

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de  
Materiais-PPGE3M

ESTUDO DE FLOTAÇÃO CONVENCIONAL EM BANCADA DO LODO DA  
CARBONÍFERA CRICIÚMA

Gorki Brandt González Dávila

Dissertação para obtenção do título de Mestre  
em Engenharia

Porto Alegre  
2013

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de  
Materiais-PPGE3M

FLOTAÇÃO CONVENCIONAL EM BANCADA DO LODO DO REJEITO DA  
CARBONÍFERA CRICIÚMA

Gorki Brandt González Dávila  
Engenheiro de Minas

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Metalurgia extrativa.

Porto Alegre  
2013

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Metalurgia extrativa, e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Pós-Graduação.

Orientador: Prof. Dr. Ing. Carlos Hoffmann Sampaio

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rubens Müller Kautzmann – UNILASALLE/RS

Prof. Dr. Régis Sebben Paranhos – UNIPAMPA/RS

Prof. Dr. Irineu Antonio Schadach de Brum – UFRGS/RS

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker  
Coordenador do PPGE3M

Porto Alegre, Agosto de 2013

A mi Padre,  
Gorki González Aguas  
*In memoriam*  
1934 - 2012

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Dr. Carlos Hoffmann Sampaio por me aceitar como aluno de mestrado, pelas condições de trabalho, disponibilizando recursos tecnológicos e uso do Laboratório de Processamento Mineral, pela amizade e apoio recebido nestes últimos dois anos.

Ao Professor Dr. Irineu A. S. de Brum por sua orientação que em muito auxiliaram na culminação deste estudo, além de sua amizade e apoio nestes últimos anos.

Ao Dr. Carlos Otavio Petter por sua inestimável amizade.

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.

Ao Dr. Gerson Luis Miltzarek, à Dra. Gelsa Edith Navarro, à Dra. Alejandra Liendo, à Dra. Karime Ferreira de Souza, ao Doutorando. Ítalo Gonçalves pela ajuda incondicional na culminação deste trabalho e pela sua amizade demonstrada ao longo destes dois anos.

À minha colega e amiga Dafne Quintas Waszak, por termos caminhado juntos desde o início desta empreitada, muito obrigado.

À empresa Carbonífera Criciúma pela disponibilidade do material para a realização deste estudo. Em especial ao Eng. de Minas Carlos Henrique Schneider.

A todos os colegas do LAPROM que de uma ou outra forma colaboraram para o desenvolvimento e sucesso deste trabalho, em especial aos bolsistas de Iniciação Científica: Amanda, Anna, Jeremias, Felipe e Adam pelos valiosos auxílios no decorrer da pesquisa.

“A todos mis familiares por haberme dado el apoyo necesario en todos estos años de ausência.”

“E você aprende que realmente pode suportar...  
que realmente é forte, e que pode ir muito mais longe  
depois de pensar que não se pode mais. E que realmente  
a vida tem valor e que você tem valor diante da vida.”

William Shakespeare

**SUMÁRIO**

LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS .....	XIV
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XVI
LISTA DE ABREVIATURAS .....	XVII
RESUMO.....	XVIII
ABSTRACT .....	XIX
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVO.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1 Carvão mineral .....	4
3.2 Contexto mundial do carvão .....	6
3.3 Mineração do carvão no Brasil .....	7
3.3.1 Carbonífera Criciúma .....	8
3.3.2 Mineração .....	10
3.3.3 Produtos comercializáveis da Carbonífera Criciúma.....	12
3.4 Flotação .....	13
3.4.1 Considerações.....	13
3.4.2 Conceitos básicos.....	13
3.4.3 Influência do Tamanho da Partícula .....	16
3.4.4 Reagentes .....	17
3.4.4.1 Coletor.....	18
3.4.4.2 Espumante .....	18

3.4.5	Finos na Flotação .....	19
3.4.6	Mecanismos atuantes na flotação do carvão.....	21
3.4.7	Cinética da flotação do carvão.....	22
3.4.8	Particularidades da flotação do carvão .....	23
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	24
4.1	Equipamentos .....	24
4.2	Fluxograma do método de pesquisa .....	25
4.3	Material de ensaios .....	26
4.4	Quarteamento da Polpa .....	27
4.5	Preparação da amostra .....	28
4.6	Análise Granulométrica .....	28
4.7	Primeira fase dos ensaios exploratórios preliminares de flotação .....	30
4.8	Parâmetros operacionais do ensaio de flotação.....	31
4.9	Metodologia para os ensaios de flotação .....	32
4.10	Ensaio específicos de flotação .....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
5.1	Análise granulométrica e análise imediata do lodo da Carbonífera Criciúma.....	35
5.2	Ensaio preliminares de flotação.....	38
5.3	Ensaio específicos de flotação – Fase II .....	44
5.3.1	Ensaio de flotação mantendo fixo o espumante .....	45
5.3.1.1	Querosene – (MIBC fixo em 400 g/t).....	45
5.3.1.2	Óleo Diesel – (MIBC com 400 g/t).....	49
5.3.1.3	Lilafлот – (MIBC com 400 g/t).....	53
5.3.1.4	Lilafлот sem espumante .....	56



5.3.2 Ensaio específicos de flotação mantendo fixo o coletor- fase III...	59
5.3.2.1 Querosene fixo, variando a dosagem do Espumante MIBC.....	60
5.3.2.2 Óleo Diesel, variando a dosagem do Espumante MIBC .....	64
5.3.2.3 Lilafлот, variando MIBC .....	69
5.3.3 Óleo Diesel & MIBC com amostra deslamada.....	72
6 CONCLUSÕES .....	77
REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79
ADENDO A: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO QUEROSENE-MIBC.....	83
ADENDO B: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO ÓLEO DIESEL-MIBC.....	87
ADENDO C: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO LILAFLOT- MIBC.....	91
ADENDO D: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO - LILAFLOT.....	95
ADENDO E: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO - QUEROSENE 4000 g/t - MIBC .....	99
ADENDO F: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO ÓLEO DIESEL 4000 g/t - MIBC .....	102
ADENDO G: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO LILAFLOT 2000 g/t – MIBC .....	105
ADENDO H: TABELAS DOS ENSAIOS DE FLOTAÇÃO EM BANCADA .....	108
ADENDO – I: FOTOGRAFIAS .....	123

