	10	11,2	140	4,5
SU	8,68	350	12	8,8	320	9	-	-	-
IS-45	5,4	350	12	7,7	380	10	-	-	-
Óleo lubrificante de eixo - "axle"	6,2	340	12,5	7,4	390	10	-	-	-
EKS	8,5	260	10	8,3	290	10	9,1	120	3,5
Turbina	7,56	330	11	-	320	9,5	-	-	-
Transformador	5,7	330	12	-	390	10	-	-	-
Petróleo "Romashkino"	6,6	330	12	10,6	380	13	14,4	150	7
Querosene	8,1	300	11	-	360	10	-	-	-

melhores concentrados são produzidos pela adição de hidrocarbonetos mais efetivos.

Uma alta recuperação dos minerais na espuma e uma grande estabilidade da espuma usualmente indicam uma flotação mais efetiva, conforme ilustrado na figura 4.28.

O uso de óleos juntamente com várias substâncias ativas na superfície, as quais podem ser adicionadas com o reagente apolar, e a produção de emulsões finas, pode favorecer uma melhoria na flotação (figura 4.29).

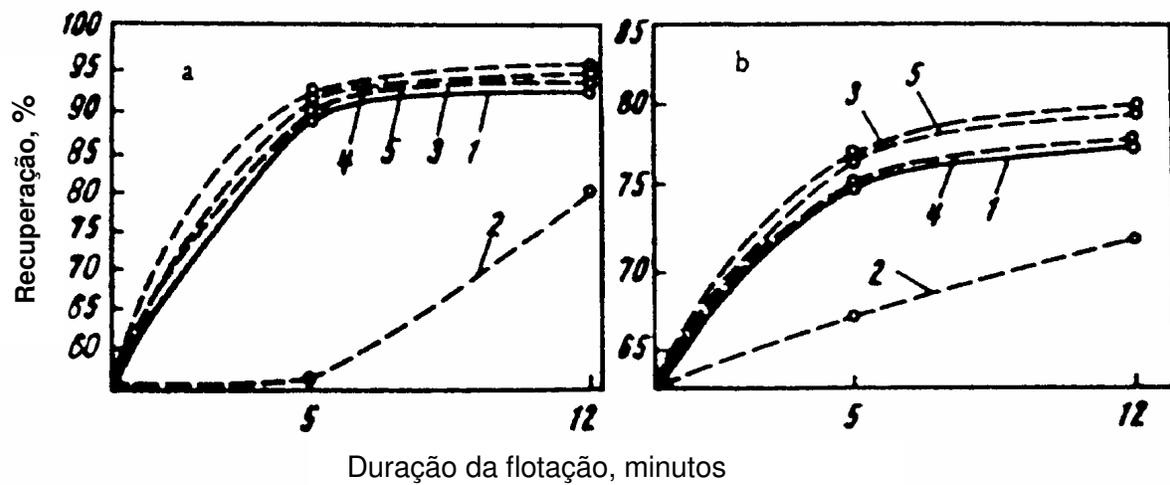


Figura 4.28 ⁽²⁾ – Cinética da extração do cobre (a) e de molibdênio (b) durante flotação com óleo de pinho e adição de hidrocarbonetos:

1 – sem adição de hidrocarbonetos; 2 – EKS; 3 – SV; 4 – petróleo crú; 5 – óleo IS-45.

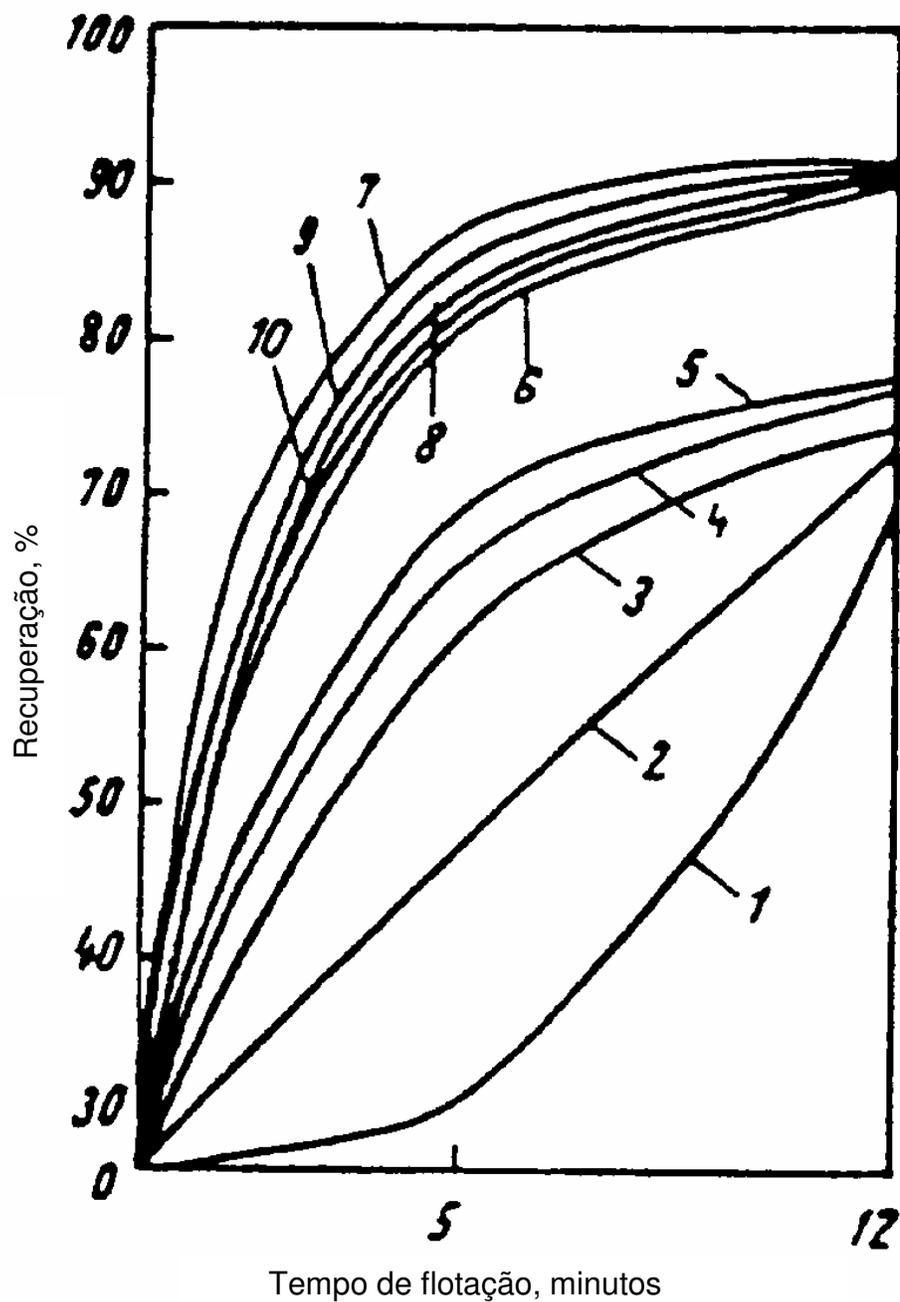


Figura 4.29 ⁽²⁾ – Cinética da extração de molibdênio (1-5) e de cobre (6-10), durante a flotação de um minério de cobre-molibdênio, com adição do reagente espumante DS, reagente coletor DB e hidrocarbonetos apolares:

1,6 – sem adição; 2,7 – DS+DB; 3,8 – DS+DB+óleo SV; 4,9 – DS+DB+ petróleo Romashkino; 5,10 – DS+DB+ óleo de transformador.

– A influência dos reagentes apolares na tensão de superfície da interface água-ar

Espumas são sistemas termodinamicamente instáveis. Essa instabilidade é devido à presença de excesso de energia livre de superfície na interface. Os processos espontâneos que acontecem na espuma tendem a diminuir a energia livre de superfície e leva à coalescência das bolhas de ar.

A destruição dos filmes líquidos das células individuais da espuma leva a uma mudança da tensão de superfície. As espumas mais estáveis são produzidas por soluções com uma baixa tensão de superfície. Com o decréscimo na tensão de superfície ocorre uma diminuição na energia, a qual deve ser usada para neutralizar as forças de superfície.

Por causa da relação entre a tensão de superfície e a força de espumação das soluções, é interessante determinar a influência dos reagentes apolares na tensão interfacial ar-água.

Dados da tensão interfacial gás-líquido e da estabilidade da espuma produzida por reagentes apolares de várias viscosidades são apresentados na tabela IV.24, a qual mostra que a adição de reagentes apolares leva a um aumento na tensão de superfície. Esse aumento não é sempre o mesmo, e depende de ambos os reagentes (apolar e espumante) usados.

Como no caso da estabilidade das espumas, para todo reagente espumante, tem-se os mais efetivos reagentes apolares, os quais provocam o menor aumento na tensão de superfície. O uso dessas adições efetivas pode, algumas vezes, levar a não alterar a tensão de superfície, ou mesmo, diminuí-la, e pode desta forma melhorar a espumação.

Tabela IV.24 ⁽²⁾ - A influência dos óleos apolares na tensão de superfície da interface gás-líquido, e na estabilidade da espuma produzida por diferentes reagentes espumantes.

Reagente espumante	Óleo diesel			Óleo de transformador			Óleo IS-45			Óleo MS-20		
	Espessura da camada de espuma	Tempo de vida da espuma bifásica	Tensão de superfície	Espessura da camada de espuma	Tempo de vida da espuma bifásica	Tensão de superfície	Espessura da camada de espuma	Tempo de vida da espuma bifásica	Tensão de superfície	Espessura da camada de espuma	Tempo de vida da espuma bifásica	Tensão de superfície
Piridina pesada	93,2	120,0	100,0	93,2	80,0	103,0	80,0	80,0	101,5	86,5	100,0	100,5
Piridina pura	100,0	69,2	103,8	87,5	46,2	102,1	100,0	61,6	97,5	100,0	61,6	101,1
Óleo de pinho	77,4	80,0	104,2	87,0	100,0	100,0	74,0	80,0	105,0	83,6	80,0	102,1
"Penoreagent"	100,0	125,0	103,0	100,0	137,5	101,0	100,0	125,0	103,5	92,7	87,5	113,5
OPSB	78,5	65,4	92,5	67,8	53,9	87,4	71,5	69,2	83,8	60,6	46,1	90,9
Terpineol	77,0	66,6	105,1	71,8	91,0	100,5	82,0	105,5	99,5	76,3	73,9	102,2
Isoácido	92,5	77,0	100,0	75,0	73,0	103,5	77,5	53,8	101,5	65,0	38,5	104,5
Ácido oléico	100,0	307,0	89,2	100,0	413,0	90,5	100,0	368,0	96,1	100,0	347,0	94,7
DS	100,0	80,0	98,9	100,0	90,0	90,5	100,0	100,0	98,9	100,0	60,0	98,9
Alquilsulfonato	93,0	115,0	98,8	93,0	50,0	96,2	90,5	50,0	98,8	93,0	60,0	95,7

A adição de reagentes apolares na piridina pesada, óleo de pinho, terpineol e isoácido aumenta a tensão interfacial ar-água de 0,5 a 5,5%, e diminui o tempo de vida e a espessura da camada de espuma. A adição de óleo diesel na piridina pesada e isoácido, do óleo de transformador no óleo de pinho e do óleo IS-45 no terpineol, não muda a tensão de superfície e produz espumas mais estáveis.

Se óleos apolares são adicionados a DS, alquilssulfonato ou OPSB, nenhuma relação pode ser observada entre a diminuição na tensão de superfície e a deterioração da espumação.

Se “penoreagent” é usado, um aumento na tensão de superfície não melhora a espumação.

Em ambos os casos, uma mais baixa tensão de superfície produz melhor espumação.

Assim, a adição de óleos hidrocarbônicos muda a tensão de superfície do reagente espumante. No entanto, nenhuma relação linear completa pode ser observada entre os parâmetros de espumação e a tensão de superfície. Os mais efetivos hidrocarbonetos, os quais são usualmente óleos de média ou baixa viscosidade, produzem a mais baixa tensão de superfície.

– Influência dos hidrocarbonetos na dispersão do ar

Tsiperovich e Sorokin ⁽⁵⁹⁾ estudaram a influência dos compostos orgânicos na flotação do carvão e verificaram que hidrocarbonetos têm influência na espumação devido à sua habilidade de dispersar o ar na polpa e também que sua força de coleta tem uma importância secundária. Experimentalmente determinaram que a eficiência da flotação é uma função linear da habilidade do reagente em dispersar o ar e que, com o aumento na dispersão, a recuperação dos concentrados aumenta.

Os autores determinaram experimentalmente a influência de vários reagentes apolares na dispersão do ar, para vários reagentes espumantes.

Como reagentes espumantes foram usados: piridina, 100 g/t; “azolyat a”, 100 g/t; OPSB, 80 g/t; “penoreagent”, 200 g/t; DS, 400 g/t; fenol, 200 g/t e alquilsulfonato, 200 g/t.

O critério para escolha dos óleos apolares foi sua viscosidade. Foram estudados os seguintes óleos apolares: óleo lubrificante de eixo (“axle oil”), óleo EKS, óleo IS-20 e querosene, os quais têm as seguintes viscosidades: 289,5, 110,98, 86,45 e 1,3 centistokes, respectivamente. O consumo foi de 50 g/t.

Óleos e reagentes espumantes, que são insolúveis em água, foram emulsificados antes de serem adicionados na máquina de flotação.

A influência dos hidrocarbonetos na dispersão do ar é mostrada na tabela IV.25. Pode ser visto que espumas produzidas pela adição de óleo lubrificante de eixo à piridina, alquilsulfonato e “azolyat A” causam uma pequena deflexão no ponteiro do milivoltímetro, o que significa que o óleo aumenta a dispersividade do ar. Em espumas produzidas por fenol ou OPSB, o óleo lubrificante de eixo não muda a

Tabela IV.25⁽²⁾ - A influência dos reagentes apolares na densidade ótica (em mV) das misturas aerada de água e reagentes espumantes.

Reagente espumante	Sem adição	Óleo lubrificante de eixo	EKS	IS-20	Querosene
Piridina	15	12	15	20	30
"Penoreagent"	15	24	18	36	24
Fenol	15	15	21	18	21
OPSB	15	15	12	15	15
DS	15	21	9	18	18
Alquilsulfonato	15	9	12	12	18
Azolyat A	15	12	15	15	19

dispersão, mas em espumas produzidas por “penoreagent” e DS, o óleo diminui a dispersão.

Embora a densidade ótica dependa, não somente da dispersividade do ar, mas também de um número de outros fenômenos que acontecem nas misturas aeradas dos reagentes, como oxidação, turbidez da solução desses reagentes, e suas interações, os resultados são de grande interesse, uma vez que eles reconfirmam que a espumação e dispersão de ar são influenciadas pela adição de hidrocarbonetos.

Em alguns casos (se a solução não for turva), quando a adição de hidrocarbonetos é mais efetiva, a densidade ótica diminui e a dispersividade aumenta.

4.4.5. A toxicidade dos reagentes apolares

Conforme já mencionado, diversos minerais, naturalmente hidrofóbicos, podem ser concentrados utilizando-se óleos apolares como reagentes na flotação. Como exemplo podemos citar a concentração de molibdenita nos USA ⁽⁶⁾, onde são empregadas de 200 a 250 g de óleo por tonelada de minério alimentado. No Brasil, podemos citar a concentração da grafita, a qual usa como reagentes na flotação o óleo de pinho e o querosene. Na flotação de minério calamínico pode-se empregar o óleo diesel como extensor de cadeia da amina ⁽⁶⁷⁾. E, mesmo na flotação de minérios itabiríticos, já se fala em combinação de eterdiaminas com querosene ⁽⁶⁸⁾.

Outro exemplo importante é a utilização de óleos combustíveis na concentração dos minerais fosfáticos da Flórida ⁽⁷⁾, USA. A indústria de fosfato da Flórida gasta cerca de US\$ 50,000,000.00 por ano comprando uma gama de reagentes de flotação, como: ácidos graxos, óleos combustíveis e aminas, para recuperar os fosfatos finos, usando aproximadamente 120.000.000 de libras (1 000 libras = 0,45359t) de ácidos graxos e o dobro desta quantidade de óleos combustíveis por ano no processo de flotação. Os óleos combustíveis utilizados podem variar do tipo 2 (“fuel oil nº 2”) ao tipo 6 (“fuel oil nº 6”), cujas características são apresentados na tabela IV.26. Para produzir uma tonelada de concentrado fosfático a indústria americana usa cerca de 4,7 libras de ácido graxo, 12 libras de óleo combustível e 1,8 libras de amina. Veja na figura 4.30 o fluxograma mostrando os pontos de adição dos reagentes.

Estudos de biodegradabilidade foram feitos e mostraram que todos esses reagentes empregados na flotação sofrem degradação a níveis variados (veja figura 4.31). Os ácidos graxos e as aminas são mais prontamente biodegradáveis que o óleo combustível.

Tabela IV.26 ^(B) - Especificações dos óleos combustíveis

Propriedades	Testes ASTM	Nº 1	Nº 2	Nº 4 (leve)	Nº 4	Nº 5 (leve)	Nº 5 (pesado)	Nº 6
Ponto de fulgor, ° C (° F), min.	D 93	38 (100)	38 (100)	38 (100)	55 (130)	55 (130)	55 (130)	60 (140)
Água e sedimentos, % vol. max.	D 1976	0,05	0,05	(0,50)	(0,50)	(1,00)	(1,00)	(2,00)
Temperatura de destilação, ° C (° F)	D 86							
10% vol. recuperado max.		215 (419)	-	-	-	-	-	-
90% vol. recuperado min.		-	282 (540)	-	-	-	-	-
Max.		288 (550)	338 (640)	-	-	-	-	-
Viscosidade cinemática, mm ² /s*	D 445							
a 40° C (104° F)								
Min.		1,3	1,9	1,9	> 5,5	-	-	-
Max.		2,1	3,4	5,5	24,0	-	-	-
a 100° C (212° F)								
Min.		-	-	-	-	5,0	9,0	15,0
Max.		-	-	-	-	8,9	14,9	50,0
Cinzas, % massa max.	D 482	-	-	0,05	0,10	0,15	0,15	-
Enxofre, % massa max.	D 129	0,50	0,50	-	-	-	-	-
Densidade, Kg/m ³ a 15° C	D 1298							
Min. (° API max.)		-	-	> 876 (30)	-	-	-	-
Max. (° API min.)		850(35)	876 (30)	-	-	-	-	-
Ponto de Fluidez, ° C (° F) max.	D 97	- 18 (9)	- 6(28)	- 6(28)	- 6(28)	-	-	-

* 1 mm²/s = 1 cSt (centistoke)

OBS: Valores entre parentesis são para informações somente.

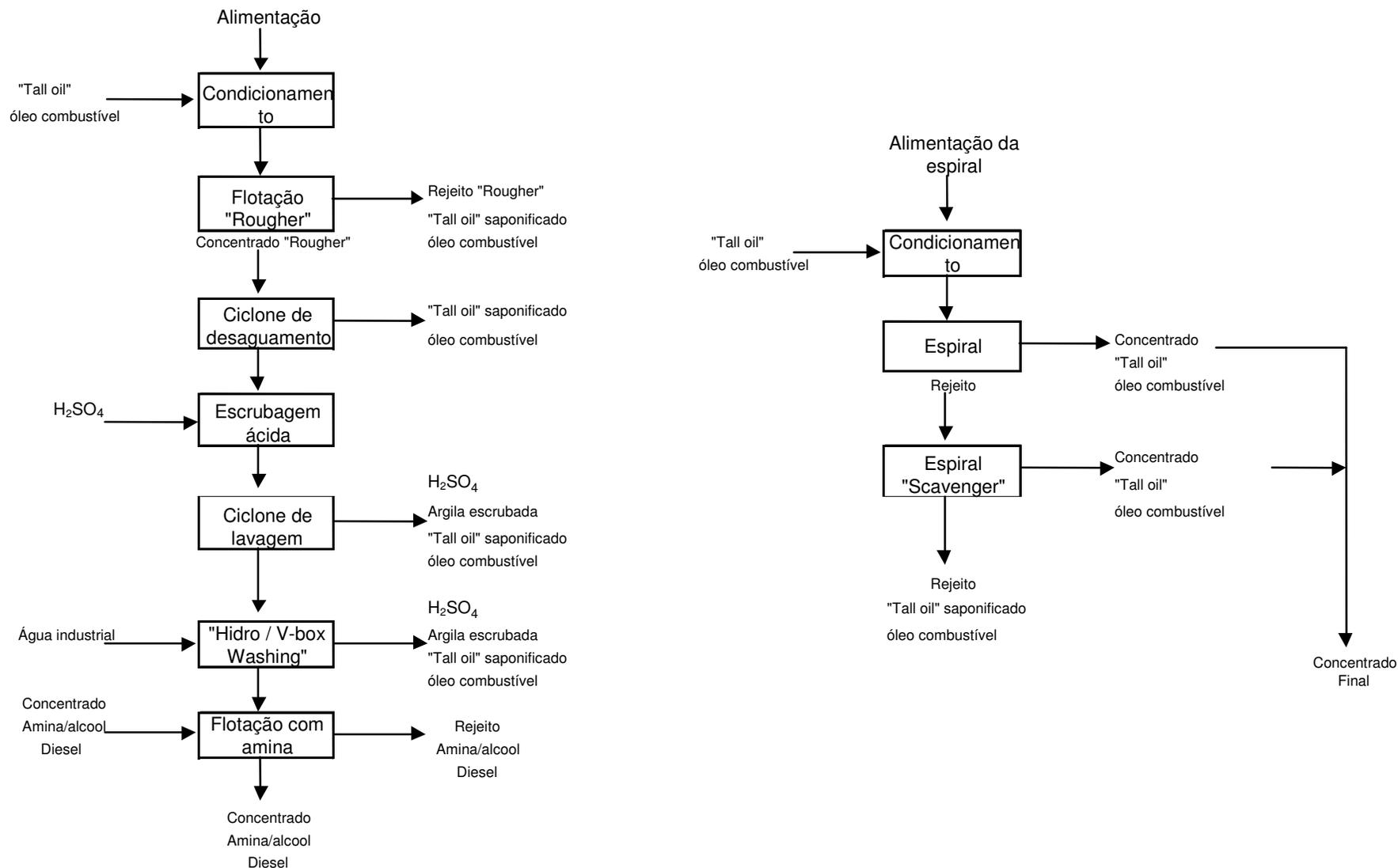


Figura 4.30⁽⁷⁾ - Fluxograma do beneficiamento da mina de "Four Corners" na Flórida, USA, mostrando os pontos de adição de óleos.

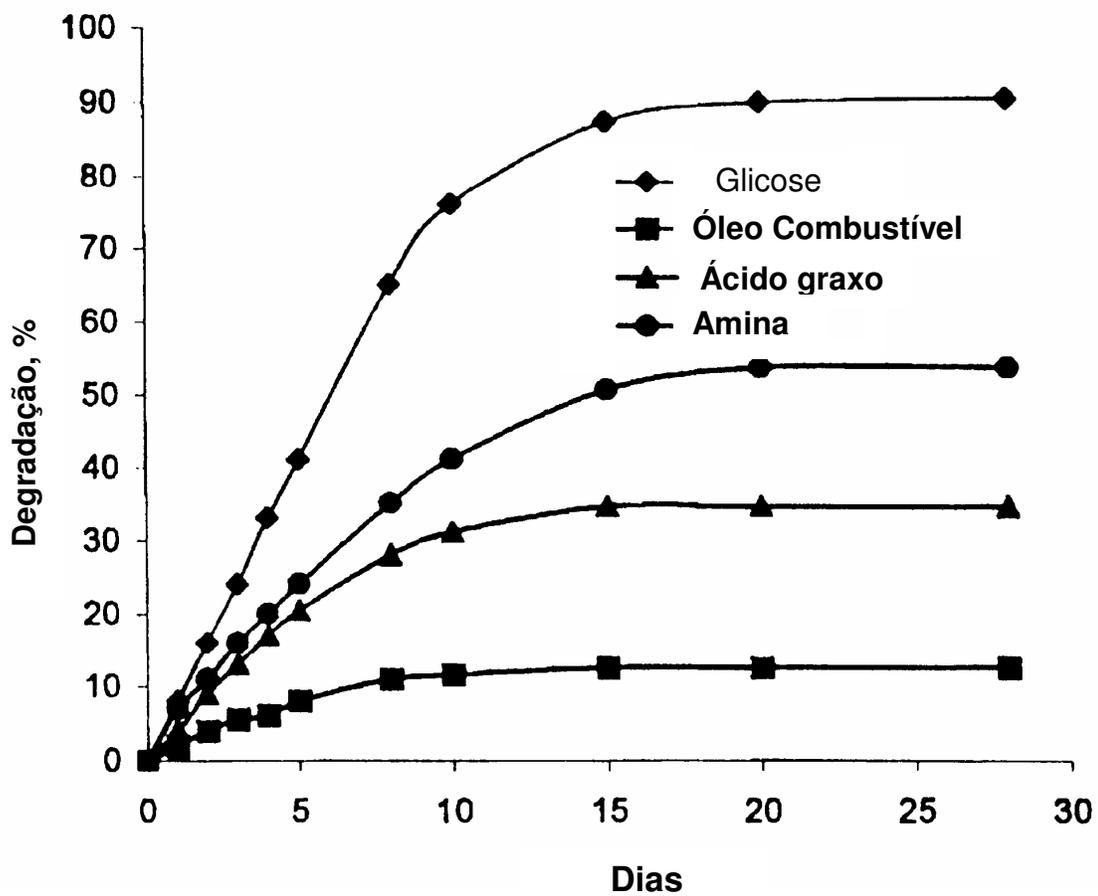


Figura 4.31 ⁽⁷⁾ – Taxas de biodegradabilidade de vários reagentes

Abordando agora a toxicidade dos compostos orgânicos, testes feitos com animais ⁽⁶²⁾ mostraram que 50% da mortalidade é causada por um prolongado contato desses compostos com alimento, na concentração de: compostos não-ionogênicos, 5 a 50 g/kg; substâncias ativas aniônicas, 2 a 8 g/kg; substâncias ativas catiônicas, 0,05 a 0,5 g/kg do peso do animal. Porém, substâncias orgânicas influenciam grandemente o balanço de oxigênio dos reservatórios de água. Assim, de acordo com Vodgeo, a demanda biológica de oxigênio da água deve ser de 2 a 4 mg/l no curso de 5 dias.

Portanto, embora substâncias ativas aniônicas e hidrocarbonetos não sejam tóxicos, sua presença nos reservatórios de água retarda o processo de autopurificação, prejudica as propriedades organolépticas da água e influencia negativamente o desenvolvimento de organismos vivos e plantas.

Águas contaminadas por produtos de petróleo adquirem um odor e sabor desagradáveis. Pesquisadores russos, do instituto médico I.M. Sechenov, estudaram a toxicidade do óleo IS-45 e verificaram que o parâmetro limite de toxicidade é a sua influência nas propriedades organolépticas da água. De acordo com esse critério, a máxima concentração permitida do óleo IS-45 é menor que 0,5% da dose toxicológica, e 40% da dose geral limite do reservatório de água. A concentração máxima permissível do óleo IS-45, com referência às propriedades organolépticas da água, é de 0,4 mg/l.

O óleo IS-45 se oxida bioquimicamente, e a certa concentração (acima de 1,0 mg/l), aumenta o nível da demanda biológica de oxigênio.

A concentração máxima permitida de produtos de petróleo é determinada pela composição química e pelo ponto de ebulição dos mesmos. Usualmente, produtos de baixo ponto de ebulição têm uma mais baixa concentração máxima permitida (em mg/l), no que se refere ao fator organoléptico:

Querosene (viscosidade a 20°C – 2,5 cSt)	0,01
Óleo diesel L (3,0 – 6,0)	0,02
IS-20 (8,0-9,0)	0,07
Óleo de máquina SV (200-300).....	0,20
IS-45 (200-300)	0,40

De acordo com estudos toxicológicos ⁽⁶⁰⁾ feitos com cobaias, às quais foram ministradas doses diárias de produtos de petróleo na quantidade de 25 g/kg, a seguinte toxicidade foi observada (a toxicidade do óleo IS-45 foi tomada como unitária):

IS-45	1,0	Óleo diesel	8,0
IS-20	0,8	Óleo de cilindro	8,7
Óleo de máquina SV	3,5	Querosene	25,0

De acordo com sua toxicidade, óleos com uma viscosidade acima de 100 cSt podem ser usados na flotação.

Para se reduzir a contaminação dos reservatórios de água, o método mais simples é a reutilização da água industrial. Acima de 50 a 90% de água reutilizada pode ser empregada nos processos de tratamento de minérios, dependendo dos tipos de minérios que são processados. Com essa reutilização, o consumo dos principais reagentes pode ser reduzido de 30 a 50%.

Embora a reutilização da água seja um método efetivo para reduzir contaminação, a concentração de reagentes nos efluentes aquosos ainda permanece alta. Portanto, efluentes das plantas de concentração por flotação, os quais contêm grande quantidade de reagentes, não devem ser misturados com as águas de rejeito, mas sim, reutilizadas.

Descontaminação de efluentes aquosos de várias substâncias ativas na superfície e de hidrocarbonetos é mesmo muito difícil. Alguns autores têm sugerido que a concentração de ácidos carboxílicos e hidrocarbonetos seja reduzida pela adição de misturas de sulfato férrico e cal na água. Os volumosos precipitados de hidróxido férrico formados por essa reação têm uma alta capacidade de absorção. Assim, por esse método, Taranova ⁽⁶¹⁾, citado por Glembotskii ⁽²⁾, teve sucesso na redução do conteúdo de querosene de 100 para 3,4 mg/l. Esse método de descontaminação dos efluentes aquosos requer grandes quantidades de reagentes, os quais nem sempre são muito baratos, particularmente para grandes plantas, as quais processam minérios pouco valiosos.

Purificação adicional de efluentes aquosos é possível pelo método de purificação bioquímica somente em recipientes de aeração ou filtros aerados. A duração da aeração da água durante a purificação bioquímica depende do nível inicial da demanda biológica de oxigênio. A capacidade de oxidação dos filtros aerados é de 250 a 300 g/m³. O consumo de ar para todos os tipos de processo de oxidação biológica é mais ou menos constante (25 a 30 m³/m³ de efluente aquoso). O conteúdo de substâncias orgânicas dissolvidas em águas de efluente purificadas depois da descontaminação biológica varia de traços a 10 mg/l (essa última concentração é obtida se o processo for descontrolado pela descarga súbita de efluentes aquosos) e a demanda biológica de oxigênio varia de 10 a 15 mg/l. Efluentes aquosos tratados pelo método de purificação biológica não têm traços de odor de petróleo.

Portanto, a descontaminação dos efluentes aquosos das plantas de tratamento de minério (particularmente das plantas com uma alta produção) deve incluir os seguintes estágios: reutilização da água, purificação da parte remanescente da água da flotação, seguida pela descontaminação biológica.

5. METODOLOGIA

Serão descritas neste capítulo as etapas realizadas no estudo, bem como os materiais e equipamentos utilizados e os procedimentos empregados em cada fase.

5.1. A coleta e preparação das amostras

O material objeto deste estudo foi coletado na usina de concentração da Mineração Casa de Pedra, cujo fluxograma já foi apresentado na figura 3.3, sendo composto da alimentação da flotação já deslamada, coletada antes da adição dos reagentes, na entrada da planta de flotação, antes do condicionamento.

Foi coletada uma quantidade significativa em recipiente apropriado e, com o objetivo de preservar ao máximo as características granulométricas da amostra, o processo de secagem da mesma foi efetivado da seguinte forma: o material foi deixado em repouso para acontecer sedimentação natural e o excesso de água foi sifonado. Essa operação foi repetida até reduzir o material a uma polpa bem concentrada. Em seguida essa polpa foi deixada em repouso ao sol, para reduzir mais a umidade por evaporação. O material, já com 15-20% de umidade, foi levado para a estufa para secagem final.

A amostra foi coletada durante todo um dia, sendo constituída por vários incrementos.

A amostra coletada anteriormente, após secagem, foi homogeneizada em pilha longitudinal e quarteada em lotes de 60 kg. Cada lote de 60 kg foi sub-dividido em sub-lotes de 1,5 kg. Dois lotes aleatórios de 1,5 kg, de cada lote de 60 kg, foram reagrupados para permitir a geração de uma amostra parcial, que foi usada para se fazer a caracterização química e mineralógica. O restante desta amostra parcial foi guardado como reserva.

As demais amostras de 1,5 kg foram utilizadas para os testes de flotação em bancada.

A figura 5.1 apresenta o fluxograma dos procedimentos adotados para a caracterização química e mineralógica. A caracterização mineralógica será descrita detalhadamente em um capítulo próprio.

5.2. Caracterização química

Tanto a amostra de cabeça quanto as frações resultantes da análise granulométrica foram submetidas a análises químicas quantitativas. Estas análises foram feitas utilizando-se o espectrômetro de raios-X, modelo 3550, da marca Rigaku.

5.3. A seleção dos óleos apolares

Conforme já abordado anteriormente, a indústria de fosfato americana utiliza na flotação os óleos combustíveis (“fuel oils”), variando do tipo nº 02 ao tipo nº 06, e também óleo diesel.

Já na flotação da molibdenita são utilizados os óleos Texaco 1527 e Amoco 11P (veja tabela IV.3).

Portanto, partindo-se dessas indicações e, levando-se em conta o levantamento bibliográfico realizado, fez-se uma seleção dos óleos apolares para os testes, juntamente com o pessoal técnico da Petrobrás, buscando incluir os óleos combustíveis, cujo esquema de produção e características típicas estão apresentadas no anexo I, o óleo diesel, o querosene e alguns óleos de corte.

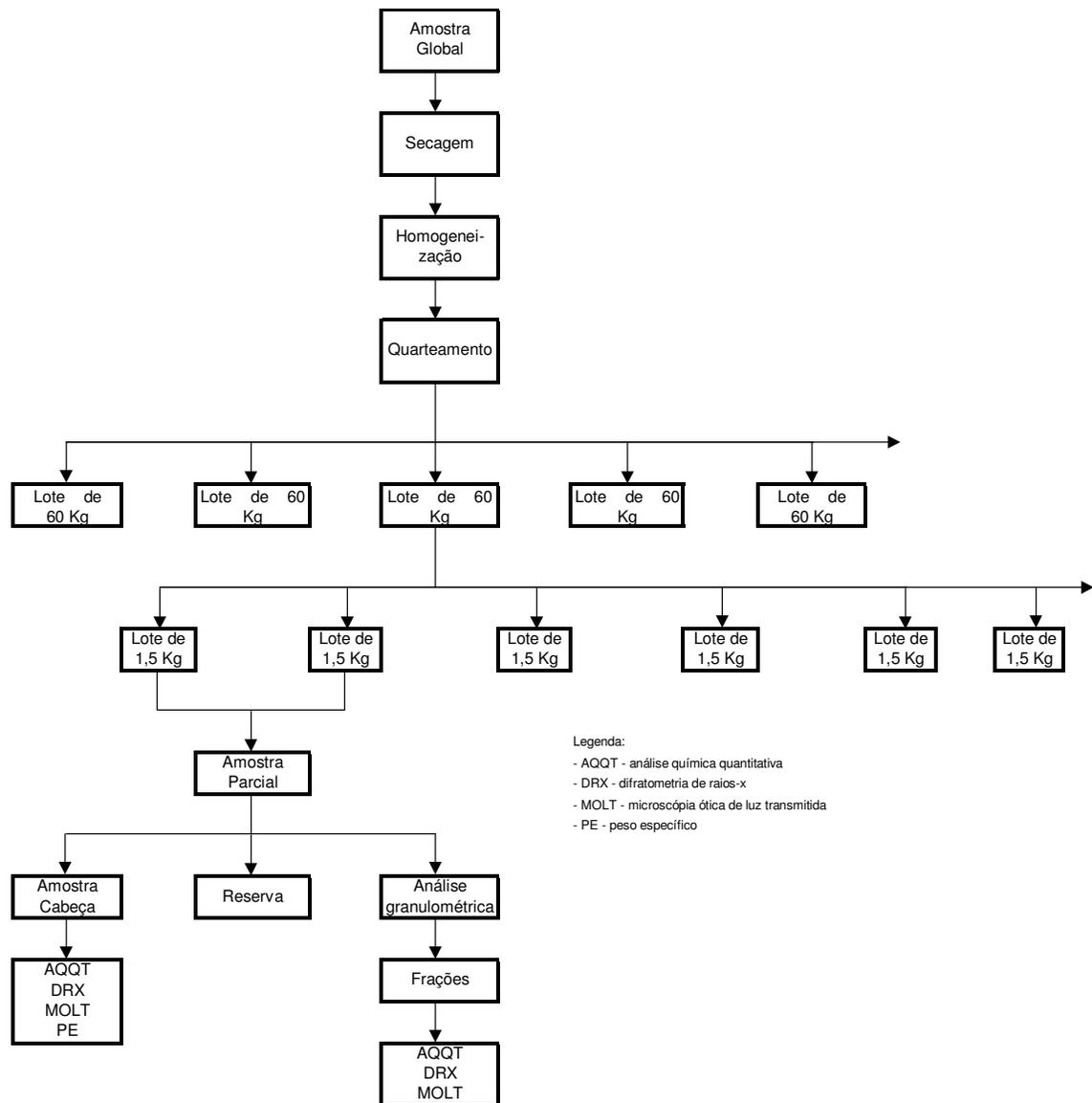


Figura 5.1 – Fluxograma dos procedimentos adotados para a caracterização mineral.