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tipos de carvão, reservas mundiais e usos.....	5
<b>Figura 2.</b> Localização das principais jazidas de Carvão - RS e SC.....	8
<b>Figura 3.</b> Localização da Bacia carbonífera de Santa Catarina e da Unidade Minera II- Verdinho (Forquilha).....	9
<b>Figura 4.</b> Fluxograma do circuito de finos de carvão da UM II - Verdinho .....	11
<b>Figura 5.</b> Diagrama dos Produtos de Mineração na UM II - Verdinho. ....	12
<b>Figura 6.</b> Ilustração de interações moleculares. ....	14
<b>Figura 7.</b> Representação das regiões granulométricas. ....	17
<b>Figura 8.</b> Partículas finas acompanhando as linhas de fluxo do líquido. ....	20
<b>Figura 9.</b> Cinética de flotação .....	23
<b>Figura 10.</b> Fluxograma de pesquisa. ....	25
<b>Figura 11.</b> Quarteador Jones.....	28
<b>Figura 12.</b> Filtro de pressão.....	29
<b>Figura 13.</b> Máquina de flotação CDC, de bancada.....	31
<b>Figura 14.</b> Curva granulométrica e teor de cinzas ponderado para cada fração granulométrica da amostra do lodo da Carbonífera Criciúma. ....	36
<b>Figura 15.</b> Ensaios preliminares de flotação, usando lilafлот sem adição de outro reagente no intervalo de 1000 g/t a 6000 g/t num tempo de 1 a 6 minutos.....	39
<b>Figura 16.</b> Ensaios preliminares usando Lilafлот como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e óleo de pinho como espumante nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos.....	40
<b>Figura 17.</b> Ensaios preliminares usando lilafлот como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e MIBC como espumante nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos. ....	41

<b>Figura 18.</b> Ensaio preliminares usando óleo diesel como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e óleo de pinho como espumante nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos.....	42
<b>Figura 19.</b> Ensaio preliminares usando óleo diesel como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e MIBC como espumante nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos.....	42
<b>Figura 20.</b> Ensaio preliminares usando querosene como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e óleo de pinho como espumante nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos.....	43
<b>Figura 21.</b> Ensaio preliminares usando querosene como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e MIBC como espumante nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos.....	44
<b>Figura 22.</b> Ensaio específico de flotação fase II - Recuperação mássica Querosene – MIBC (400 g/t). .....	46
<b>Figura 23.</b> Ensaio específico de flotação fase II: Teor de Cinzas, Querosene – MIBC (400 g/t).....	47
<b>Figura 24.</b> Ensaio específico de flotação: Recuperação Orgânica, Querosene – MIBC (400 g/t).....	47
<b>Figura 25.</b> Ensaio específicos de flotação fase II: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 3 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do coletor (querosene) e mantendo fixo o espumante (MIBC) em 400 g/t. ....	48
<b>Figura 26.</b> Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação mássica, Óleo Diesel – MIBC (400 g/t).....	49
<b>Figura 27.</b> . Ensaio específico de flotação fase II: Teor de Cinzas, Óleo Diesel – MIBC (400 g/t).....	50
<b>Figura 28.</b> Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação Orgânica, Óleo Diesel – MIBC (400 g/t).....	51
<b>Figura 29.</b> Ensaio específicos de flotação fase II: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 3 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do coletor (óleo diesel) e mantendo fixo o espumante (MIBC) em 400 g/t .....	52
<b>Figura 30.</b> Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação mássica, Lilaflo-MIBC em função do tempo.....	53

- Figura 31.** Ensaio específico de flotação fase II: Teor de Cinzas, lilafлот-MIBC em função do tempo.....54
- Figura 32.** Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação orgânica, lilafлот-MIBC em função do tempo.....54
- Figura 33.** Ensaio específicos de flotação fase II: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 3 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do coletor (lilafлот) e mantendo fixo o espumante (MIBC) em 400 g/t .....56
- Figura 34.** Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação mássica - Lilafлот sem espumante.....57
- Figura35.** Ensaio específico de flotação fase II: Teor de Cinzas – Lilafлот sem espumante.....57
- Figura 36.** Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação orgânica – Lilafлот sem espumante.....57
- Figura 37.** Ensaio específicos de flotação fase II: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 3 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do coletor (lilafлот) sem adição de espumante. ....59
- Figura 38.** Ensaio específico de flotação fase III: Recuperação mássica, variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (Querosene) em 4.000 g/t. ....60
- Figura 39.** Ensaio específico de flotação fase III: Teor de cinzas, variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (Querosene) em 4.000 g/t. ....61
- Figura 40.** . Ensaio específico de flotação fase III: Recuperação orgânica, variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (querosene) em 4.000 g/t. ....62
- Figura 41.** Ensaio específicos de flotação fase III: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 4 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (querosene) em 4000 g/t. ....63
- Figura 42.** Ensaio específicos de flotação fase III: Recuperação mássica - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (óleo diesel) em 4.000 g/t. ....64

- Figura 43.** Ensaio específicos de flotação fase III: Teor de cinzas - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (óleo diesel) em 4.000 g/t. ....65
- Figura 44.** Ensaio específicos de flotação fase III: Recuperação orgânica - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (óleo diesel) em 4.000 g/t. ....65
- Figura 45.** Ensaio específicos de flotação fase III: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 4 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (óleo diesel) em 4000 g/t. ....66
- Figura. 46.** Fotografias realizadas com o microscópio digital VHX-2000 mostram os diferentes concentrados obtidos no processo de flotação para a combinação óleo diesel & MIBC nas concentrações de 4000 g/t e 400 g/t respectivamente.....68
- Figura 47.** Ensaio específicos de flotação fase III: Recuperação mássica - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (lilafлот) em 2.000 g/t. .69
- Figura 48.** Ensaio específicos de flotação fase III: Teor de cinzas - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (lilafлот) em 2.000 g/t. ....70
- Figura 49.** Ensaio específicos de flotação fase III: Recuperação orgânica - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (lilafлот) em 2.000 g/t. .71
- Figura 50.** Ensaio específicos de flotação fase III: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 4 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (lilafлот) em 2000 g/t. ....72
- Figura 51.** Fase IV dos ensaios específicos de flotação com óleo diesel 4.000 g/t e MIBC 400 g/t - deslamado.....74
- Figura. 52.** Fotografias realizadas com o microscópio digital VHX-2000 onde mostram os diferentes concentrados obtidos no processo de flotação para a combinação óleo diesel & MIBC deslamado, nas concentrações de 4000 g/t e 400 g/t respectivamente. ....76

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> Série de peneiras utilizada na análise granulométrica .....	29
<b>Tabela 2.</b> Concentração de coletor e espumante em função do tempo de acondicionamento .....	32
<b>Tabela 3.</b> Distribuição granulométrica e análise imediata da amostra do lodo da Carbonífera Criciúma .....	35
<b>Tabela 4.</b> Análise imediata do lodo da Carbonífera Criciúma. ....	36
<b>Tabela 5.</b> Componentes da Cinza e elementos traços da amostra do lodo da carbonífera Críciúma .....	37
<b>Tabela 6.</b> Valores acumulados no oitavo minuto, em função do incremento do coletor Querosene, mantendo fixo o espumante (MIBC) em 400 g/t. ....	48
<b>Tabela 7.</b> Recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas em função do coletor Óleo Diesel e MIBC (400 g/t). ....	51
<b>Tabela 8.</b> Recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas em função do coletor lilafлот e MIBC (400g/t). ....	55
<b>Tabela 9.</b> Recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, em função do coletor lilafлот para oito minutos de flotação. ....	58
<b>Tabela 10.</b> Recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, em função do espumante MIBC com querosene (4000 g/t) para oito minutos de flotação. ....	62
<b>Tabela 11.</b> Ensaio específico de flotação fase III, recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, em função da variação do espumante MIBC com óleo diesel (4000 g/t) para oito minutos de flotação. ....	66
<b>Tabela 12.</b> Análise elementar dos diferentes produtos da flotação da combinação óleo diesel (4000g/t) e MIBC (400 g/t).....	67
<b>Tabela 13.</b> Ensaio específico de flotação fase III. Recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, variando o espumante MIBC com lilafлот (2000 g/t) para oito minutos de flotação. ....	71
<b>Tabela 14.</b> Análise imediata da amostra da alimentação do lodo deslamado.....	73

<b>Tabela 15.</b> Análise elementar dos concentrados, alimentação e rejeito produto da flotação da amostra do lodo deslamado.....	74
---	----

**LISTA DE SÍMBOLOS**

#	<i>mesh</i>
%	Porcentagem
°C	graus centígrados
μm	micrômetro
cal/g	caloria por grama
Cp/p	concentração de sólidos em peso
g	grama
g/cm <sup>3</sup>	grama por centímetro cúbico
g/t	gramas por tonelada
kg	quilograma
lpm	litro por minuto
mm	milímetro
pH	potencial hidrogênio
t	tonelada
t/ano	tonelada ano
t/h	tonelada por hora



**LISTA DE ABREVIATURAS**

A	massa de alimentação
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Cz	teor de Cinzas
Dos. Col.	Dosagem do coletor
LAPROM	Laboratório de Processamento Mineral
Mconc.	massa do concentrado
MIBC	metil-isobutil-carbinol
NBR	Norma Brasileira
PCS	poder Calorífico Superior
R	rejeito
Rec. Mass. Acum.	recuperação mássica acumulada
Rec. Org.Acum.	recuperação orgânica acumulada
Rec. V. Cz.	recuperação verdadeira de cinzas
ROM	<i>Run of Mine</i>
RPM	rotação por minuto
S	teor de Enxofre Total
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## RESUMO

A amostra utilizada para este estudo faz parte do material depositado na barragem de rejeitos da mina de carvão da “Carbonífera Criciúma”, localizada na região sul do país (Santa Catarina). Usualmente os finos de carvão junto com a parte mineral, provenientes do processo de beneficiamento são denominados de “lodo” e são descartados como rejeitos, depositados na bacia de decantação. A recuperação dos finos de carvão provenientes do lodo pode propiciar a obtenção de um concentrado que poderia ser aproveitado como combustível na geração de energia elétrica. Também pode contribuir como fator de diminuição do impacto ambiental, minimizando a formação da drenagem ácida de minas (DAM), gerada pelo conteúdo de enxofre contido no material em estudo, além de reduzir o espaço físico ocupado pela barragem de rejeito. Entre os métodos de beneficiamento de carvão, a flotação se destaca como um dos mais importantes para concentração desse lodo, em particular no tratamento de partículas finas. Para caracterizar o lodo, fez-se um estudo de análise granulométrica, que permite definir que estamos trabalhando com um material fino uma vez que 83,0% é menor que 0,710 mm. Concomitantemente realizaram-se análises elementares e análises imediatas, seguindo as normas Brasileiras. NBR 8293, NBR 8289, NBR 8290, NBR 8299. Os resultados mostraram que, a partir da alimentação com cerca de 63% de cinzas, foi possível obter concentrados com teores de cinzas de aproximadamente de 30%, com recuperações mássicas de cerca de 40%, demonstrando que é possível a recuperação da matéria orgânica, a partir do lodo por flotação convencional.

*Palavras-Chave:* Flotação de minérios. Carvão mineral. Beneficiamento de carvão. Rejeitos de carvão.