Inicialmente pretendia-se escolher óleos que estivessem incluídos dentro das principais classes da destilação do petróleo, ou seja, parafínicos, aromáticos e naftênicos, e com diferentes níveis de viscosidade, dentro da mesma classe. No entanto, em consenso com a equipe da Petrobrás, optou-se por escolher óleos apolares, com faixas de viscosidade estreitas, que, no entanto, estivessem prontamente disponíveis no mercado brasileiro.

Decidiu-se, por limitações de tempo, pela não inclusão de produtos de outros fabricantes. No entanto, será indicada essa linha de pesquisa na sugestão para trabalhos futuros.

Portanto, pelo exposto anteriormente, os óleos apolares selecionados foram os seguintes:

- Querosene
- Óleo diesel B
- Óleo combustível leve LCI-100
- Óleo clarificado
- Solvente olefínico
- Óleo combustível A1

As características típicas de cada um dos óleos apolares selecionados são apresentadas abaixo:

- **Querosene**

O querosene a ser testado é o querosene iluminante, que é um composto formado por uma mistura de hidrocarbonetos parafínicos (20 a 50%), naftênicos (30 a 80%) e aromáticos (10 a 30%), com faixa de destilação compreendida entre 150°C e 239°C.

A densidade do querosene varia de 0,76 a 0,86 g/cm³. O conteúdo de cinzas e de enxofre é de no máximo 0,005% e 0,1%, respectivamente.

O produto possui diversas características específicas como uma ampla curva de destilação, conferindo a este um excelente poder de solvência e uma taxa de evaporação lenta, além de um ponto de fulgor que oferece relativa segurança no manuseio.

- **Óleo diesel B**

O óleo diesel é um composto formado por hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos, com uma faixa de destilação compreendida entre 100°C e 400°C.

A especificação do óleo diesel B é a seguinte:

Características	unid.	Limites
Cor ASTM, máximo	-	3
Enxofre, máximo	%	0,5
Densidade 20/4°C	-	0,82 a 0,88
Viscosidade a 40°C, máximo	cSt	1,6 a 6,0
Ponto de Fulgor	°C	30 a 70
Cinzas, máximo	% massa	0,02
Água e sedimentos, máximo	% volume	0,05

- **Óleo combustível leve LCI-100**

O óleo combustível leve LCI-100 é, também, constituído de hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos, com uma curva de destilação que compreende a faixa de 170 a 390°C.

As características típicas do LCI-100 são apresentadas abaixo:

Características	unid.	Limites
Cor ASTM, máximo	-	8
Enxofre, máximo	%	1
Densidade 20/4°C	-	0,96
Viscosidade a 40°C, máximo	cSt	7
Ponto de Fulgor; mínimo	°C	66
Água e sedimentos, máximo	% volume	0,10
Vanádio, máximo	mg/Kg	200
Aromáticos	% volume	84,2
Olefínicos	% volume	7,4
Saturados	% volume	8,4

- **Óleo Clarificado**

O óleo clarificado é um óleo de corte (veja definição no anexo I), sendo óleos destinados a enquadrar a viscosidade dos óleos combustíveis.

As características típicas do óleo clarificado são apresentadas abaixo:

Características	unid.	Limites
Cor	-	escuro
Densidade 20/4°C	-	1,03
Viscosidade a 60°C	cSt	960
Ponto de Fulgor; mínimo	°C	66

- **Solvente olefínico**

Conforme o nome já diz, o solvente olefínico é um solvente, sendo o mesmo composto basicamente de hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos.

O mesmo possui uma densidade relativa a 20/4°C de 0,7486, ponto final de ebulição de 217,6°C e enxofre total de 0,1163%.

- Óleo combustível A1

Óleos combustíveis são óleos mais viscosos para uso industrial (combustível para fornos, caldeiras, aquecedores etc.). Apresentam em sua composição hidrocarbonetos parafínicos pesados, naftênicos, olefínicos, aromáticos e asfaltênicos, em concentrações que dependem do tipo, origem e características do petróleo bruto processado.

Os valores médios de produção (Petrobrás) do óleo combustível A1 são apresentados abaixo:

Características	unid.	Limites
Enxofre, máximo	% massa	0,8
Densidade 20/4°C	-	1,0164
Viscosidade a 60°C, máximo	cSt	396
Ponto de Fulgor; mínimo	°C	105
Água e sedimentos, máximo	% volume	0,09
Ponto de Fluidez superior	°C	5

Não foram incluídos nesta seleção, os óleos combustíveis ultraviscosos mais pesados (2 ao 6), devido a limitações de manuseio (viscosidade e ponto de fluidez muito altos).

Os testes foram executados utilizando-se os óleos individuais, buscando variar as faixas de viscosidade, bem como a composição, dos óleos testados.

5.4. A preparação das emulsões

Conforme já mencionado na revisão bibliográfica, a eficácia dos reagentes espumantes e dos reagentes apolares durante a flotação é muito dependente da preparação (emulsificação) dos mesmos antes da utilização. A adição direta de

reagentes oleosos na polpa, sem emulsificação, não é efetiva, mesmo se produtos de baixa viscosidade (querosene) são utilizados.

Portanto, óleos com diferentes propriedades físico-químicas podem ser usados: desde óleos de baixa viscosidade, até bem mais viscosos. Naturalmente, as condições de emulsificação podem também ser diferentes, e devem ser escolhidas como resultado de vasta pesquisa das propriedades das emulsões e métodos para sua preparação.

Emulsões são sistemas dispersos, termodinamicamente instáveis, de dois líquidos imiscíveis: um meio de dispersão e a fase dispersa. Têm-se dois tipos de emulsões: óleo em água (O/W), que é o objeto deste estudo, e água em óleo (W/O).

Para aumentar a estabilidade das emulsões, reagentes emulsificantes (estabilizantes) ativos na superfície (ionogênicos e não ionogênicos) são adicionados.

Os emulsificantes estudados foram os seguintes: Emulsogem PSP 123, genapol O 050 e LZ-98 da Clariant; D2, W1, E8 e E9 da Akzo Nobel e tergitol TMN-3, tergitol TMN-10, tergitol NP-10, tergitol NP-40 (70%), tergitol 15-S-5 e triton X305 (70%) da Dow Química.

As emulsões foram preparadas da seguinte forma:

- Amina contendo 20 % de óleo

- .. 8g de Amina (Clariant)
- .. 1,9g de óleo
- .. 0,1g de emulsificante
- .. 990 ml de água
- Em um becker de 1000 ml, pesar 0,1g de emulsificante ;
- Adicionar 50 ml de água e agitar por 5 minutos em rotação de 2000 rpm

- Adicionar 1,9g de óleo, gotejando e agitar por mais 5 minutos, mesma rotação;
- Acrescentar 8g de Amina (Clariant) ,agitando por mais 5 minutos com mesma rotação.
- Completar o volume do becker e agitar por mais 5 minutos.

- Amina contendo 40 % de óleo

- .. 6g de Amina (Clariant)
- .. 3,8g de óleo
- .. 0,2g de emulsificante
- .. 990 ml de água
- Em um becker de 1000 ml, pesar 0,2g de emulsificante;
- Adicionar 50 ml de água e agitar por 5 minutos em rotação de 2000 rpm;
- Adicionar 3,8g de óleo, gotejando e agitar por mais 5 minutos, mesma rotação;
- Acrescentar 6g de Amina (Clariant) ,agitando por mais 5 minutos com mesma rotação.
- Completar o volume do becker e agitar por mais 5 minutos.

- Amina contendo 20 % de óleo, preparada utilizando ultrassom

- .. 8g de Amina (Clariant)
- .. 1,9g de óleo
- .. 0,1g de emulsificante
- .. 990 ml de água
- Em um becker de 1000 ml, pesar 0,1g de emulsificante;
- Adicionar 50 ml de água e agitar por 2,5 minutos em rotação de 2000 rpm e 20 minutos no ultrassom;
- Adicionar 1,9g de óleo, gotejando, agitar por mais 2,5 minutos em mesma rotação e 20 minutos no ultrassom;
- Acrescentar 8g de Amina (Clariant) ,agitando por mais 2,5 minutos com mesma rotação e 20 minutos no ultrassom.

- Completar o volume do becker e agitar por mais 2,5 minutos em mesma rotação e 20 minutos no ultrassom.

Os equipamentos de preparação da emulsão foram um agitador mecânico de hélice marca Fisatom e um aparelho de ultrassom de marca Unique Ultrasonic Cleaner GA 4000.

Procurou-se evitar o armazenamento por mais de um dia dessas emulsões, a fim de manter as características das mesmas inalteradas.

Assim, pelo exposto anteriormente, foi buscado nesta fase, com o auxílio das equipes técnicas da Clariant, Akzo Nobel e Dow Química, o reagente emulsificante mais adequado a cada tipo de emulsão, bem como o melhor método para preparação das emulsões (mecânico ou ultrassônico).

5.5. Estudos de concentração

Os ensaios de flotação convencional em bancada (flotação catiônica reversa) foram programados com o objetivo de se analisar comparativamente os resultados dos testes, com a utilização dos óleos apolares e sem a utilização dos mesmos.

Os parâmetros analisados durante os testes foram: o teor de sílica no concentrado, as recuperações em massa e metalúrgica, o teor de ferro no rejeito e o índice de seletividade de Gaudin.

Foi adotado neste estudo o procedimento padrão para testes de flotação em bancada utilizado pela Mineração Casa de Pedra, que está apresentado no anexo II.

Os ensaios de flotação em bancada tiveram tempo estabelecido (5 minutos) e foram realizados em célula de flotação Denver, com cuba de 2 ou 3,5 litros, a temperatura ambiente.

Inicialmente foram feitos testes de flotação para seleção do reagente emulsificante mais apropriado. Para isso, foi escolhido o óleo diesel como padrão, mantendo-se uma substituição de 20% da amina, e estipulando uma proporção de 5% de emulsificante em relação à fase dispersa (óleo). As dosagens de amido e coletor, bem como o pH e demais condições do teste foram os estabelecidos no teste padrão de flotação em bancada do anexo II.

Após a seleção do tipo de emulsificante, foi feita uma variação na proporção do mesmo (2,5, 5, 10, 15 e 20%) em relação à fase dispersa (óleo), a fim de se verificar qual a proporção mais adequada de adição deste. As condições de teste foram as mesmas já mencionadas na primeira etapa.

Em seguida à seleção do tipo e da proporção do emulsificante, foi feita a seleção do óleo apolar, bem como a proporção do mesmo em substituição à amina, que melhor resultados apresentou nos testes de flotação em bancada.

Finalizando, foram feitos testes com emulsões preparadas por agitação mecânica e ultrassônica, já com o emulsificante, óleo e proporção dos mesmos selecionados, comparando-se os resultados obtidos.

6. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA

6.1 Introdução

O objetivo do estudo foi a identificação dos minerais presentes, determinação da porcentagem de cada uma das fases e verificar o grau de liberação dos minerais de ferro na amostra.

Foram estudadas 2 secções polidas de material granulado, sendo uma da amostra global e outra composta por quatro frações da mesma amostra: +150 μm , +75 μm , +45 μm e -45 μm .

6.2 Metodologia

A caracterização das amostras foi feita utilizando-se difração e fluorescência de raios-X (DRX e FRX) e microscopia óptica de luz refletida (MOLR) que permitiu a identificação da mineralogia presente nas amostras, a determinação da composição percentual de cada uma das fases e ainda a obtenção de uma estimativa do grau de liberação. Os equipamentos utilizados foram um difratômetro de raios-X da marca Philips, modelo PW3710 com trocador de amostras automático, espectrômetro de fluorescência de raios-X (FRX) da marca Philips, modelo PW2400, e um microscópio óptico da marca Leitz, modelo Orthoplan, com câmara fotográfica acoplada.

O estudo foi realizado utilizando-se secções polidas, através da técnica de embutimento de material granulado em resina com posterior polimento, para observação no MOLR e registrado por fotomicrografias.

A microscopia ótica foi utilizada para identificar o grau de associação remanescente da hematita com a sílica (quartzo), já que o sucesso da utilização

dos óleos apolares na flotação catiônica reversa do minério de ferro dependia da presença de quartzo livre com alto grau de liberação.

O estudo de microscopia ótica foi bastante simplificado em função do estudo ser desenvolvido com um produto intermediário da usina de concentração, onde as interações entre os minerais sejam, por suposição, praticamente inexistentes, e que portanto o grau de liberação já se encontre em nível adequado ao processo de flotação.

6.3 Resultados

A análise por DRX (tabela VI.1) realizada na amostra global mostrou somente as fases majoritárias hematita e quartzo, com a predominância da hematita relativamente ao quartzo, com as duas fases apresentando raias bem definidas. Observaram-se ainda traços de caulinita evidenciada pela ocorrência da raia de intensidade 100 ($d=7,1\text{Å}$).

Tabela VI.1: Resultado da análise por DRX

Amostra	Hematita Fe_2O_3	Caulinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$ 4	Quartz o SiO_2
Amostra global	++++	+	+++

Legenda:

- ++++ : Alta concentração da fase;
- +++ : Média concentração da fase;
- + : Traços da fase;

A análise realizada via FRX apresentou dados concordantes com os obtidos na DRX, com a ocorrência de ferro e oxigênio altos, médio silício e baixo alumínio.

Titânio, níquel, manganês cálcio, enxofre, fósforo e magnésio aparecem como elementos traços.

Foi feita uma descrição dos aspectos mineralógicos e microestruturais dos diversos minerais presentes nas amostras e uma avaliação do grau de liberação dos minerais de ferro. A estimativa da porcentagem dos minerais está mostrada na tabela VI.2.

Tabela VI.2: Porcentagem em peso dos minerais, obtidos na MO

Frações	Minerais (%)							
	HI	Hm	Q	Gb	Gt	Gm	Mg	Outros
+150 µm	10,0	4,0	72,0	5,0	4,0	1,0	2,0	2,0
+75µm	17,0	10,0	65,0	2,5	1,0	1,0	3,0	1,0
+45 µm	32,0	10,0	51,0	3,0	1,0	1,0	1,0	1,0
-45 µm	69,0	7,0	16,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0
global	46,0	11,0	35,0	2,0	1,0	1,0	2,0	2,0

Legenda:

HI – hematita lamelar

Hm – hematita martítica

Q – quartzo

Gb – goethita botrioidal

Gt – goethita terrosa

Gm – goethita microporosa

Mg – magnetita

Outros – caulinita, material terroso

A amostra estudada é composta principalmente por:

- a) hematita: martítica e lamelar (ou especular);
- b) goethita: botrioidal, microporosa e terrosa;
- c) quartzo;
- d) magnetita.

Além destes, minerais terrosos, texturalmente finos, podem ser observados assim como a caulinita, porém só raramente.

A amostra global mostra uma porcentagem maior de hematita (sendo a lamelar predominante sobre a martítica) que de quartzo, que é o segundo mineral mais abundante na amostra, e contém quantidades menores de goethita (botrioidal, terrosa ou microporosa) e de magnetita. Observa-se que há um aumento da quantidade de hematita (lamelar+martítica) em direção às frações mais finas sempre com a predominância da hematita lamelar sobre a hematita martítica, e uma conseqüente diminuição do quartzo nessas frações. Embora todas as frações estudadas apresentem valores de goethita próximos, vale notar o aumento desta fase na fração +150 μ m. A magnetita é uma fase de pequena ocorrência e apresenta distribuição semelhante em todas as frações.

Tanto na amostra global quanto nas frações estudadas observa-se que tanto os minerais de ferro (principalmente a hematita) como os minerais da ganga (quartzo) encontram-se liberados (figura 6.1) em sua maioria (99% de liberação) com presença rara de partículas mistas. As associações mais freqüentes entre os minerais de ferro (que também são raras) são entre: hematita martítica-hematita lamelar, hematita lamelar-hematita martítica-goethita (figura 6.2).

A hematita specular ocorre na forma de lamelas de tamanhos variados, com bordas lisas, como grãos individuais ou formando agregados de grãos (figura 6.3). Podem ser alongadas ou eqüidimensionais (quando as duas dimensões são aproximadamente iguais).