## ABSTRACT

The sample used for this study is part of the material deposited in the tailings dam of the coal mine "Carbonífera Criciúma" located in the southern region (Santa Catarina). Usually the coal fines along with the mineral part, from the beneficiation process are called "sludge" and are discarded as waste, and deposited in the tailings pond. The recovery of coal fines can facilitate the obtainment of a concentrate that could be used as fuel in power generation. It can also contribute as a factor of environmental impact reduction by minimizing the formation of acid mine drainage (AMD), generated by the sulfur contained in the material under study, in addition to reducing the physical space occupied by the tailings dam. Among the methods coal beneficiation, flotation stands out as one of the most important concentration of the ore, particularly in the treatment of fine particles. To characterize the material, we need to do a particle size analysis's study, it will allow us to define that we are dealing with a 83,0% thin material, thinner than 0,710 mm. Simultaneously we will do elemental analyzes and spot analysis, following the Brazilian standard. NBR 8293, NBR 8289, NBR 8290, NBR 8299. The results showed that, from a supply with about 63% ash concentration, were obtained around 30% of ash and about 40% of carbonaceous mass recoveries. This demonstrates that it is possible to recover organic matter from the tailing by conventional flotation.

*Key words: Froth flotation. Coal. Coal preparation. Coal tailings.*

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui grandes reservas de carvão (em torno de 30 bilhões de toneladas), 90% localizadas predominantemente no sul do país. No ano de 2011, a produção beneficiada no Brasil foi de 5,96 Mt. Apesar da relativa facilidade de exploração, esse recurso tem sido subestimado como uma importante fonte de energia.

No estado do Rio Grande do Sul cerca de 30% da energia é gerada através de usinas termelétricas usando como combustível o carvão, e em Santa Catarina cerca de 25%. Neste sistema a grande maioria do carvão é beneficiado por métodos gravimétricos, onde o material particulado fino é perdido e descartado, sendo depositado em barragens de rejeitos.

Nos últimos anos o planejamento do país tem buscado minimizar a diferença na utilização entre carvão mineral e recursos tradicionalmente usados na matriz energética brasileira. Nesse cenário, o processamento de carvão brasileiro por flotação aparece como uma alternativa promissora, tendo sido um processo bem sucedido em diversos sistemas minerais contendo partículas finas. O método de flotação explora as diferenças nas características interfaciais entre as diferentes espécies de minerais presentes.

Este processo tem sido muito estudado ao longo do tempo, e por vários pesquisadores. Baseados em décadas de estudo, diferentes unidades têm sido desenvolvidas para otimização e controle do processo. Uma das principais inovações tem sido incrementar a eficiência do processo de flotação e o uso de novos reagentes.

A recuperação de matéria carbonosa propiciaria a obtenção de um produto que poderia ser blendado e usado como combustível na geração de energia elétrica. Também pode contribuir como um fator de diminuição do impacto ambiental, minimizando a formação da drenagem ácida de minas (DAM), gerada pelo conteúdo de enxofre. Além de diminuir o espaço físico ocupado pela barragem de rejeitos.

Um dos objetivos deste estudo é analisar o processo de flotação para um tipo específico de material carbonoso, obtido a partir de rejeitos do beneficiamento de carvão mineral brasileiro. O material utilizado neste estudo é composto de rejeitos finos que normalmente são direcionados à bacia de decantação e logo depositados em barragem de rejeitos de carvão. O objetivo é recuperar a matéria carbonosa e reduzir o nível de poluentes e cinzas. As variáveis analisadas foram as dosagens de coletores e espumantes empregados, cinética de flotação, caracterização da amostra, análises imediatas e elementares, segundo as normas Brasileiras (NBR).

Os resultados mostraram que é possível, a partir de um fluxo de alimentação com teor de cinzas de cerca de 63% obter produtos com aproximadamente 30% de cinzas e recuperações mássicas de cerca de 40%.

Os tipos de reagentes (coletores e espumantes) empregados, com dosagens no intervalo de 1000 g/t a 6000 g/t para coletores e 100 g/t a 600 g/t para espumantes, resultaram em diferentes concentrados.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho é avaliar a performance do processo de flotação, adequação das combinações de reagentes para a recuperação da fração carbonosa contida em lodos de barragem de rejeitos, provenientes do beneficiamento convencional de carvão mineral para obter um produto baseado na avaliação de setores da indústria mineral de carvão no sul do Brasil, objetivando um teor de cinzas de 35% e 40% de recuperação mássica.

### **2.2 Objetivos específicos**

- a) Caracterização do lodo;
- b) Estudo primário de flotação para desenvolvimento das combinações de reagentes com melhor desempenho;
- c) Ensaio de flotação dirigidos à otimização da combinação de reagentes que apresentem a melhor relação de recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Carvão mineral

O carvão mineral foi uma das primeiras fontes de energia utilizadas em larga escala pelo homem.

O carvão é uma mistura de componentes orgânicos sólidos complexos, fossilizados ao longo de milhões de anos. Originam-se de vegetais superiores e de resíduos vegetais terrestres tropicais e subtropicais, cujas deposições ao longo do tempo geológico sofreram diagênese e compactação na bacia sedimentar, e transformações devidas a pressões e a temperaturas especialmente durante os períodos Carbonífero e Permiano, concentrando carbono e hidrogênio em rochas estratificadas. Estes depósitos originais evoluem para a formação da matéria orgânica que resultará em carvão mineral, após milhões de anos (Stach's *et. al.*, 1975, Laskowski, 2010).

Na formação dos carvões, em seu primeiro estágio evolutivo, é observada a formação das turfas, em pântanos e planícies costeiras. A elevação do nível das águas do mar ou o rebaixamento da terra provocaram o afundamento dessas camadas sob sedimentos marinhos, cujo peso comprimiu a turfa, transformando-a, sob elevadas temperaturas, em carvão.