A hematita martítica ocorre mostrando microporosidade e algumas vezes a estrutura em treliça, formada por uma rede de lamelas de hematita entrelaçadas, resultante da oxidação da magnetita (figura 6.4). Pode apresentar bordas corroídas, reentrâncias ou cavidades, ocorrendo como grãos individualizados ou como agregados de grãos. Dependendo do grau de alteração da hematita martítica, ela pode apresentar uma maior ou menor microporosidade. O processo de martitização (formação de hematita martítica) pode ser observado em diferentes intensidades, desde o seu estágio inicial, caracterizado por grãos de

magnetita bem preservados (figura 6.5) com raras lamelas de hematita em início de formação, até os estágios avançados onde este mineral apresenta-se como relictos ou está ausente.

A goethita ocorre na forma botrioidal, microporosa e terrosa (figura 6.6 e 6.7). A goethita botrioidal mostra estrutura fibrorradiada, típica do seu hábito botrioidal, com bordas arredondadas. A goethita microporosa mostra partículas apresentando cavidades e reentrâncias, caracterizando a sua forma irregular. A goethita terrosa ocorre na forma de um material fino associado à hematita e goethita e preenchendo espaços vazios entre seus agregados de grãos, ou pode ocorrer também na forma de partículas individualizadas.

Os grãos de quartzo apresentam formas irregulares com corrosão em suas bordas. São observadas fraturas, dividindo-os em grãos menores, que podem ocorrer também nas bordas dos grãos produzindo reentrâncias. Inclusões de hematita em quartzo são observadas (figura 6.8), embora mais raramente.

6.4 Considerações finais

A amostra estudada é constituída por: hematita (martítica e lamelar), goethita (botrioidal, microporosa e terrosa), magnetita, quartzo, caulinita e minerais terrosos. A hematita predomina na amostra global, devido principalmente à sua abundância na fração mais fina ($-45\mu\text{m}$), enquanto o quartzo predomina nas frações mais grossas. A presença de goethita é mais significativa na fração $+150\mu\text{m}$.

Os minerais de ferro apresentam boa liberação (99% dos minerais ocorrem como partículas livres), já que raramente se observam partículas mistas, seja na amostra global ou nas frações estudadas.

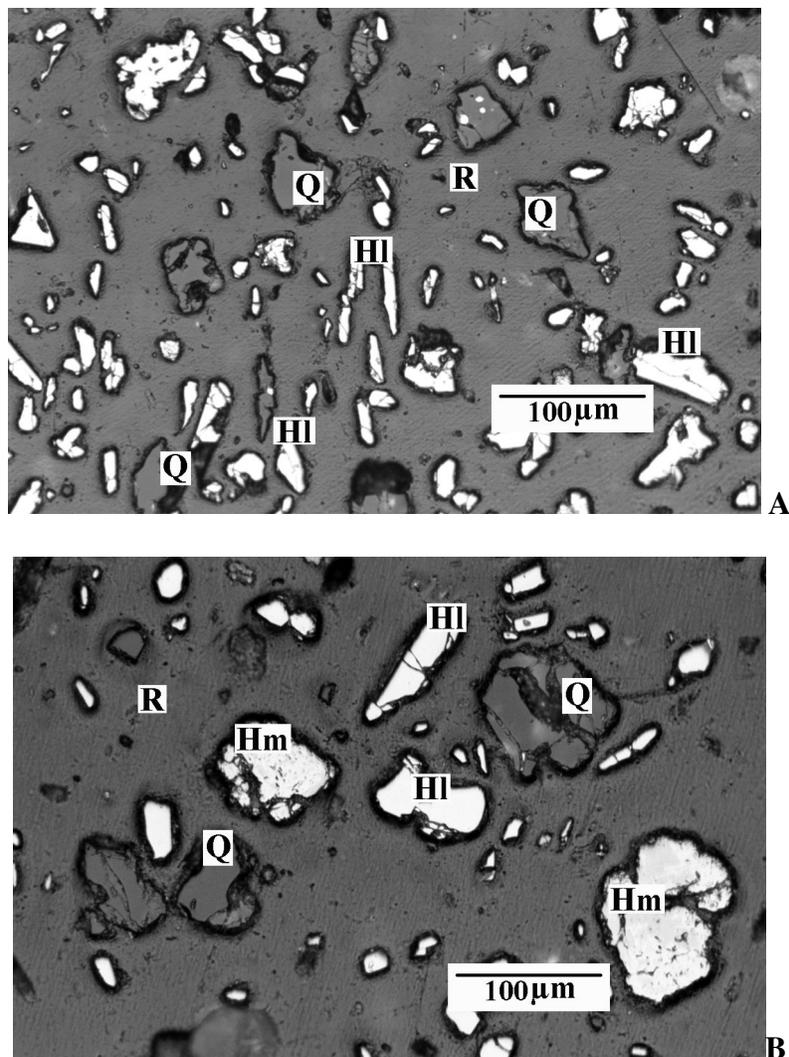


Figura 6.1: A – fração +45µm; observam-se partículas de hematita lamelar(HI) e de quartzo(Q) liberadas; B – amostra global; partículas de hematita tanto lamelar como martítica(Hm) e partículas de quartzo ocorrem como partículas livres. Microscópio óptico, luz refletida (MOLR), apenas polarizador (Ap). R – resina de impregnação.

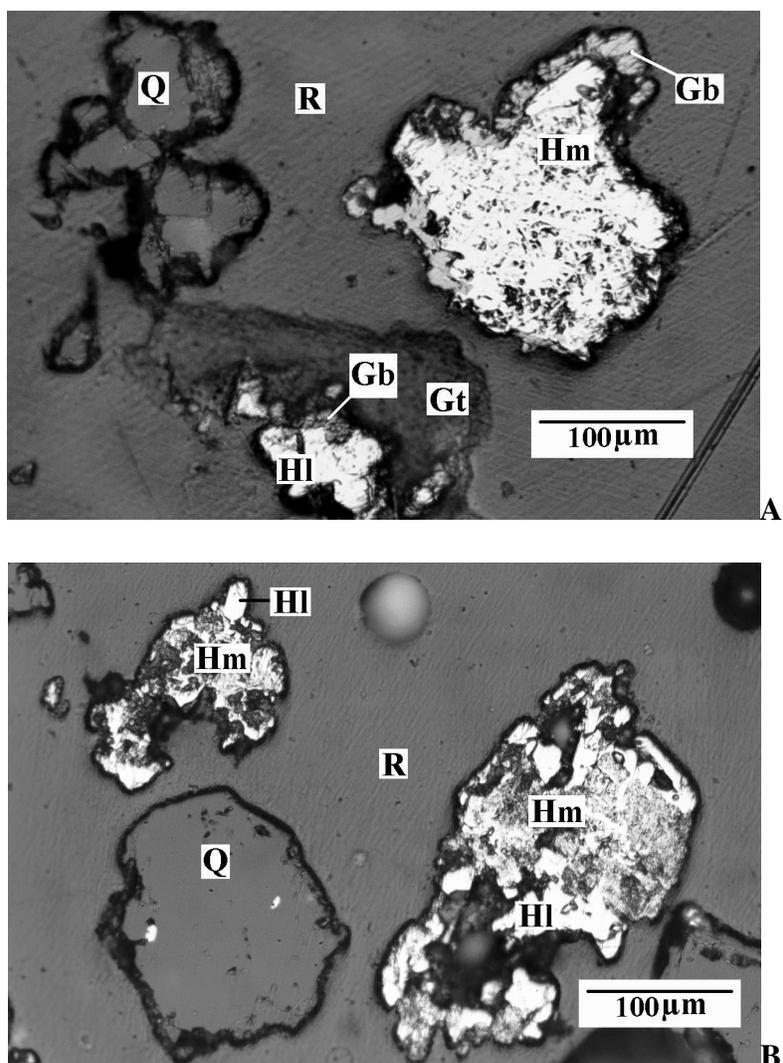


Figura 6.2: Fotomicrografias obtidas da fração +150µm. **A** – observa-se a associação entre a hematita martítica(Hm) microporosa e a goethita botrioidal(Gb) que envolve parcialmente a hematita; uma partícula de hematita lamelar(Hl) com crosta de goethita botrioidal e ainda associada com a goethita terrosa(Gt), texturalmente muito fina, pode ser observada. **B** – partículas mostrando hematita lamelar e hematita martítica associadas, e quartzo(Q) liberado. MOLR-Ap.

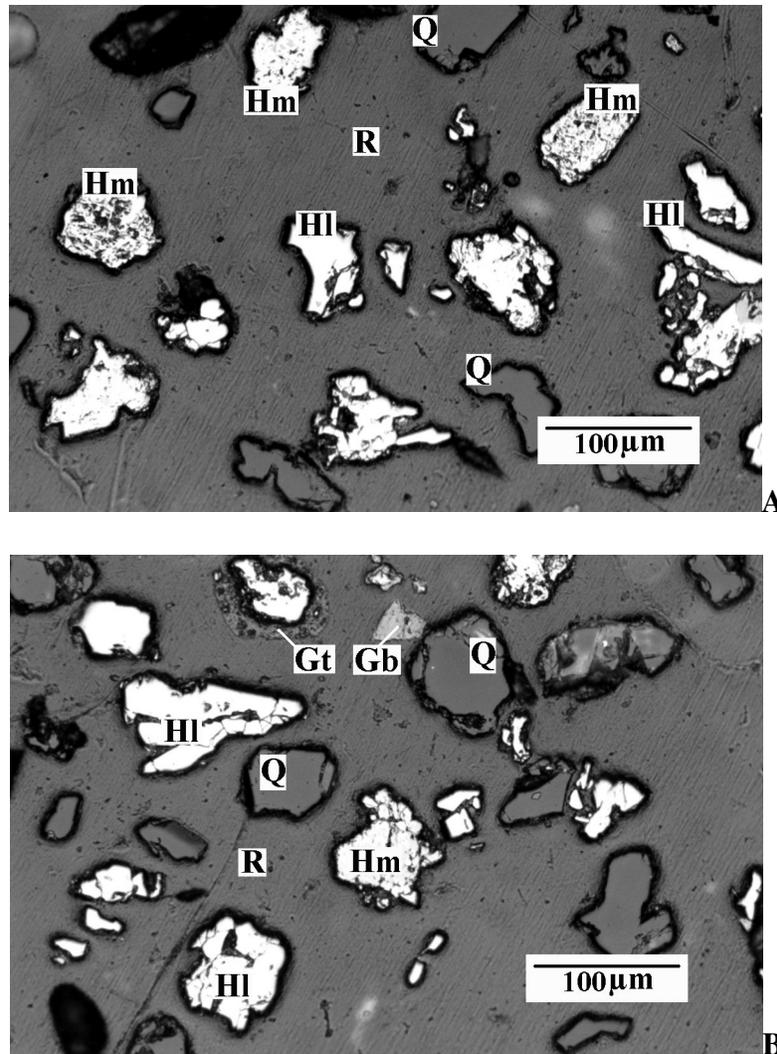


Figura 6.3: Fração +45µm. **A** – observam-se partículas de hematita lamelar(Hl) ocorrendo na forma de agregados e de partículas livres, alongadas ou equidimensionais, hematita martítica(Hm) com porosidade variada e ainda partículas de quartzo(Q), todas liberadas. **B** –quartzo, hematita lamelar e martítica ocorrem como partículas livres; goethita botrioidal(Gb) e terrosa(Gt) envolvendo a hematita são também observadas. MOLR-Ap.

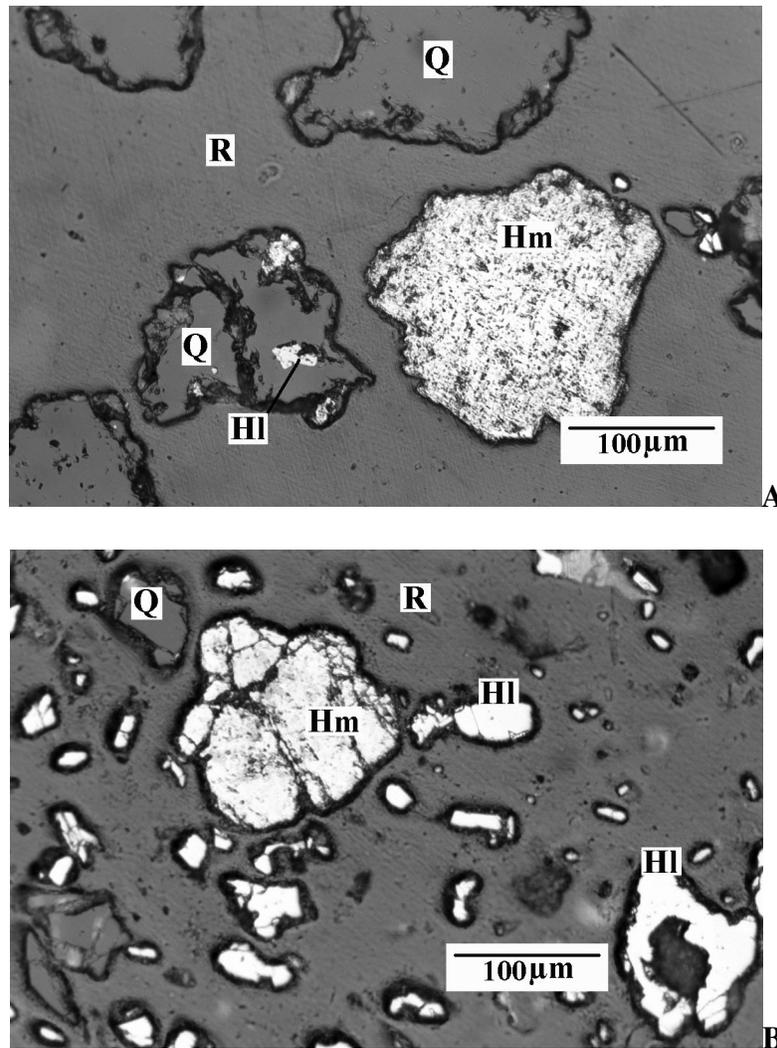


Figura 6.4: A – Hematita martítica(Hm) microporosa resultante do processo de martitização e quartzo(Q), livre e mostrando inclusões de hematita lamelar(Hl); fração +150µm. B – observam-se partículas individualizadas de hematita martítica fraturada, hematita lamelar e quartzo; amostra global. MOLR-Ap.

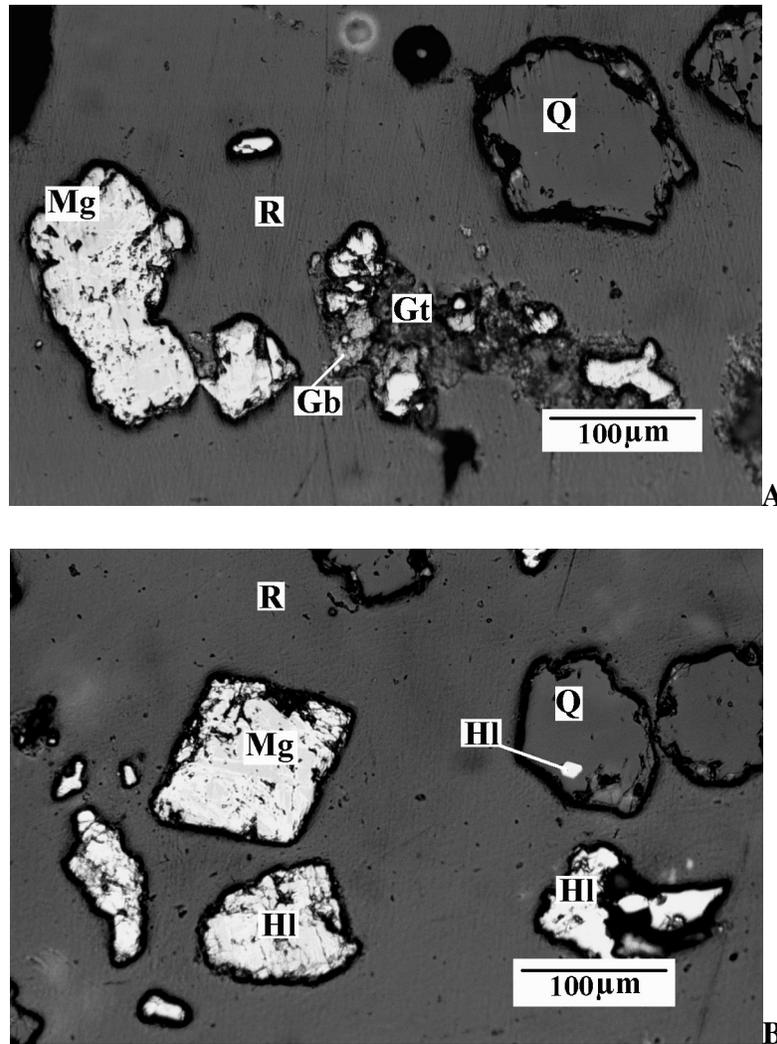


Figura 6.5: Em **A** observa-se magnetita(Mg) bem preservada (no início da oxidação) com raras lamelas de hematita em início de formação, quartzo(Q) ocorrendo como partícula livre, e ainda goethita botrioidal(Gb) e terrosa(Gt) associadas com hematita; fração +150µm; Em **B**, além da magnetita bem preservada observa-se hematita lamelar(HI) ocorrendo como partícula livre e como inclusão no quartzo; fração + 75µm. MOLR, Ap.