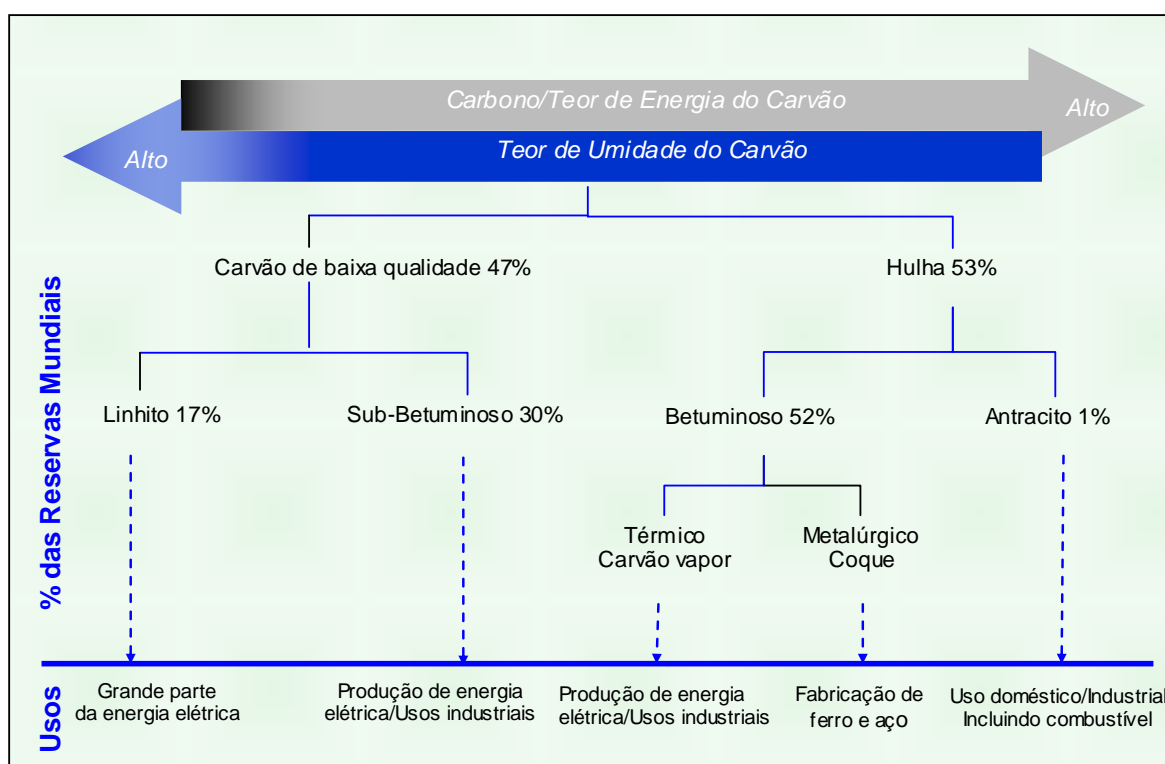
Os principais minerais encontrados no carvão em concentrações variadas são os argilominerais, carbonatos, sulfetos e quartzo, entre outros. Entre os elementos constituintes do carvão se destacam Si, Al, Fe, Mg, Na, K, S, Cl, em concentrações acima de 1000 mg Kg<sup>-1</sup> e, secundariamente, os elementos traços com concentrações inferiores a 100 mg Kg<sup>-1</sup> (Saxby, 2000).

Independente de sua origem ou tipo o carvão pode ser classificado em forma crescente de conteúdo de carbono fixo (55% a 95%), livre ou combinado, cuja proporção aumenta à medida que a rocha se forma. Em presença do ar são diretamente combustíveis, as cinzas resultantes da combustão são constituídas predominantemente de sílica e de alumínio.

O carvão mineral pode ser classificado da seguinte forma:

- Linhito, que se desgasta rapidamente, pode incendiar-se espontaneamente, e tem baixo valor calorífico;
- Sub-betuminoso, utilizado principalmente em usinas termelétricas para geração de energia elétrica;
- Betuminoso, o tipo mais comum de carvão e que, transformado frequentemente em coque tem amplo emprego industrial;
- Antracito é um carvão lustroso, de combustão lenta, excelente para uso doméstico.

A seguir mostra-se o esquema da figura 1, onde ilustram-se os estágios do processo de carbonificação, o tipo de carvão, reservas mundiais e principais usos.



**Figura 1.** Tipos de carvão, reservas mundiais e usos.

Fonte: ANEEL, 2008.



Os conhecimentos petrográficos, segundo Gomes (2002), acumulados pelas equipes da CIENTEC e da UFRGS sobre os carvões brasileiros identificam-no como carvões húmicos, oriundos de material lenho-celulósico (vegetais superiores), ou seja, os macerais do grupo da vitrinita são predominantes. Entretanto, são identificados conteúdos importantes de macerais do grupo da inertinita, entre 20% e 30% na maioria das amostras, mas ultrapassando os 50% em alguns casos. Os macerais do grupo da liptinita são minoritários. Estas características identificam os carvões gondwânicos.

### **3.2 Contexto mundial do carvão**

A civilização moderna não pode existir sem fontes de energia. O carvão tem-se constituído em uma importante fonte energética, o crescimento da população e o desenvolvimento da tecnologia tem permitido seu incremento e uso na matriz energética mundial. De acordo com a World Coal Association-WCA (2011), o carvão é responsável por cerca de 30,3% de todo o consumo mundial de energia primária e de 42% de toda a energia elétrica gerada. O consumo mundial de carvão alcança os 7,783 bilhões de toneladas segundo a International Energy Agency-IEA (2011).

Atualmente, a principal aplicação do carvão mineral no mundo é a geração de energia elétrica por meio de usinas termelétricas. Em segundo lugar vem a aplicação industrial para a geração de calor (energia térmica), necessária para os processos de produção, tais como secagem de produtos, cerâmicas e fabricação de vidros, etc.