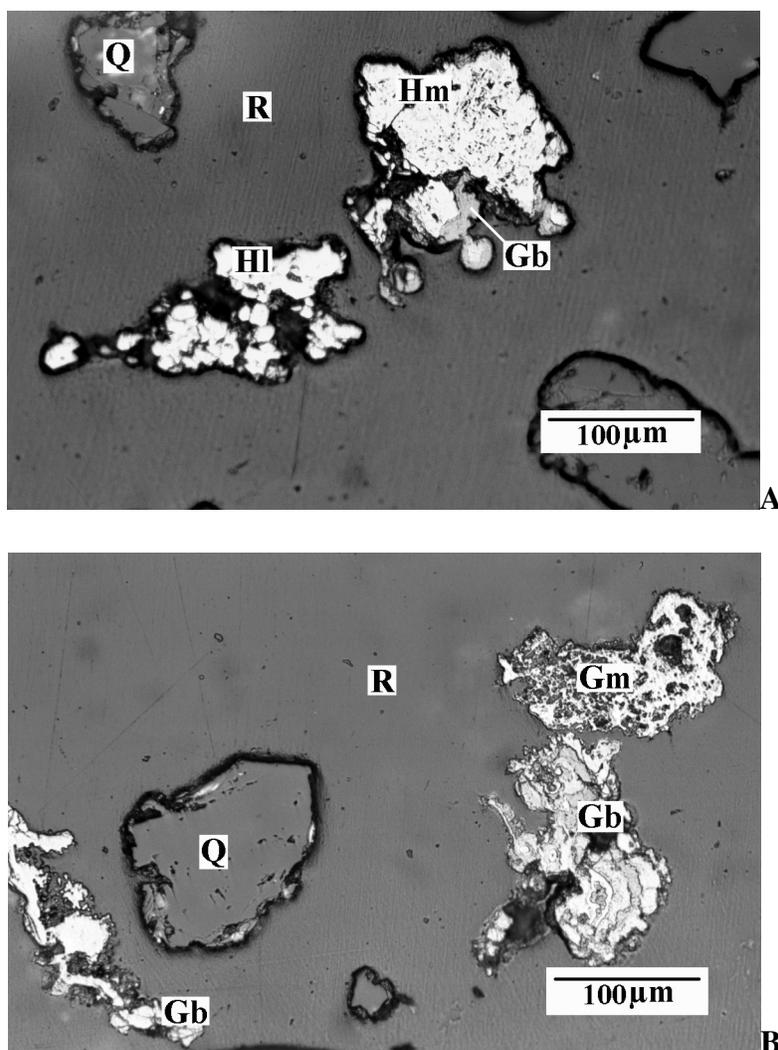


Figura 6.6: Em A, goethita botrioidal(Gb) ocorre envolvendo parcialmente uma partícula de hematita martítica(Hm); partículas livres de quartzo(Q) e hematita lamelar(Hl) também são observadas. A fotomicrografia B mostra partículas individualizadas de goethita botrioidal e microporosa(Gm), porém quartzo e hematita lamelar também ocorrem como partículas livres. A e B – fração +150µm; MOLR, Ap.

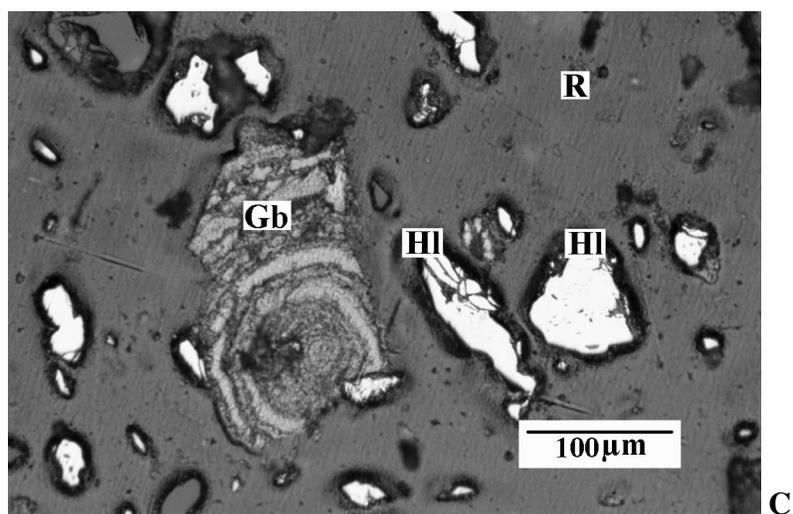


Figura 6.7: A fotomicrografia C também mostra partículas individualizadas de goethita botrioidal e microporosa(Gm), porém quartzo e hematita lamelar também ocorrem como partículas livres. C – amostra global. MOLR, Ap.

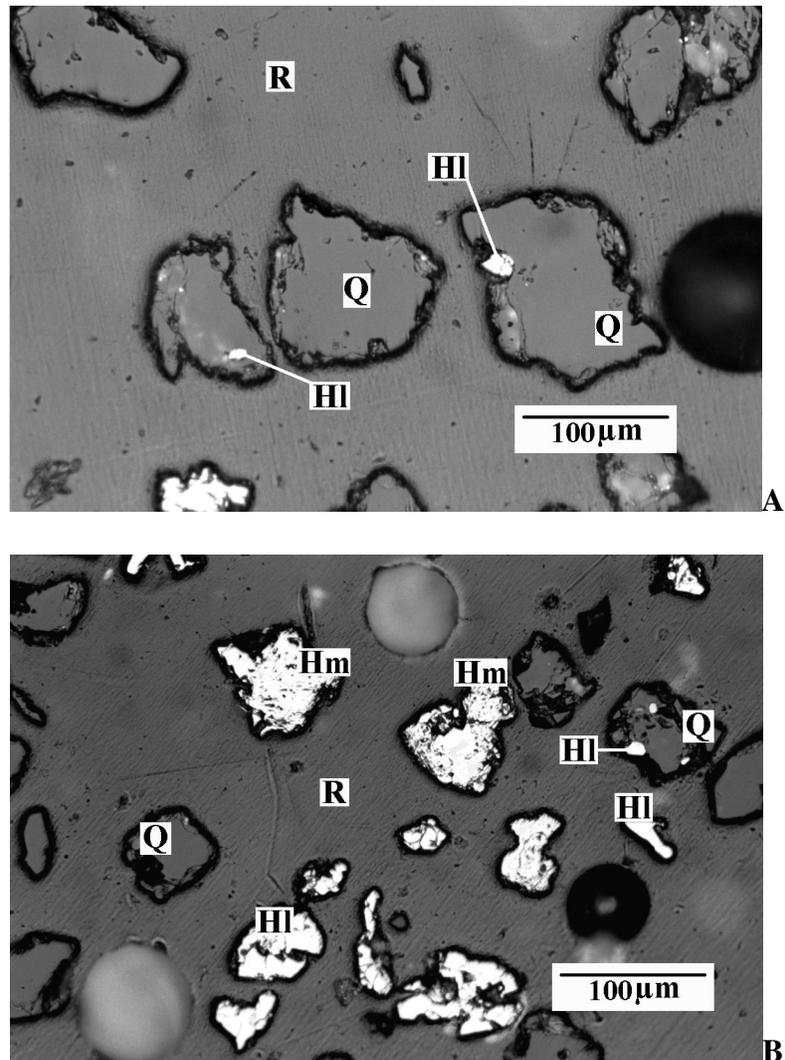


Figura 6.8: A – Inclusões de hematita(HI) em quartzo(Q) que também ocorre como partícula livre; B – partículas individualizadas de hematita martítica(Hm), lamelar(HI) e quartzo; são observadas ainda inclusões de hematita lamelar em quartzo. A – fração +75µm; B – fração +45µm. MOLR, Ap.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. Caracterização química

A amostra da alimentação dos testes de flotação e as frações granulométricas da mesma foram analisadas quimicamente, sendo os resultados apresentados na Tabela VII.1.

Tabela VII.1 – Resultados da análise química da amostra global e das frações.

Malhas mm	Peso g	Porcentagem		Composição química				
		Simples	acumulada	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P
0.106	93.00	8.68	8.68	27.90	57.88	0.91	0.27	0.028
0.075	192.63	17.99	26.67	37.08	44.65	0.68	0.17	0.021
0.053	136.00	12.70	39.37	40.11	39.95	0.62	0.15	0.021
0.044	101.10	9.44	48.82	49.36	28.04	0.60	0.15	0.022
0.037	97.00	9.06	57.87	60.88	11.35	0.49	0.14	0.026
-0.037	451.10	42.13	100.00	58.85	13.91	0.60	0.14	0.022
Total Calculado	1070.83	100.00	--xx--	49.15	27.67	0.63	0.16	0.023
Total Analisado		100,00		49,07	28,51	0,60	0,16	0,021

Observa-se, conforme já evidenciado na análise mineralógica, maiores percentuais de sílica nas frações mais grossas e maiores percentuais de Fe nas frações mais finas.

7.2. Estudos de concentração

Os resultados dos testes iniciais para identificação do emulsificante mais adequado são apresentados na Tabela VII.2, e no anexo III.

Tabela VII.2 – Resultados dos testes de flotação para seleção do emulsificante.

Ensaio	Emulsificante	Fabricante	% Fe Rejeito	% SiO ₂ Conc.	Rec.Mássica	Rec.Metálica	I.S."Gaudin"
1	Emulsogem	Clariant	35,13	3,60	46,20	61,79	5,01
2	D2	Akzo Nobel	36,00	3,93	49,23	64,12	4,70
3	W1	Akzo Nobel	39,50	2,25	41,63	54,87	5,63
4	E8	Akzo Nobel	32,35	1,98	50,66	68,21	7,42
5	E9	Akzo Nobel	33,88	1,24	49,00	65,84	8,95
6	Genapol O 050	Clariant	31,70	1,79	47,06	65,24	7,70
7	LZ 98	Clariant	34,02	2,76	49,57	65,74	5,86
8	Tergitol TMN-3	Dow Química	39,40	2,43	36,55	49,64	5,39
9	Tergitol TMN-10	Dow Química	22,84	1,09	56,83	79,46	13,15
10	Sem emulsificante	-	31,46	0,90	50,49	68,80	11,31
11	Tergitol NP-10	Dow Química	29,00	1,39	51,03	70,90	9,78
12	Tergitol NP-40	Dow Química	25,97	1,12	53,97	75,17	11,78
13	Tergitol 15-S-5	Dow Química	29,14	3,63	49,35	68,84	5,94
14	Triton X305 (70%)	Dow Química	26,21	6,57	59,98	78,68	4,77

Podemos observar pela análise da tabela acima que os melhores resultados foram obtidos nos testes 9 e 10. Dos dados apresentados no anexo III, podemos observar que no teste 9 estava sendo utilizado o emulsificante **Tergitol TMN-10** e no teste 10 estava sendo utilizada apenas a amina como coletor, sem substituição com óleo diesel.

No decorrer dos testes dessa primeira etapa, foi observado, pelo pessoal da Dow Química, que a escolha do emulsificante mais adequado deveria ser feita individualmente para cada tipo de óleo. No entanto, por limitações de tempo e recursos, decidimos manter a programação já estabelecida, uma vez que a quantidade de testes necessários para essa escolha, caso adotássemos a sugestão da Dow Química, aumentaria significativamente.

Após essa seleção do emulsificante, foram feitos os testes para identificar qual a proporção do mesmo em relação à fase dispersa (óleo) apresentava melhores resultados. Esses resultados obtidos são apresentados na Tabela VII.3 e no anexo IV.

Tabela VII.3 – Seleção da proporção de emulsificante em relação à fase dispersa.

Ensaio	% Emuls.*	% Fe rejeito	% SiO ₂ conc.	Rec. mássica	Rec. metálica	I.S. "Gaudin"
15	2,5	36,06	0,91	41,50	57,20	9,80
16	5,0	26,23	0,71	53,00	74,40	14,80
17	10,0	25,75	1,95	58,30	78,50	9,00
18	15,0	25,61	2,78	57,10	77,50	7,50
19	20,0	26,20	5,40	59,40	78,30	5,20

* Percentagem do emulsificante Tergitol TMN-10 em relação a fase dispersa (óleo diesel).

Podemos observar pela análise da tabela acima que os melhores resultados foram obtidos no teste 16. Dos dados apresentados no anexo IV, podemos observar que no teste 16 estava sendo utilizado o emulsificante **Tergitol TMN-10** na proporção de **5%** em relação à fase dispersa (óleo).

A bibliografia consultada indica que a proporção do emulsificante pode variar de 2 a 5% em relação ao meio de dispersão. No entanto, resolvemos seguir a indicação do pessoal da Akzo Nobel e limitar a proporção do emulsificante nos nossos testes de 2,5 a 20% da fase dispersa.

A fim de avaliar a influência de uma maior quantidade de emulsificante no processo de flotação, foram feitos testes com 2% de emulsificante em relação ao meio de dispersão e os resultados são apresentados na tabela VII.4 abaixo e no anexo V.

Tabela VII.4 – Proporção de emulsificante em relação ao meio de dispersão.

Ensaio	% Emuls.*	% Oleo**	% Fe rejeito	% SiO ₂ conc.	Rec. mássica	Rec. metálica	I.S. "Gaudin"
20	2,0	20,0	40,41	19,74	62,00	68,70	1,60
21	2,0	40,0	54,89	31,46	66,60	62,90	0,70

* Percentagem de emulsificante Tergitol TMN-10 em relação ao meio de dispersão.

** Percentagem de substituição da amina pelo óleo diesel.

Pela análise dos resultados apresentados na tabela acima, nota-se que houve uma perda completa da seletividade do processo de flotação, podendo-se atribuir a mesma à influência da maior concentração de emulsificante no coletor.

Com a seleção do emulsificante e da proporção do mesmo em relação à fase dispersa (óleo), passamos aos resultados dos testes para seleção do óleo apolar

mais adequado, bem como da proporção de substituição do mesmo em relação à amina. Os resultados são apresentados na tabela VII.5 e no anexo VI.

Tabela VII.5 – Seleção do óleo apolar e da proporção de substituição da amina.

Ensaio	Tipo óleo	% óleo*	%Fe rejeito	%SiO ₂ conc.	Rec. mássica	Rec. metálica	I.S. "Gaudin"
16	Óleo diesel	20	26,23	0,71	53,00	74,40	14,80
22	Sem óleo	-	28,58	0,65	54,70	74,30	14,60
23	Querosene	20	25,64	4,03	56,90	76,90	6,20
24	Querosene	40	23,41	5,83	62,20	81,70	5,40
25	Óleo diesel	40	21,44	3,04	61,80	83,30	8,30
26	LCI 100	20	20,99	5,29	64,00	84,60	6,30
27	LCI 100	40	19,39	16,97	78,40	91,40	3,40
28	Óleo clarific.	20	20,58	15,35	77,10	90,40	3,50
29	Óleo clarific.	40	26,85	17,88	76,80	87,40	2,70
30	Solv. Olefínico	20	24,63	9,14	62,40	80,70	4,20
31	Solv. Olefínico	40	42,51	27,20	90,20	91,50	1,20
32	Óleo Comb. A1	20	37,55	2,30	39,30	53,50	5,90
33	Óleo Comb. A1	40	31,58	3,09	51,50	69,00	5,90

*Porcentagem de substituição da amina pelo óleo apolar.

Podemos observar pela análise da tabela acima que os melhores resultados foram obtidos nos testes 16 e 22. Dos dados apresentados no anexo VI, podemos observar que no teste 16 estava sendo utilizado o **óleo diesel**, na proporção de **20%** de substituição da amina e no teste 22 estava sendo utilizada apenas a amina como coletor, sem substituição com óleo diesel.

Como nos testes iniciais para a seleção do emulsificante mais adequado adotou-se o óleo diesel como padrão, acredita-se que tal fato possa ter influenciado nos testes utilizando-se outros tipos de óleo, já que teríamos que ter feito essa seleção individualmente.

Finalizando os estudos de concentração, passamos aos resultados dos testes para visualização da influência do método de preparação da emulsão (mecânico x ultrassônico) nos resultados dos testes de flotação. Os testes foram feitos com o emulsificante, óleo apolar, bem como a proporção dos mesmos, já selecionados anteriormente. Os resultados são apresentados na tabela VII.6 e no anexo VII.

Tabela VII.6 – Seleção do método de preparação da emulsão.

Ensaio	Emulsificação*	%Fe rejeito	%SiO₂ conc.	Rec. mássica	Rec. metálica	I.S. "Gaudin"
16	Mecânica	26,23	0,71	53,00	74,40	14,80
34	Ultrassônica	30,61	1,24	51,00	69,80	9,80

* Nesta emulsificação foram utilizados os reagentes e as proporções já selecionados anteriormente.

Podemos observar pela análise da tabela acima que os melhores resultados foram obtidos no teste 16. Dos dados apresentados no anexo IV e VII, podemos observar que o teste 16 foi preparado com agitação mecânica e o 34 com agitação ultrassônica.

Apesar do pior resultado obtido acima, o método de agitação ultrassônica deve ser melhor investigado, uma vez que o equipamento de ultrassom utilizado nesses testes foi um aparelho originalmente adquirido para a limpeza de telas de peneiras, portanto, pode não ser o mais adequado para o processo de emulsificação.

8. CONCLUSÕES

- É perfeitamente possível a substituição parcial de 20% da amina (Flotigan EDA 3, da Clariant) por óleo diesel, sem prejuízo da performance do processo de flotação catiônica reversa do minério de ferro;
- Para possibilitar a utilização do óleo diesel é necessária emulsificação prévia do mesmo com água e amina, utilizando-se um reagente emulsificante. Os melhores resultados foram conseguidos com Tergitol TMN-10, da Dow Química, e empregando-se agitação mecânica. O tipo de hidrofóbo desse surfatante é o trimetilnonanol (TMN);
- A proporção de emulsificante utilizada foi de 5% em relação á quantidade da fase dispersa (óleo diesel);
- Esse emulsificante é um surfatante aniônico, possuindo a seguinte composição química:

Ingredientes	% em peso
Éter trimetilnonílico do polietileno glícol	> 87,0
Polietileno glícol	< 3,0
Água	10,0
4-nonanol, 2, 6, 8 - trimetil	< 2,0

- O método de emulsificação que apresentou resultados mais satisfatórios foi o mecânico, com rotação, em escala de laboratório, na faixa de 2.000rpm;
- O óleo diesel utilizado foi do tipo B, formado por hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos, com uma faixa de destilação compreendida entre 100°C e 400°C, possuindo um máximo de 0,5% de enxofre, densidade 20/4°C

compreendida entre 0,82 e 0,88 g/cm³ e viscosidade a 40°C na faixa de 1,6 a 6,0 cSt;

9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como já é sabido da utilização de óleos combustíveis na flotação catiônica reversa do minério de ferro (Samitri em Alegria, hoje CVRD, e CSN em Casa de Pedra), esse trabalho pretende apenas lançar as bases tecnológicas fundamentais para sustentar essa utilização, bem como melhorar as mesmas pela introdução de inovações nos reagentes empregados, utilizando emulsificantes, e métodos de preparação das emulsões.

Assim, sugere-se como trabalhos futuros:

- Avaliação de óleos combustíveis e lubrificantes de outros fabricantes que não a Petrobrás;
- Seleção do emulsificante individualmente para cada óleo testado;
- Avaliação do efeito da concentração do emulsificante nas águas de recirculação;
- Realização de testes industriais utilizando óleo diesel emulsificado com água e amina;
- Avaliação da dispersividade das emulsões nos resultados dos ensaios de flotação;
- Estudos de cinética de flotação, avaliando-se a influência da adição do óleo diesel;
- Melhor avaliação da emulsificação ultrassônica, empregando equipamento mais adequado a esse método de preparação da emulsão.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - HOUT, R. **Beneficiation of Iron ore by flotation - review of industrial and potential application.** International Journal of Mineral Processing. Amsterdam, v. 10, p. 183-204, 1983.

2 - Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

3 - Seitz, R.A., Kawatra, S.K. 1986. **The role of nonpolar oils as flotation reagents.** In: Malhotra D, Riggs, W.F., eds. Chemical reagents in the mineral processing industry; 1986; Littleton, Colo.: Society of Mining Engineers, Inc. p 171-180.

4 - Finkelstein, N.P. **Oil flotations – Discussion.** In Beneficiation of Mineral fines – problems and reserarch needs, New York, 1978. p. 331-339.

5 - Dudenkov, S.V., Shubov, L. V., Glazunov, L.A., **Fundamentos de la teoria y la práctica de empleo de reactivos de flotacion.** URSS. Traducción al español: editorial MIR 1980, 404 p.

6 - Smit, F. J., and Bhasin, A.K., **Relationship of petroleum hydrocarbon characteristics and molybdenite flotation**, Int. J. Mineral Process., vol. 15, 1985, p.19-40.

7 - Patel, S.K., Powers, R.M. and Zhang, P. **Environmental fate of flotation reagents used in the Florida phosphate industry.** In Beneficiation of phosphates: Advances in research and practice. Lakeland, Flórida, 2001. p. 363-371.

8 - Bresson, C.R., Parlman, R.M., inventors; Phillips Petroleum Company, Bartlesville, Okla., USA, assignee. 1983. **Aromatic and benzothiophene extender oil composition for ore flotation**. U.S. Patent No. 4,372,844. Issued Feb. 8, 1983. Applied June 29, 1981.

9 - Garcia, R., Bernardes, H.J., **Manual de utilização de óleos combustíveis ultraviscosos**, 2ª edição – Petrobrás - Belo Horizonte – MG, 1992. p.141

10 - Nametkin, S.S. Khimiya nefiti (**Chemistry of Petroleum**). – Izdatel' – stvo Na SSSR. 1955. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

11 - Fuks, G.I., Vyazkost' i plastichnost' nefteproduktov (**Viscosity and plasticity of petroleum products**) – Gostoptekhizdat. 1951. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

12 - Fuks, G.I., Chasovye mekhanizmy. Raschety i materialy (**Watch mechanisms, calculations and material**). – Mashgiz. 1955. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

13 - Bowden, F.P. and Tabor, D., **The friction and lubrication of solids**, London, Oxford Univ. Press. 1950. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

14 - Gerasimov, Ya. I., V.P. Dreving, E.N. Eremin, A.V. Kiselev, V.P. Lebedev and A.M. Shlygin, Kurs fizicheskoi khimii (**A course of physical chemistry**). – Izdatel'stvo "Khimiya", Vol. 01. 1964. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M.,

and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

15 - Il'in, B.V., Priroda adsorbtsionnykh sil (**The nature of adsorption forces**). – GITTL. 1964. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

16 - Dubinin, M.M. Fiziko-khimicheskie osnovy sorbtsionnoi tekhniki (**Physicochemical principles of sorption techniques**). – ONTI. 1935. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

17 - Gurevich, L.G., Nauchnye osnovy pererabotki nefti (**Scientific principles of petroleum processing**). – ONTI. 1925. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

18 - Rossini, F., B.J. Mair and ^aJ. Streiff, **Hydrocarbons from petroleum**. – New York, Rheinhold. 1953. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

19 - Kiselev, A.V. and Yu. A. El'tekov, adosrbtsiya benzola iz rastvorov v heptane na silikagelyakh raznoi strukrury (**adsorption of benzene from heptane solutions on silica gels of various structures**). – Doklady Na SSSR, vol. 100, n^o 10, 1955. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

20 - Breshchenko, E.M. Vliyanie razvetvlennosti uglevodorodnykh tsepei na adsorbiruemost' uglevodorodov na ugle (**the influence of the branching of hydrocarbon chains on the adsorption of hydrocarbons on coal**). –

Azerbaidzhanskoe neftyanoe khozyaistvo, n° 5, 1957. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

21 - Rebinder, P.A. Sovremennye problemy kolloidnoi khimii (**Modern problems of colloidal chemistry**). – Kolloidnyi zhurnal, n° 5, 1958. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

22 - Kremnev, L. Ya. and A. A. Revdal' , O mekhanizme emul'girovaniya (**The mechanism of emulsification**). – Kolloidnyi zhurnal, n° 1, 1954. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

23 - Martynov, V.M., Kriticheskaya despersnost' vysokokontsentrirrovannykh emul'sii (**Critical dispersity of highly concentrated emulsions**). – Kolloidnyi zhurnal, n° 3, 1948. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

24 - Glembotskii, V. A., Ratsional'nye puti primeneniya apolyarnykh sobiratelei pri flotatsii rud (**Effective methods of application of nonpolar collectors for the flotation of ores**). – In Sbornik: "Fiziko-khimicheskie osnovy deistviya apolyarnykh sobiratelei pri flotatsii rud i uglei", Izdatel'stvo "Nauka". 1965. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

25 - Klassen, V.I. Probemy teorii deistviya apolyarnykh sobiratelei pri flotatsii (Theoretical problems of the action of nonpolar collectors during flotation). – Ibid. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

26 - Glembotskii, V. A., O.P. Malyuk and M.M. Sorokin. Ul'trazvukovoe emulgirovanie apolyarnykh masel dlya povysheniya ikh flotatsionnoi aktivnosti (**Ultrasonic emulsification of nonpolar oils for increasing their flotation strength**). – Ul'trazvukovaya tekhnika, n° 5, 1966. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

27 - Glembotskii, V. A., E. L. Raukhvarger and E. A. Trofimova. Flotatsiya zheleznykh rud s primeneniem apolyarnykh masel (**flotation of iron ores by nonpolar oils**). – Nauchnye Soobshcheniya IGD im. A. A. Skochinskogo, Issue 45, Izdatel'stvo "Nedra". 1968. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

28 - Cutheberston, R.E. – **Mining technology**, n° 1:19. 1944. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

29 - Livshits, A. K. and A. A. S. Kuz'kin. O deistvii uglevodorodnykh masel pri flotatsii (**The action of hydrocarbon oils during flotation**). – Tsvetnye Metally, n° 5, 1963. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

30 - Pieters, H. A. **Die flotation von kohlschlamm** . – Brennstoffchemie, vol. 2, n° 17. 1931. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

31 - Horsley, R.M. **The froth flotation of coal**. – Colliery Eng., vol. 7, n° 341, 1952. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

32 - Allum, Dzh. and P.F. Uelen. Pennaya flotatsiya uglei nizkogo metamorfizma (**Froth flotation of coals of low metamorphism**). – In book: "Flotatsiya poleznykh iskopaemykh", Gosgortekhzdat, 1962. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

33 - Barkovskii, V.F. , S.M. Gorelik and T.B. Gorodentsova. Praktikum po fiziko-khimicheskim metodam analiza (**Handbook of physicochemical methods of analysis**). – Izdatel'stvo "Vysshaya Shkola". 1963. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

34 - Belov, K.L., O.B. Volkova, M.I. Maksimov, N. D. Ogloblin, V.I. Luk'yanchenko and A. Ya. Luk'yanchenko. O vliyanii khimicheskogo sostava reagentov primenyaemykh pri flotatsii uglya, na aktivnost'kh deistvivya (**The influence of the chemical composition of flotation agents for coal on their activity**). – Koks i khimiya, n^o 8. 1962. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

35 - Malyuk, O.P., M.M. Sorokin and V. A. Glembotskii. Vliyanir vyazkosti i khimicheskogo sostava neftyanykh masel na flotatsiyu zheleznykh mineralov (**The influence of viscosity and of chemical composition of petroleum oils on the flotation of iron minerals**). – In Sbornik: "Issledovanie deistvivya flotatsionnykh reagentov", Izdatel'stvo "Nauka". 1968. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

36 - Goden, A.M. Flotatsiya (**Flotation**). – GONTI, 1934. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

37 - Uork, I. V. and K.L. Sazerlend. Printsipy flotatsii (**Principles of flotation**). – Metallurgizdat. 1958. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

38 - Shvedov, A.D. and I.N. Shorsher. O reaktsii pirita s ksantatom (**The reaction of pyrite with xanthate**). – Sbornik nauchnoissledovatel'skikh rabot po teorii i praktike flotatsii, n° 2, ONTI. 1938. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

39 - Mitrofanov, S.I. Selektivnaya flotatsiya (**Selective flotation**). – Metallurgizdat. 1958. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

40 - Klassen, V.I. and I.N. Plaksin. K vliyaniyu stroeniya i sostava reagentov na ikh deistvie pri flotatsii uglei (**The influence of the structure and composition of agents on their action during the flotation of coal**). – Doklady NA SSSR, vol. 103, n° 5, 1955. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

41 - Plaksin, I.N., A.M. Okolovich and G.N. Nazarova. Primenenie nekotorykh alkilarilsul'fonatov v kachestve penoobrazovatelei (**Application of some alkylarysulfonates as frothing agents**). – Gosgortekhzdat. 1960. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

42 - Livshits, A.K. and M.M. Bazanova. O sobiratel'nom deistvii penoobrazovatelei pri flotatsii (**the collecting strength of frothing agents during flotation**). – Tsvetnye Metally, n° 3 , 1950. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and

Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

43 - Eigeles, M. A. Teoreticheskie osnovy flotatsii nesul'fidnykh mineralov (**Theoretical principles of the flotation of nonsulfide minerals**). – Metallurgizdat. 1950. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

44 - Taggart, I.N. and M.G. Hassialis. – Mining engng. Trans. AIMME. 169, 1946. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

45 - Plaksin, I.N. and G.N. Khazhinskaya. O kollektornom deistvii nekotorykh penoobrazovatelei pri flotatsii tsinkovoi obmanki (**The collecting strength of some frothing agents during the flotation of zinc blende**). – Izv. Na SSSR, OTN, n° 7, 1956. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

46 - Leja, J. and I.N. Schulman. - Mining engng. Trans. AIMME. 221, february 1954. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

47 - Erchikovskii, G.O. Obrazovanie flotatsionnoi peny (**Formation of flotation froth**). – GONTI, 1939. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

48 - Bresler, S.E. and P.F. Pokhil. Ikspandirovannoe sostoyanie i binarnye plenki (Expanded state of binary films). – Zhurnal fizicheskoi khimii, issue 5-6, 1940.

Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

49 - Aleinikov, N. A. Obrazovanie i svoistva flotatsionnykh dispersnykh sistem (**Formation and properties of flotation disperse systems**). – In Sbornik: “Rol’gazov i reagentov v protsessakh flotatsii”, Izdatel’stvo NA SSSR, 1950. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

50 - Brukhgol’d, K. Flotatsionnyi protsess (**Flotation process**). – GNTI, 1931. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

51 - Livshits, A. K. and S.V. Dudenkov. Deistvie sobiratelei na ob’em i stabil’nost’ peny, obrazuemoi v pnevmaticheskom apparate (**The influence of collectors on the volume and stability of froth formed in a pneumatic machine**). – Ibid., n^o 11, 1959. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

52 - Bellamy, L. **Infrared spectra of complex molecules**. – London, Methuen and Co., Ltd. 1954. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

53 - Bromberg, A. V. Issledovanie vysokokontsentrirrovannykh emul’sii tipa M/V (sintez emul’sii na oleate natriya) (**A study of highly concentrated emulsions of the O/W type (Synthesis of emulsions of sodium oleate)**). – Kolloidnyi zhurnal, n^o 1, 1949. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

54 - Kremnev, L.Ya. and S. A. Soskin. Zhelatinirovannye emul’sii (**gelatin emulsions**). – Kolloidnyi zhurnal, n^o 1, 1949. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva,

G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

55 - Kremnev, L.Ya. and N. I. Kuibina. Zhelatinirovannye emul'sii (**gelatin emulsions**). – Kolloidnyi zhurnal, n^o 5, 1954. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

56 - Kremnev, L.Ya. and N. I. Kuibina. Zhelatinirovannye emul'sii (**gelatin emulsions**). – Kolloidnyi zhurnal, n^o 1, 1951. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

57 - Kremnev, L.Ya. and A. I. Perelygina. Zhelatinirovannye emul'sii (**gelatin emulsions**). – Kolloidnyi zhurnal, n^o 2, 1958. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

58 - Livshits, A. K. and L. Ya. Shudov. O primeneniі apolyarnykh masel pri flotatsii tonkikh chastits (**The use of nonpolar oils during the flotation of fine-grained minerals**). – In sbornik: "Fizikokhimicheskie osnovy deistviya apolyarnykh sobiratelei pri flotatsii rud i uglei", Izdatel'stvo "Nauka", 1965. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

59 - Tsiperovich, M.V. and A. F. Sorokin. Issledovanie deistviya organicheskikh soedinenii pri flotatsii uglei (**Study or the action of organic compounds during the flotation of coal**). – In Sbornik: "Flotatsiya uglei na obogatitel'nykh fabrikakh", Izdatel'stvo "Nedra", 1964. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

60 - Belen'kii, M. L. Elementy kolichestvennoi otsenki farmakologicheskogo effekta (**Principles of the quantitative estimate of pharmacological effects**). – Leningrad, Medgiz . 1963. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

61 - Maslyanitskii, N.N. and V.V. Dolivo-Dobrovol'skii. Puti ochistki stochnykh vod flotatsionnykh obogatitel'nykh fabrik (**Methods for decontaminating effluent waters from flotation ore-dressing plants**). – Trudy 4-oi Nauchno-tekhnicheskoi sessii Instituta Mekhanobr. 1961. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

62 - Garshenin, V.F. Gigienicheskie obosnovaniya k ustanovleniyu predel'no dopustimykh kontsentratsii poverkhnostno-aktivnykh veshchestv anionoaktivnogo tipa v vode vodoemov (**Hygienic basis for determining the maximum permissible concentrations of surface-active agents of the anionic type in water reservoirs**) – Nauchnye Trudy akademii Kommun. Khozyaistva "Ochistka stochnykh vod. Soderzhachchikh siteticheskikh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv", Issue 37. Moskva-Leningrad. 1965. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

63 – Emel'yanov, D.S. Teoriya i praktika flotatsii uglya (**The Theory and Practice of Coal Flotation**). – Ugletekhizdat. 1954. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

64 – Livshits, A.K. and A.S. Kuz'kin. O deistvii uglevodorodnykh masel pri flotatsii (**The Action of Hydrocarbon Oils Durins Flotation**). – Tsvetnye Metally, n^o 5.

1963. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

65 – Adam, N.K. **The Physics and Chemistry of Surfaces**. – Oxford University Press. 1941. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

66 – Melik-Gaikazyan, V.I., V.V. Voronchikhina, and L.A. Baranova. K metodike otsenki prochnosti prilipaniya mineral'nykh chastits k poverkhnosti puzyr'kov vozdukha (**A Method of Estimating the Strength of Attachment of Mineral Particles to the Surface of Air Bubbles**). – In Sbornik: "Obogashchenie i ispol'zovanie uglya," Nauchnye Trudy KuzNIIUgleobogashchenie, Issue 3, Izdatel'stvo "Nedra." 1965. Apud Glembotskii, V. A., Dmitrieva, G. M., and Sorokin, M. M., **Nonpolar flotation agents**, Israeli Progress Scientific translations, 1970, p. 114.

67 – Pereira, C.A., **Estudo da dispersão e concentração de minério calamínico**, Tese de doutorado – UFMG - Belo Horizonte – MG, 2004. p.79

67 – Magriotis, R.S., **Efeito do tipo de amina na flotação catiônica reversa de um minério itabirítico**, Dissertação de Mestrado – UFMG - Belo Horizonte – MG, 1995. p.172

Anexo I

Estes óleos leves, destinados a enquadrar a viscosidade do óleo combustível, são chamados “óleos de corte” e podem ser qualquer um dos seguintes:

- Querosene
- Diesel
- LCO (óleo leve de reciclo)
- Óleo decantado de FCC
- Diesel de unidade de coqueamento

O “poder de corte” de cada um destes derivados é diferente, assim como suas densidades. O uso de um óleo ou de outro é função principalmente da disponibilidade de cada um na refinaria. Atualmente, devido ao mercado brasileiro exercer uma forte demanda por óleo diesel, as refinarias nacionais procuram maximizar este produto, levando-as então a utilizar, como óleo de corte, preferencialmente o óleo decantado de FCC, uma vez que as demais correntes podem ser incorporadas ao diesel.

A qualidade e a quantidade do resíduo de vácuo variam bastante em função principalmente de dois fatores:

- Tipo de petróleo
- Condições de operação das torres de destilação

Por isto, e, devido aos diferentes tipos e quantidades de óleos de corte usados, os poderes caloríficos dos óleos combustíveis variam.

2. Principais características dos óleos combustíveis

Apenas a título de exemplo, serão listadas nas tabelas AI.1 e AI.2 as principais características de alguns tipos de óleos combustíveis.

Observa-se que o teor de enxofre dos óleos "A" pode chegar a 5,5% em peso. Os valores mostrados nestas tabelas não são os limites normalizados, mas tão somente valores típicos que variam dependendo do tipo de petróleo que está sendo usado.

Tabela AI.1 - Principais características típicas dos óleos combustíveis tipo "A".