Para assegurar a preservação do carvão na matriz energética mundial, atendendo às metas ambientais, atualmente pesquisas envolvendo processos tecnológicos que permitam um maior aproveitamento do poder calorífico do carvão (como a gaseificação), vem sendo desenvolvidas no mercado internacional. No entanto, o método tradicional, de queima para produção do vapor, continua sendo o mais utilizado.

Atualmente o maior produtor e consumidor mundial de carvão é a China que, em 2011, produziu 3.576 milhões de toneladas, enquanto levado pelo desenvolvimento econômico tornou-se a maior consumidora de minério importando 177 Mt, segundo IEA (2011).

### **3.3 Mineração do carvão no Brasil**

No Brasil duas formas de mineração são empregadas pelas empresas carboníferas: a lavra a céu aberto e a subterrânea, de acordo com a formação geológica do depósito.

A lavra a céu aberto é adotada onde os depósitos estão mais próximos à superfície. É feita em tiras (*striping mining*), após a retirada da cobertura do solo. Para seu desenvolvimento a lavra exige equipamentos adequados, como escavadeiras, pás mecânicas, caminhões, tratores e esteiras transportadoras.

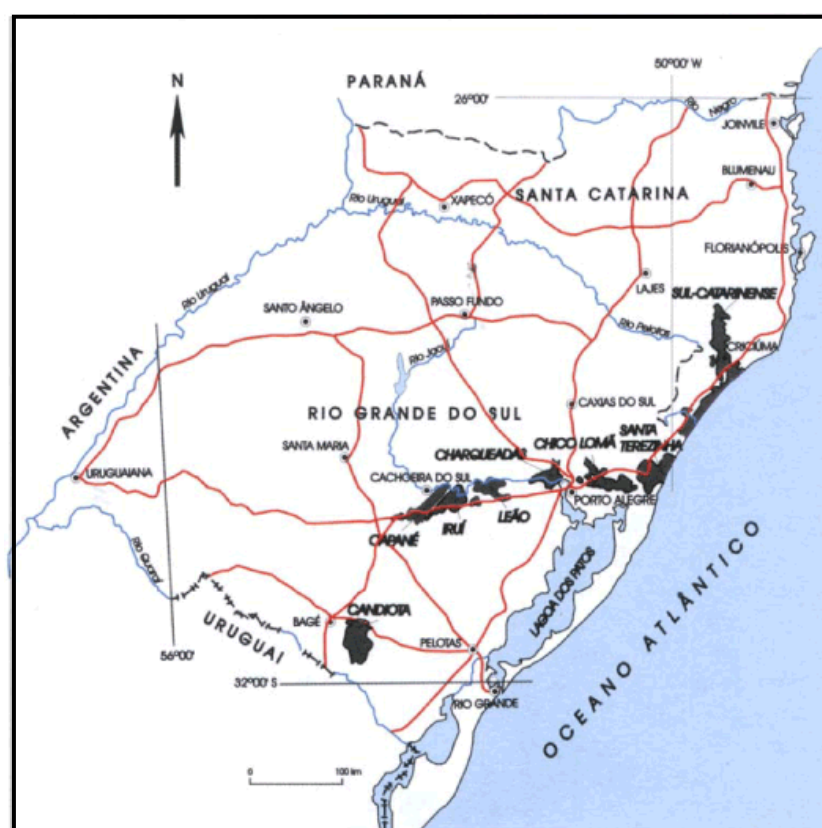
A mineração subterrânea pode ser feita usando dois métodos: câmara e pilares (*room and Pillar*) e frente larga (*longwall mining*). A primeira opção é utilizada nas minas brasileiras, recuperando-se os depósitos de carvão através de galerias. A maioria das minas catarinenses já utiliza equipamentos de última geração, como o minerador contínuo, que evita o uso de explosivos. O minério extraído é carregado por meio de correias transportadoras para a superfície.

A etapa seguinte é o beneficiamento do carvão bruto (ROM). No processo, separam-se materiais orgânicos e inorgânicos, utilizando normalmente equipamentos como britadores, peneiras, jiques, ciclones, espirais e mesas vibratórias, de onde resultam produto lavado e rejeito. O tratamento busca assegurar a melhor qualidade do produto para aumentar as potencialidades de uso, podendo, para isto, exigir procedimentos mais complexos segundo Sampaio e Tavares (2005), destacando-se a flotação dos finos de carvão, na otimização dos processos de beneficiamento do carvão.

As reservas de carvão no Brasil se estimam em torno de 30 bilhões de toneladas, 90% localizadas predominantemente no sul do país (figura 2). A produção

beneficiada de carvão mineral segundo o DNPM (2012) foi de 5,96 Mt. No ano de 2011, no *ranking* de produção comercializada do minério no país, permanece o estado do Rio Grande do Sul como maior produtor, com 65% da produção total, ficando Santa Catarina com 33,7% e o Paraná com 1,4%.

As importações de carvão mineral em 2011 cresceram 13,8% em relação ao ano 2010. Segundo Zancan (Fmase, 2011), o Brasil importa 15 milhões de toneladas de carvão metalúrgico.



**Figura 2.** Localização das principais jazidas de Carvão - RS e SC.

Fonte: Bizzic. *et al.*, (2003).