Tipo "A" - Alto teor de enxofre						
Características	A1	A2	A3	A4	A7	A8
Densidade (20/4°C)	1,017	1,018	1,024	1,012	1,031	1,042
Ponto de fulgor (°C)	103	121	98	101	160	-
Ponto de fluidez (°C)	13	6	15	-	-	60
Enxofre (% peso)	3,8	3,9	4,0	4,3	4,6	4,8
Cinzas (% peso)	0,04	0,04	0,09	-	-	0,05
P. Caloríf. Sup. (Kcal/Kg)	10.238	10.130	10.077	10.050	10.025	9.995
Teores de metais:						
Vanádio (ppm)	172	142	201	187	167	207
Sódio (ppm)	19	13	18	21	9,2	25
Níquel (ppm)	47	46	54	40	50	80
Viscosidade (SSF) a:						
65°C	178	278	-	-	37.600	100.000
82.2°C	73	102	278	590	6.110	15.750
100°C	30	40	101	180	1.410	3.300
135°C	15	-	27	43	168	330

Tabela AI.2 - Principais características típicas dos óleos combustíveis tipo "B".

Tipo "B" - Baixo teor de enxofre				
Características	B1	B2	B3	B4
Densidade (20/4°C)	0,957	0,964	0,983	0,980
Ponto de fulgor (°C)	84	86	80	88
Ponto de fluidez (°C)	6	12	38	-
Enxofre (% peso)	0,8	0,9	1,0	1,0
Cinzas (% peso)	0,04	0,04	0,03	-
P. Caloríf. Sup. (Kcal/Kg)	10.530	10.500	10.443	10.399
Teores de metais:				
Vanádio (ppm)	34	37	44	43
Sódio (ppm)	40	41	51	31
Níquel (ppm)	38	30	32	32
Viscosidade (SSF) a:				
65°C	180	263	-	-
82.2°C	81	140	262	611
100°C	37	-	105	202
135°C	-	20	29	38

Anexo II

PROCEDIMENTO PARA TESTE DE FLOTAÇÃO EM BANCADA

1) Objetivo:

O objetivo do teste de flotação em bancada é simular em laboratório o processo industrial de flotação, permitindo a correlação entre os resultados de laboratório e colunas ou células mecânicas de flotação.

2) Calibração do pHmetro

O laboratorista deve calibrar o pHmetro sempre antes de iniciar um ensaio de flotação.

Utilizar soluções-tampão de pHs 4; 7 e 10.

3) Preparação dos Reagentes:

3.1) NaOH (Soda)

A solução de NaOH para gelatinização deve ser preparada à 10% em peso, a partir da NaOH anidra PA. Não se deve usar NaOH proveniente da planta industrial para evitar variações de concentração. A reação de hidrólise do NaOH é exotérmica;

- Pesar 50,0g do NaOH em um erlenmeyer de 500 ml;
- Completar o volume do erlenmeyer com água destilada;
- Agitar a solução com bastão de vidro até a solubilização completa do NaOH (aproximadamente 5 minutos);

3.2) Amido

A solução de amido, como no processo industrial, deve ser suspensa e gelatinizada com solução de NaOH à 10% em peso. A relação amido x NaOH adotada é de 5:1. O depressor deverá ser preparado a uma concentração de 1% em peso e a dosagem é de 550 ou 600g/t de material alimentado.

- Pesar 5,6g de amido em um béquer de 500ml (considerando 12% de umidade);
- Adicionar ao béquer 50ml de água destilada;
- Agitar a suspensão de amido por 20 minutos em agitador mecânico com 2000 rpm;
- Adicionar ao béquer 10ml de solução de NaOH a 10% em peso;
- Agitar a solução em um agitador mecânico com 2000rpm por 20 minutos;
- Completar o volume do béquer com água destilada;
- Deixar a solução sob agitação mecânica por mais 20 minutos;
- Reservar 90ml da solução de amido em uma proveta de 100ml.

Para preparação de amidos parcialmente gelatinizados, deve-se usar um procedimento especial, baseado na curva de viscosidade do mesmo.

3.3) Amina

O coletor do teste de bancada deve ser preparado a uma concentração de 1% em peso e dosagem de 55g/t de material alimentado, ou 250g/t de sílica alimentada.

- Pesar 1,0g de amina em um erlenmeyer de 250ml;
- Completar o volume até 100ml com água destilada;
- Agitar a solução com bastão de vidro até a solubilização completa do coletor (aproximadamente 5 minutos);
- Reservar 8,3 ml em uma proveta de 10 ml.

3.4) Corretores de pH e nível de espuma

Devem ser preparadas soluções de ácido acético (5%) e NaOH à 10% em peso para correção do pH da polpa na cuba de flotação.

3.4.1) Ácido Acético:

- Pipetar 100ml de água destilada em um erlenmeyer de 250ml;
- Adicionar 12,5g de ácido acético P.A. ao erlenmeyer;
- Completar o volume do erlenmeyer com água destilada;
- Agitar a solução com bastão de vidro.

3.4.2) NaOH

- Pipetar 100ml de água destilada em um erlenmeyer de 500ml;
- Adicionar 250g de NaOH a 10%;
- Completar o volume do erlenmeyer com água destilada;
- Agitar a solução com bastão de vidro.

3.4.3) Água de Reposição (manutenção do nível da espuma)

- Colocar em um balde ou béquer, cerca de 4 litros de água destilada (não se utilizará a água industrial, pois já estamos utilizando óleo diesel no processo de flotação e essa água deve conter algum resíduo de óleo diesel);
- Regular o pH com soda a 10% até atingir o pH da flotação (10,7) e manter sob agitação para manter a estabilização.

4) Procedimento de Flotação

- Adicionar a massa de minério calculada anteriormente (base seca de 1500g) na cuba de flotação de 2 ou 3,5 litros;
- Adicionar na cuba o volume de água calculado anteriormente. A água deverá ser destilada;
- Ligar a máquina de flotação com agitação constante de 1500rpm, mantendo a válvula de ar da célula na posição fechada;
- Adicionar 90ml da solução de amido, monitorando o pH da polpa. O tempo de condicionamento é de 5 minutos.
- Regular o pH da polpa em $10,7 \pm 0,1$ com a solução de NaOH a 10% (se necessário, corrigir com o ácido acético a 5%);

- Adicionar 8,3ml da solução de amina. O tempo de condicionamento da amina é de 1 minuto;
- Após o tempo de condicionamento da amina, abrir gradativamente a válvula de ar da célula de flotação;
- Coletar suavemente a espuma utilizando duas pazinhas de acrílico;
- Repor, na medida do necessário, água regulada no pH 10,7 para manter o mesmo nível de espuma;
- Coletar a espuma durante 5 minutos;
- Fechar a válvula de ar;
- Filtrar e secar e pesar o concentrado e rejeito.
- Fazer análise granulométrica a úmido do concentrado e o rejeito, anotar as massas das faixas e enviar para análise química (global e nas faixas 0,106; 0,075; 0,053; 0,044; 0,038; e passante em 0,038mm).

Anexo III – Seleção do emulsificante



EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio 01

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Emulsogem	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica(NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
10,7	1500		2	5	1500			

Produtos	Massa(g)	Análise Química				Recuperações	
		Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	46,20	61,79
Alimentação (Calculada)	1498,89	49,46	27,47	0,59	0,18	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	692,51	66,15	3,60	0,47	0,21	5,01	
Rejeito	806,38	35,13	47,96	0,69	0,15		



EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio 02

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Emulsificante "D2"	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica(NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
10,7	1500		2	5	1500			

Produtos	Massa(g)	Análise Química				Recuperações	
		Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	49,23	64,12
Alimentação (Calculada)	1494,82	50,94	25,80	0,58	0,17	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	735,93	66,35	3,93	0,49	0,21	4,70	
Rejeito	758,89	36,00	47,01	0,67	0,13		



EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio 03

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Emulsificante "W1"	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica(NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
10,7	1500		2	5	1500			

Análise Química						Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	41,63	54,87
Alimentação (Calculada)	1496,58	51,09	25,40	0,57	0,16	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	623,06	67,33	2,25	0,46	0,21	5,63	
Rejeito	873,52	39,50	41,91	0,65	0,13		



EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio 04

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Emulsificante "E8"	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica(NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
10,7	1500		2	5	1500			

Análise Química						Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	50,66	68,21
Alimentação (Calculada)	1502,38	50,20	26,75	0,57	0,17	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	761,13	67,59	1,98	0,45	0,21	7,42	
Rejeito	741,25	32,35	52,18	0,70	0,13		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 05

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Emulsificante "E9"	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica(NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
	10,7	1500	2	5	1500			

Produtos	Massa(g)	Análise Química				Recuperações	
		Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	49,00	65,84
Alimentação (Calculada)	1496,04	50,57	25,88	0,57	0,17	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	733,13	67,94	1,24	0,45	0,22	8,95	
Rejeito	762,91	33,88	49,55	0,69	0,13		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 06

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Genapol O "050"	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica(NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
	10,7	1500	2	5	1500			

Produtos	Massa(g)	Análise Química				Recuperações	
		Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	47,06	65,24
Alimentação (Calculada)	1501,23	48,28	27,45	0,62	0,17	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	706,48	66,94	1,79	0,48	0,19	7,70	
Rejeito	794,75	31,70	50,26	0,74	0,15		



EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 07

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	"LZ 98"	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica(NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
10,7	1500		2	5	1500			

Análise Química						Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	49,57	65,74
Alimentação (Calculada)	1499,73	50,08	25,89	0,64	0,16	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	743,36	66,43	2,76	0,57	0,20	5,86	
Rejeito	756,37	34,02	48,62	0,70	0,13		



EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 08

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Tergitol "TMN-3"	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica(NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
10,7	1500		2	5	1500			

Análise Química						Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	36,55	49,64
Alimentação (Calculada)	1501,47	49,64	27,06	0,58	0,18	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	548,84	67,41	2,43	0,51	0,22	5,39	
Rejeito	952,63	39,40	41,25	0,62	0,15		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 09

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Tergitol TMN-10	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica(NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	5	5	5	15	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)	7/1/2004		
10,7	1200			5	1500			

Produtos	Massa(g)	Análise Química				Recuperações	
		Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	56,83	79,46
Alimentação (Calculada)	1497,80	47,99	28,32	1,00	0,18	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	851,20	67,10	1,09	0,81	0,23	13,15	
Rejeito	646,60	22,84	64,16	1,25	0,11		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 10

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	100	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	-		<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE			Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica(NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
10,7	1500		2	5	1500			

Produtos	Massa(g)	Análise Química				Recuperações	
		Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	50,49	68,80
Alimentação (Calculada)	1495,56	49,92	26,83	0,59	0,17	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	755,09	68,03	0,90	0,44	0,21	11,31	
Rejeito	740,47	31,46	53,27	0,75	0,13		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio 11

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Tergitol NP-10	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica (NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
10,7	1500		2	5	1500			

Produtos	Massa(g)	Análise Química				Recuperações	
		Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	51,03	70,90
Alimentação (Calculada)	1498,35	48,80	28,58	0,63	0,18	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	764,59	67,80	1,39	0,47	0,20	9,78	
Rejeito	733,76	29,00	56,92	0,79	0,15		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 12

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Tergitol NP40	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica (NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	5	5	5	15	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)	7/1/2004		
10,7	1200		2	5	1500			

Produtos	Massa(g)	Análise Química				Recuperações	
		Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	53,97	75,17
Alimentação (Calculada)	1499,20	48,13	28,32	0,78	0,17	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	809,10	67,04	1,12	0,82	0,23	11,78	
Rejeito	690,10	25,97	60,21	0,73	0,11		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio 13

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Tergitol 15-S-5	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica (NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
10,7	1500		2	5	1500			

Produtos	Massa(g)	Análise Química				Recuperações	
		Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	49,35	68,84
Alimentação (Calculada)	1497,00	47,36	30,44	0,62	0,17	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	738,84	66,05	3,63	0,43	0,19	5,94	
Rejeito	758,16	29,14	56,57	0,81	0,15		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio 14

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)	
DEPRESSOR	Gritz	100	550	-	90,0	1	5	
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1	
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-	
OLEO DIESEL	"B"	19	<i>Tempo de agitação dos reagentes (minutos)</i>				-	-
EMULSIFICANTE	Triton X305 (70%)	1	Emulsificante e água	Emulsificante, água e óleo	Emulsificante, água, óleo e amina	global	-	
MODULADORES DE pH	Soda cáustica (NaOH)	100					-	
	Ácido acético	100	20	20	20	60	-	
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso)	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)			
10,7	1500		2	5	1500			

Produtos	Massa(g)	Análise Química				Recuperações	
		Composição Química (%)				Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	59,98	78,68
Alimentação (Calculada)	1497,17	49,20	28,28	0,62	0,18	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	898,03	64,54	6,57	0,48	0,19	4,77	
Rejeito	599,14	26,21	60,81	0,84	0,16		

Anexo IV – Seleção da proporção do emulsificante



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 15

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
OLEO DIESEL		20					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada no ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	45,8	62,7
Alimentação (Calculada)	1461,47	49,64	27,10	0,53	0,18	0,018	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	669,65	67,96	0,99	0,45	0,23	0,023	9,9	
Rejeito	791,82	34,15	49,18	0,60	0,13	0,014		

RESULTADOS ENSAIO B							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	37,5	51,5
Alimentação (Calculada)	1471,74	49,23	27,65	0,50	0,16	0,021	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	551,29	67,73	0,89	0,47	0,24	0,034	9,3	
Rejeito	920,45	38,15	43,67	0,51	0,12	0,013		

RESULTADOS ENSAIO C							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	41,2	57,1
Alimentação (Calculada)	1462,12	49,11	27,82	0,50	0,17	0,020	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	602,70	67,99	0,85	0,44	0,23	0,031	10,2	
Rejeito	859,42	35,87	46,74	0,55	0,13	0,013		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A+B+C							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	41,5	57,2
Alimentação (Calculada)	1465,11	49,27	27,60	0,51	0,17	0,020	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	607,88	67,89	0,91	0,45	0,23	0,03	9,8	
Rejeito	857,23	36,06	46,53	0,55	0,13	0,013		

OBS.: foi utilizado 2,5 % de emulsificante em relação ao óleo diesel



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 16

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
OLEO DIESEL		20					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada no ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
		Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021
Alimentação (Calculada)	1477,53	48,42	28,83	0,65	0,17	0,024	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	776,72	67,71	0,65	0,50	0,21	0,032	15,2	
Rejeito	700,81	27,04	60,06	0,81	0,13	0,015		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
		Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021
Alimentação (Calculada)	1502,17	47,90	29,04	0,66	0,17	0,024	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	790,62	67,57	0,69	0,51	0,21	0,032	15,1	
Rejeito	711,55	26,05	60,54	0,82	0,13	0,015		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
		Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021
Alimentação (Calculada)	1493,51	48,15	28,72	0,64	0,17	0,024	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	801,92	67,59	0,79	0,50	0,21	0,032	14,3	
Rejeito	691,59	25,61	61,10	0,80	0,13	0,014		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A+B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
		Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021
Alimentação (Calculada)	1491,07	48,16	28,86	0,65	0,17	0,024	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	789,75	67,62	0,71	0,50	0,21	0,03	14,8	
Rejeito	701,32	26,23	60,57	0,81	0,13	0,015		

OBS.: foi utilizado 5,0% de emulsificante em relação ao óleo diesel



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 17

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
OLEO DIESEL		20					
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada no ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	59,9	80,1
Alimentação (Calculada)	1484,46	50,17	26,22	0,86	0,17	0,028	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	889,23	67,10	2,30	0,65	0,20	0,035	8,5	
Rejeito	595,23	24,89	61,96	1,17	0,13	0,017		

RESULTADOS ENSAIO B							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	57,6	77,6
Alimentação (Calculada)	1467,00	50,26	26,66	0,64	0,17	0,024	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	845,00	67,67	1,80	0,47	0,20	0,030	9,2	
Rejeito	622,00	26,60	60,43	0,88	0,14	0,016		

RESULTADOS ENSAIO C							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	57,3	77,7
Alimentação (Calculada)	1467,56	49,38	27,02	0,72	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	840,36	67,01	1,76	0,66	0,22	0,036	9,5	
Rejeito	627,20	25,75	60,87	0,81	0,12	0,014		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	58,3	78,5
Alimentação (Calculada)	1473,01	49,93	26,63	0,74	0,17	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	858,20	67,26	1,95	0,59	0,21	0,03	9,0	
Rejeito	614,81	25,75	61,09	0,95	0,13	0,016		

OBS.: foi utilizado 10 % de emulsificante em relação ao óleo diesel



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 18

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
OLEO DIESEL		20					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada no ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	58,0	78,0
Alimentação (Calculada)	1474,46	49,20	26,61	0,95	0,18	0,031	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	855,23	66,19	3,00	0,74	0,22	0,039	7,1	
Rejeito	619,23	25,73	59,21	1,25	0,13	0,020		

RESULTADOS ENSAIO B							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	56,8	77,8
Alimentação (Calculada)	1508,55	48,41	27,91	0,95	0,18	0,030	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	856,32	66,37	2,89	0,72	0,22	0,038	7,5	
Rejeito	652,23	24,84	60,75	1,26	0,13	0,019		

RESULTADOS ENSAIO C							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	56,5	76,8
Alimentação (Calculada)	1455,46	49,17	27,09	0,91	0,18	0,028	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	822,23	66,80	2,45	0,65	0,22	0,035	7,8	
Rejeito	633,23	26,27	59,08	1,25	0,13	0,020		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A+B+C							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	57,1	77,5
Alimentação (Calculada)	1479,49	48,93	27,20	0,94	0,18	0,030	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	844,59	66,45	2,78	0,70	0,22	0,04	7,5	
Rejeito	634,90	25,61	59,68	1,25	0,13	0,020		

OBS.: foi utilizado 15 % de emulsificante em relação ao óleo diesel



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 19

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/t de alimentação)	Dosagem Específica (g/t de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
OLEO DIESEL		20					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada no ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	60,6	79,6
Alimentação (Calculada)	1493,97	49,60	26,64	0,94	0,18	0,031	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	905,23	65,20	4,50	0,79	0,22	0,039	5,9	
Rejeito	588,74	25,62	60,68	1,18	0,13	0,018		