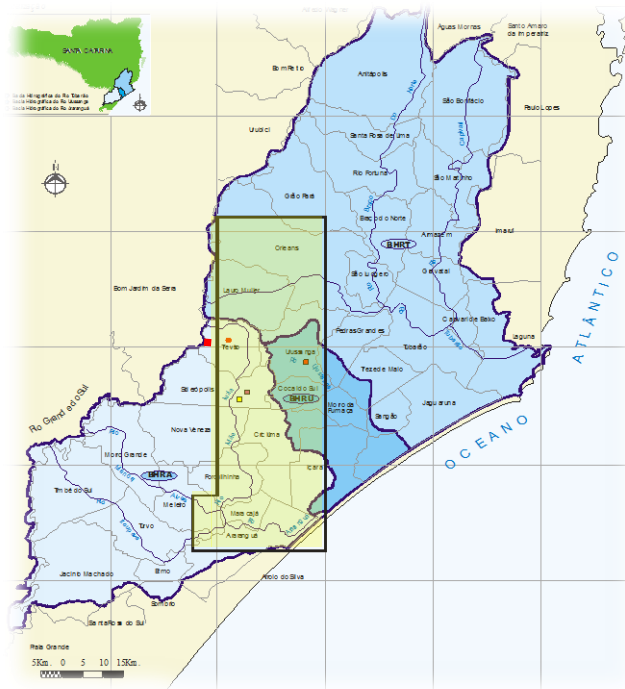
### 3.3.1 Carbonífera Criciúma

A Carbonífera Criciúma S/A é uma empresa líder no setor da mineração no Brasil, contribuindo a partir de jazida própria para o desenvolvimento econômico da região e o País, atendendo às necessidades do setor energético.

As principais jazidas de carvão de Santa Catarina encontram-se no flanco sudeste do estado (figura 3), nos municípios de Criciúma, Içara, Siderópolis, Urussanga e Lauro Müller.

A Unidade Mineira II – Verdinho pertencente à empresa Carbonífera Criciúma S/A., está localizada no município de Forquilha (SC).

Os finos de carvão gerados no processo de beneficiamento e descartados como rejeito carbonoso foram o objeto deste estudo, e provêm da barragem de rejeitos da Unidade Mineradora II – Verdinho.



**Figura 3.** Localização da Bacia carbonífera de Santa Catarina e da Unidade Mineradora II- Verdinho (Forquilha)

Fonte: Zancan & Gomez (2004)

### 3.3.2 Mineração

A mina está em operação desde 1982, projetada para produzir 2.760.000 t<sub>ROM</sub>/ano de carvão a partir de seu depósito, situado a uma profundidade média de 170m (Schneider, *et al.*, 2004).

De acordo com o *rank*<sup>1</sup>, este carvão se classifica como Betuminoso Alto Volátil e faz parte da camada Barro Branco.

A lavra é subterrânea e utiliza o método de câmaras e pilares. As operações unitárias envolvidas na usina, posicionadas na boca da mina, empregam métodos gravimétricos de classificação e separação.

O processo divide-se de acordo com as diversas etapas operacionais: britagem, jigagem (fração grossa), aliada a flotação e centrifugação (fração fina).

O ROM é alimentado diretamente e a classificação ocorre em duas peneiras vibratórias: 2200 mm x 6000 mm – KOPEX WK 2 em paralelo, inclinação de 18° e com dois *decks* (4" e 1 ¼"), proporcionando um corte de uma polegada.

O retido em 4 polegadas (*oversize* do primeiro *deck*) segue para um britador de mandíbulas. O produto da britagem retorna às peneiras vibratórias em circuito fechado.

O passante em 4 polegadas e retido em 1 polegada (*oversize* do segundo *deck*) é cominuído em dois britadores cônicos (TELS-MITH BARBER-GREENE 48 FC), operando em paralelo. O material britado nestes, juntamente com o passante em 1 polegada, (*undersize* da peneira) formam a alimentação do lavador.

O carvão britado é alimentado a partir de uma pilha pulmão com uma taxa nominal de 600 t/h.

A alimentação é peneirada em uma peneira curva (*sieve bend*) com abertura nominal de 1mm, que separa o processo em circuito de grossos e circuito de finos.

---

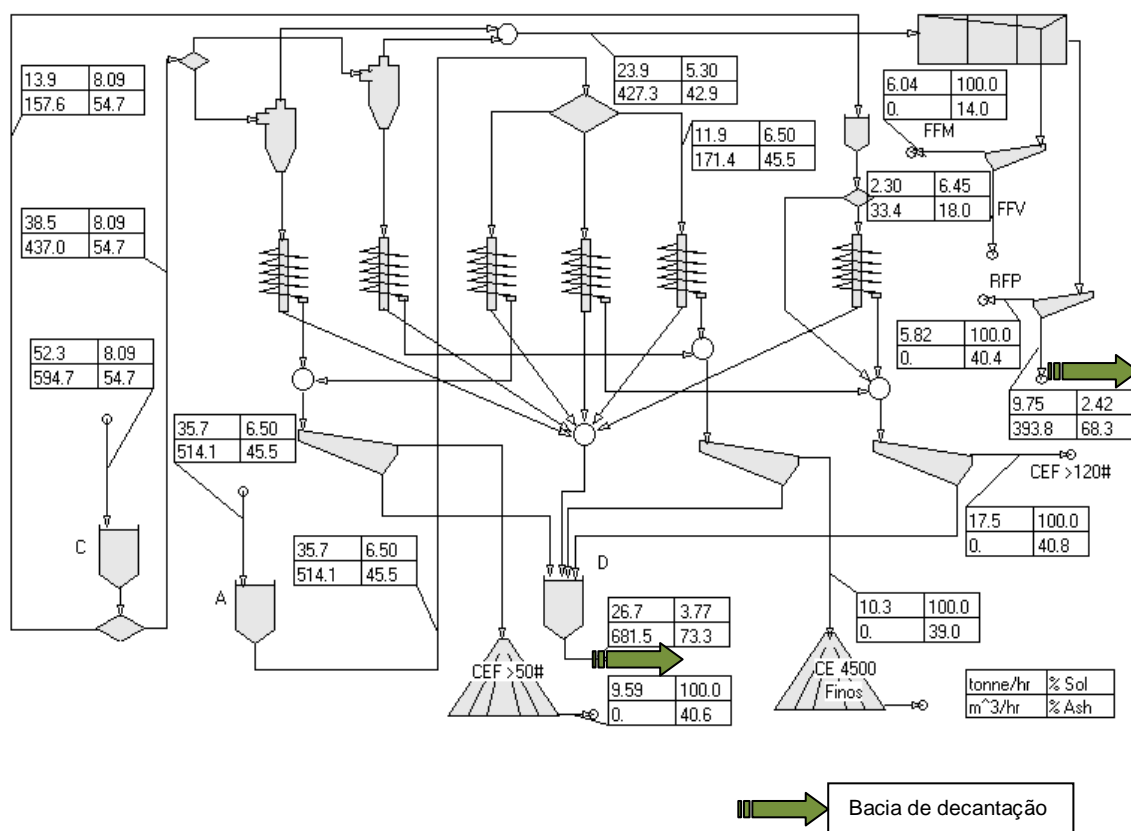
<sup>1</sup> Refere-se ao grau de carbonificação.