RESULTADOS ENSAIO B							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	58,8	77,4
Alimentação (Calculada)	1483,99	48,56	28,10	0,82	0,18	0,029	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	872,87	63,90	6,06	0,74	0,21	0,037	4,9	
Rejeito	611,12	26,64	59,58	0,93	0,13	0,017		

RESULTADOS ENSAIO C							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	58,8	77,8
Alimentação (Calculada)	1485,33	48,84	27,57	0,79	0,18	0,029	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	874,01	64,57	5,65	0,69	0,21	0,036	5,1	
Rejeito	611,32	26,34	58,91	0,93	0,13	0,018		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A+B+C							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	59,4	78,3
Alimentação (Calculada)	1487,76	48,99	27,45	0,85	0,18	0,029	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	884,04	64,56	5,40	0,74	0,21	0,04	5,2	
Rejeito	603,73	26,20	59,72	1,01	0,13	0,018		

OBS.: foi utilizado 20 % de emulsificante em relação ao óleo diesel

Anexo V – Proporção do emulsificante em
relação ao meio de dispersão



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 20

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
OLEO DIESEL		20					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							61,0	67,1
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1492,07	49,16	27,31	0,85	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	910,50	54,05	20,95	0,57	0,17	0,028	1,5	
Rejeito	581,57	41,50	37,26	1,28	0,20	0,026		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							61,1	68,2
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1500,50	48,35	27,90	0,82	0,19	0,028	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	916,20	53,99	20,03	0,58	0,18	0,030	1,7	
Rejeito	584,30	39,50	40,23	1,20	0,20	0,024		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							63,9	70,8
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1448,53	49,79	26,07	0,83	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	925,23	55,20	18,25	0,57	0,15	0,025	1,7	
Rejeito	523,30	40,23	39,89	1,28	0,22	0,030		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							62,0	68,7
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1480,37	49,09	27,12	0,83	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	917,31	54,41	19,74	0,57	0,17	0,03	1,6	
Rejeito	563,06	40,41	39,13	1,25	0,21	0,027		

OBS.: foi utilizado 20 gramas de emulsificante



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 21

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	60	xx-xx	-	-	-	-
OLEO DIESEL		40					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							67,5	63,9
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1485,16	49,73	26,89	0,82	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1002,11	47,10	31,07	0,52	0,15	0,023	0,7	
Rejeito	483,05	55,19	18,21	1,44	0,23	0,035		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							66,8	63,7
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1484,11	49,42	27,26	0,82	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	990,92	47,15	30,91	0,54	0,16	0,024	0,8	
Rejeito	493,19	53,99	19,93	1,38	0,23	0,032		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							65,5	61,2
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1480,95	49,34	27,35	0,84	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	970,07	46,10	32,41	0,54	0,15	0,023	0,7	
Rejeito	510,88	55,50	17,73	1,41	0,24	0,034		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							66,6	62,9
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1483,41	49,49	27,17	0,83	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	987,70	46,78	31,46	0,53	0,15	0,023	0,7	
Rejeito	495,71	54,89	18,62	1,41	0,23	0,034		

OBS.: foi utilizado 20 gramas de emulsificante

Anexo VI – Seleção do óleo apolar e da
proporção de substituição da amina



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 22

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA 100%	Clariant	100	xx-xx	-	-	-	-
		0					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cubra (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							55,0	75,8
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1489,62	49,53	27,61	0,65	0,17	0,024	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	819,02	68,31	0,73	0,47	0,20	0,030	14,6	
Rejeito	670,60	26,60	60,43	0,88	0,14	0,016		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							54,4	72,6
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1483,12	51,30	25,10	0,64	0,18	0,025	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	807,12	68,46	0,58	0,47	0,20	0,031	14,4	
Rejeito	676,00	30,81	54,38	0,84	0,15	0,017		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							54,8	74,5
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1451,81	50,28	26,54	0,65	0,18	0,024	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	795,10	68,40	0,64	0,51	0,21	0,032	14,8	
Rejeito	656,71	28,34	57,90	0,81	0,14	0,015		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							54,7	74,3
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1474,85	50,37	26,42	0,65	0,18	0,024	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	807,08	68,39	0,65	0,48	0,20	0,031	14,6	
Rejeito	667,77	28,58	57,57	0,84	0,14	0,016		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 23

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
Querosene 20%		20					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cubta (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							58,0	77,0
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1454,28	48,44	27,47	0,72	0,17	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	843,04	64,32	4,82	0,56	0,20	0,033	5,4	
Rejeito	611,24	26,54	58,72	0,93	0,14	0,018		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							56,4	76,9
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1428,73	47,79	28,63	0,72	0,18	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	805,74	65,16	3,65	0,56	0,21	0,034	6,6	
Rejeito	622,99	25,32	60,94	0,92	0,13	0,016		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							56,2	76,9
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1469,85	47,61	28,81	0,72	0,17	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	825,98	65,18	3,62	0,56	0,20	0,034	6,6	
Rejeito	643,87	25,06	61,13	0,92	0,13	0,016		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							56,9	76,9
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1450,95	47,95	28,29	0,72	0,17	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	824,92	64,89	4,03	0,56	0,20	0,034	6,2	
Rejeito	626,03	25,64	60,26	0,92	0,13	0,017		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 24

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	60	xx-xx	-	-	-	-
Querosene 40%		40					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cubta (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							61,0	79,4
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1472,67	48,33	27,75	0,74	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	898,76	62,89	6,65	0,63	0,21	0,034	4,7	
Rejeito	573,91	25,53	60,79	0,92	0,13	0,017		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							63,0	82,7
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1455,60	48,69	27,20	0,72	0,17	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	917,12	63,89	5,35	0,60	0,20	0,033	5,8	
Rejeito	538,48	22,80	64,41	0,93	0,11	0,016		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							62,7	83,0
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1450,91	48,10	27,95	0,74	0,17	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	910,07	63,68	5,49	0,62	0,21	0,034	5,9	
Rejeito	540,84	21,89	65,74	0,94	0,11	0,015		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							62,2	81,7
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1459,73	48,36	27,66	0,73	0,17	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	908,65	63,49	5,83	0,62	0,21	0,034	5,4	
Rejeito	551,08	23,41	63,65	0,93	0,12	0,016		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 25

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	60	xx-xx	-	-	-	-
OLEO DIESEL 40%		40					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cubta (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							61,3	82,9
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1501,43	49,36	27,40	0,72	0,17	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	920,56	66,70	2,55	0,58	0,21	0,034	8,9	
Rejeito	580,87	21,87	66,78	0,94	0,11	0,014		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							63,4	84,9
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1473,85	49,26	27,73	0,72	0,17	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	935,05	65,92	3,94	0,59	0,21	0,033	7,5	
Rejeito	538,80	20,35	69,01	0,94	0,11	0,013		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							60,7	82,1
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1495,04	48,50	27,78	0,67	0,16	0,025	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	907,61	65,59	2,63	0,53	0,20	0,032	8,7	
Rejeito	587,43	22,10	66,65	0,89	0,11	0,013		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							61,8	83,3
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1490,11	49,03	27,65	0,70	0,17	0,025	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	921,07	66,07	3,04	0,57	0,21	0,033	8,3	
Rejeito	569,03	21,44	67,48	0,92	0,11	0,013		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 26

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
LCI 100 20%		20					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cubra (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							63,5	84,1
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1467,47	48,96	28,16	0,72	0,17	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	931,24	64,85	5,48	0,58	0,21	0,033	6,1	
Rejeito	536,23	21,37	67,55	0,96	0,11	0,014		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							65,8	85,8
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1509,07	49,31	27,62	0,79	0,18	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	992,55	64,30	6,45	0,59	0,21	0,033	5,8	
Rejeito	516,52	20,50	68,29	1,18	0,11	0,013		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							62,8	84,0
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1490,90	49,13	27,62	0,71	0,17	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	935,56	65,76	3,93	0,58	0,21	0,033	7,3	
Rejeito	555,34	21,11	67,54	0,94	0,11	0,014		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							64,0	84,6
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1489,15	49,14	27,79	0,74	0,17	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	953,12	64,97	5,29	0,58	0,21	0,033	6,3	
Rejeito	536,03	20,99	67,79	1,03	0,11	0,014		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 27

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	60	xx-xx	-	-	-	-
LCI 100 40%		40					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cubra (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							78,1	92,1
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1491,23	49,27	26,94	0,75	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1165,00	58,11	14,57	0,60	0,20	0,031	4,0	
Rejeito	326,23	17,72	71,10	1,28	0,11	0,013		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							78,4	90,2
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1486,57	48,13	28,60	0,76	0,17	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1165,68	55,36	18,35	0,59	0,19	0,029	3,0	
Rejeito	320,89	21,85	65,84	1,37	0,12	0,015		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							78,8	91,8
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1485,23	47,91	29,13	0,68	0,19	0,030	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1170,00	55,80	17,98	0,63	0,21	0,035	3,4	
Rejeito	315,23	18,61	70,50	0,86	0,10	0,012		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							78,4	91,4
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1487,68	48,44	28,22	0,73	0,18	0,028	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1166,89	56,42	16,97	0,61	0,20	0,032	3,4	
Rejeito	320,78	19,39	69,15	1,17	0,11	0,013		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 28

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/l de alimentação)	Dosagem Específica (g/l de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
Oleo clarificado 20 %		20					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							75,7	90,1
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1502,52	49,45	27,54	0,53	0,17	0,021	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1137,26	58,87	14,29	0,46	0,19	0,024	3,8	
Rejeito	365,26	20,13	68,78	0,74	0,10	0,011		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							78,5	91,0
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1502,79	49,08	28,10	0,59	0,17	0,023	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1179,67	56,87	16,98	0,51	0,19	0,025	3,3	
Rejeito	323,12	20,62	68,71	0,88	0,11	0,014		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							77,1	90,2
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1495,20	48,85	26,56	0,54	0,18	0,023	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1153,00	57,12	14,78	0,48	0,20	0,026	3,5	
Rejeito	342,20	21,00	66,23	0,73	0,10	0,015		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							77,1	90,4
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1500,17	49,14	27,39	0,55	0,17	0,022	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1156,64	57,62	15,35	0,48	0,19	0,025	3,5	
Rejeito	343,53	20,58	67,91	0,78	0,10	0,013		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 29

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/l de alimentação)	Dosagem Específica (g/l de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	60	xx-xx	-	-	-	-
Oleo clarificado 40 %		40					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	76,4	84,0
Alimentação (Calculada)	1495,68	50,41	26,43	0,52	0,17	0,021	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1142,32	55,46	19,17	0,43	0,17	0,022	2,1	
Rejeito	353,36	34,07	49,89	0,80	0,16	0,019		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	75,6	87,4
Alimentação (Calculada)	1446,45	49,83	27,27	0,58	0,18	0,023	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1093,11	57,61	16,24	0,52	0,19	0,026	2,9	
Rejeito	353,34	25,78	61,39	0,78	0,13	0,015		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	78,3	90,8
Alimentação (Calculada)	1491,46	48,77	29,18	0,53	0,18	0,023	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1168,23	56,53	18,23	0,48	0,20	0,026	3,2	
Rejeito	323,23	20,71	68,76	0,73	0,10	0,012		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	76,8	87,4
Alimentação (Calculada)	1477,86	49,64	27,67	0,54	0,17	0,022	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1134,55	56,53	17,88	0,48	0,19	0,025	2,7	
Rejeito	343,31	26,85	60,01	0,77	0,13	0,015		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 30

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
Solv. olefinico 20 %		20					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							64,6	82,9
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1436,28	48,55	28,86	0,73	0,18	0,029	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	928,23	62,31	9,14	0,68	0,22	0,037	4,3	
Rejeito	508,05	23,42	64,88	0,83	0,12	0,013		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							63,2	81,1
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1480,04	48,12	29,39	0,75	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	935,02	61,76	9,84	0,69	0,21	0,034	4,0	
Rejeito	545,02	24,73	62,93	0,84	0,13	0,014		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							63,3	80,8
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1337,25	49,24	27,67	0,68	0,17	0,025	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	847,05	62,83	8,45	0,61	0,20	0,032	4,2	
Rejeito	490,20	25,75	60,87	0,81	0,12	0,014		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							62,4	80,7
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1448,66	48,12	29,37	0,72	0,18	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	903,43	62,30	9,14	0,66	0,21	0,034	4,2	
Rejeito	545,23	24,63	62,89	0,83	0,12	0,014		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 31

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	60	xx-xx	-	-	-	-
Solv. olefinico 40 %		40					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cubra (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	90,3	92,2
Alimentação (Calculada)	1494,30	48,21	29,39	0,74	0,18	0,025	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1350,00	49,18	28,19	0,60	0,18	0,025	1,3	
Rejeito	144,30	39,11	40,64	2,00	0,22	0,030		

RESULTADOS ENSAIO B							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	86,8	87,8
Alimentação (Calculada)	1474,43	50,33	26,33	0,67	0,18	0,022	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1280,23	50,90	25,78	0,48	0,17	0,021	1,1	
Rejeito	194,20	46,55	29,93	1,92	0,24	0,030		

RESULTADOS ENSAIO C							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	93,7	94,6
Alimentação (Calculada)	1354,63	48,84	28,15	0,57	0,18	0,023	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1269,23	49,31	27,62	0,48	0,18	0,022	1,2	
Rejeito	85,40	41,86	36,01	1,88	0,23	0,031		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C							Recuperações	
Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Mássica	Metálica
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P		
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021	90,2	91,5
Alimentação (Calculada)	1441,12	49,08	28,01	0,66	0,18	0,023	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	1299,82	49,80	27,20	0,52	0,18	0,023	1,2	
Rejeito	141,30	42,51	35,53	1,93	0,23	0,030		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 32

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
OLEO A1 20%		20					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cubta (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							42,5	57,2
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1460,81	49,58	27,57	0,64	0,17	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	620,42	66,72	2,83	0,66	0,24	0,042	5,4	
Rejeito	840,39	36,93	45,83	0,62	0,11	0,016		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							38,5	52,8
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1488,97	48,80	28,50	0,63	0,16	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	573,95	66,89	1,98	0,67	0,25	0,044	6,4	
Rejeito	915,02	37,46	45,14	0,61	0,10	0,016		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							36,8	50,5
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1445,71	48,81	28,48	0,62	0,16	0,026	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	532,17	66,92	2,08	0,67	0,26	0,044	6,1	
Rejeito	913,54	38,26	43,86	0,59	0,10	0,016		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							39,3	53,5
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1465,16	49,06	28,19	0,63	0,16	0,027	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	575,51	66,84	2,30	0,67	0,25	0,04	5,9	
Rejeito	889,65	37,55	44,94	0,61	0,10	0,016		



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 33

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (glt de alimentação)	Dosagem Específica (glt de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	60	xx-xx	-	-	-	-
OLEO A1 40%		40					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							53,1	70,8
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1424,50	49,35	26,74	0,54	0,17	0,022	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	757,07	65,77	3,44	0,44	0,20	0,029	5,8	
Rejeito	667,43	30,73	53,18	0,66	0,14	0,015		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							52,7	70,5
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1450,29	49,68	26,49	0,53	0,17	0,023	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	764,47	66,44	3,12	0,49	0,21	0,031	6,0	
Rejeito	685,82	30,99	52,55	0,58	0,13	0,014		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							48,9	65,7
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1484,21	49,21	27,27	0,54	0,17	0,022	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	725,24	66,15	2,70	0,48	0,22	0,031	6,1	
Rejeito	758,97	33,02	50,74	0,60	0,13	0,014		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							51,5	69,0
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1453,00	49,38	26,86	0,54	0,17	0,023	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	748,93	66,12	3,09	0,47	0,21	0,03	5,9	
Rejeito	704,07	31,58	52,16	0,61	0,13	0,014		

Anexo VII – Seleção do método de preparação
da emulsão.



CSN - Companhia Siderúrgica Nacional - Mineração Casa de Pedra
CPT - Coordenação de Pesquisa Tecnológica - Laboratório Físico & Químico

EXPERIMENTOS

Parâmetros do ensaio - 34

REAGENTES		Porcentagem dos reagentes na solução	Dosagem Real (g/l de alimentação)	Dosagem Específica (g/l de sílica alimentada)	Dosagem Volumétrica (ml)	Concentração (%)	Tempo de Condicionamento (min)
DEPRESSOR	Gritz	100	600	-	90,0	1	5
COLETOR		100	55	-	8,3	1	1
AMINA	Clariant	80	xx-xx	-	-	-	-
OLEO DIESEL		20					-
pH do ensaio	Velocidade de rotação da célula (rpm)	% sólidos (em peso) condicionamento e flotação	Volume da Cuba (l)	Tempo de coleta (min)	Massa utilizada nos ensaio (g)		
10,7	1200	60/40	3,5	5	1500		

RESULTADOS ENSAIO A

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							52,0	71,5
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1442,59	49,05	27,73	0,58	0,19	0,025	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	750,23	67,43	1,40	0,51	0,24	0,035	9,6	
Rejeito	692,36	29,14	56,26	0,65	0,13	0,014		

RESULTADOS ENSAIO B

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							51,1	70,9
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1472,37	49,11	27,89	0,48	0,18	0,023	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	752,12	68,15	1,04	0,42	0,22	0,032	11,2	
Rejeito	720,25	29,23	55,92	0,55	0,13	0,014		

RESULTADOS ENSAIO C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							50,0	67,0
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1503,96	50,73	25,61	0,53	0,08	0,007	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	751,73	68,02	1,29	0,45	0,03		8,9	
Rejeito	752,23	33,45	49,91	0,60	0,13	0,014		

RESULTADOS MÉDIA ARITIMÉTICA ENSAIO A +B+C

Produtos	Massa(g)	Composição Química (%)					Recuperações	
		Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	Mássica	Metálica
							51,0	69,8
Alimentação (Analisada)	1500,00	49,07	28,51	0,60	0,16	0,021		
Alimentação (Calculada)	1472,97	49,61	27,10	0,53	0,15	0,018	Seletividade "Gaudin"	
Concentrado	751,36	67,87	1,24	0,46	0,16	0,02	9,8	
Rejeito	721,61	30,61	54,03	0,60	0,13	0,014		

OBS.: foi utilizado 5 % de emulsificante em relação ao óleo diesel e agitado no ultrason