O circuito de grossos compreende uma faixa granulométrica de 26,0 mm a 1,2 mm e o equipamento usado para beneficiar esta fração é o jigge do tipo Kopex, formado por dois leitos paralelos com capacidade para 300 t/h cada um. O rejeito produzido é classificado como R1, R2, R3.

O produto é um carvão lavado que é peneirado e desaguado em peneiras vibratórias com malha de 1mm. A fração retida nesta peneira constitui o carvão lavado, enquanto a fração passante alimenta o circuito de finos.

De acordo com a figura 4, o circuito de finos, compreende a fração de menos 1,2 mm que será a fração que alimenta o circuito de hidrociclones, o *overflow* da ciclonagem ( $\emptyset < 0,074$  mm) alimentará o processo de flotação. O *Undersize* ( $\emptyset$  1,2 mm a 0,074 mm) irá para a concentração por espirais.

A fração mineral resultante deste processo é descartada na forma de rejeito de beneficiamento, e direcionada à bacia de decantação.



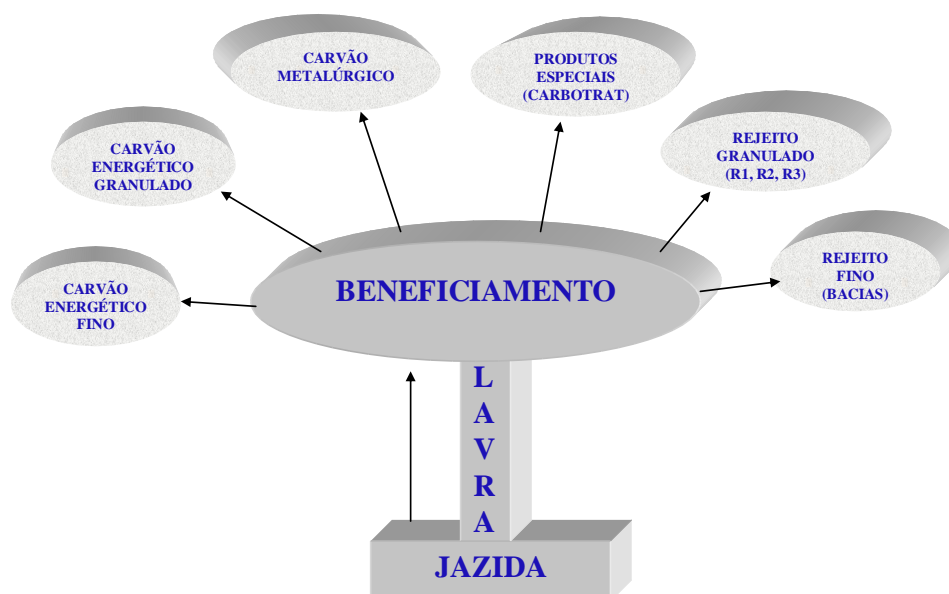
**Figura 4.** Fluxograma do circuito de finos de carvão da UM II - Verdinho

Fonte: Schneider, *et al.*,(2004)

### 3.3.3 Produtos comercializáveis da Carbonífera Criciúma

Fazendo parte das empresas que lideram o setor da mineração no Brasil, e atendendo às necessidades do setor energético a partir de jazida própria, a empresa tem desenvolvido os seguintes produtos (figura 5):

- Carvão CE 4500, utilizado para a geração de energia termelétrica;
- Carvão CE 5200, utilizado por indústrias de diversos segmentos.
- Carbotrat AP, destinado ao saneamento básico no tratamento de água potável, água industrial e tratamento terciário de efluentes industriais.
- Óxido de ferro sintético vermelho, destinado a aplicações de pigmentação de telhas, betão, cimento, argamassas, pavimentos e revestimentos.



**Figura 5.** Diagrama dos Produtos de Mineração na UM II - Verdinho.

Fonte: Schneider, (2004).

## **3.4 Flotação**

### **3.4.1 Considerações**

O crescimento acelerado das demandas por recursos minerais não renováveis tem acarretado a exaustão dos jazimentos mais ricos e mais simples de serem concentrados, colocando a indústria mineral frente ao desafio de tratar minérios cada vez mais complexos, com tamanho de liberação muito fina e com baixos teores, tornando a flotação uma alternativa importante no processo de concentração de minerais, desenvolvendo novas tecnologias e equipamentos.

A concentração de minérios ocorre quando é preciso separar os minerais de interesse dos que não o são. Nessas operações é necessária uma diferença física ou físico-química entre o mineral de interesse e os demais e pode ser fácil ou muito complexa, dependendo do minério.

A técnica mais amplamente utilizada neste caso é a flotação, onde é necessário estudar e entender as três interfaces: sólido-gás, sólido-líquido, e líquido-gás (Zimmerman *et. al.*, 1979).

Para que esta separação ocorra, é preciso que o mineral de interesse não esteja fisicamente agregado aos que não são de interesse.

### **3.4.2 Conceitos básicos**

A flotação é um processo de natureza físico-química que explora as diferenças de características superficiais dos diversos minerais presentes em um determinado sistema. Basicamente é uma operação de separação de componentes de misturas heterogêneas de partículas suspensas em fase aquosa (polpa). Como cada mineral possui uma superfície característica, teoricamente, a flotação poderia ser aplicada em qualquer situação.

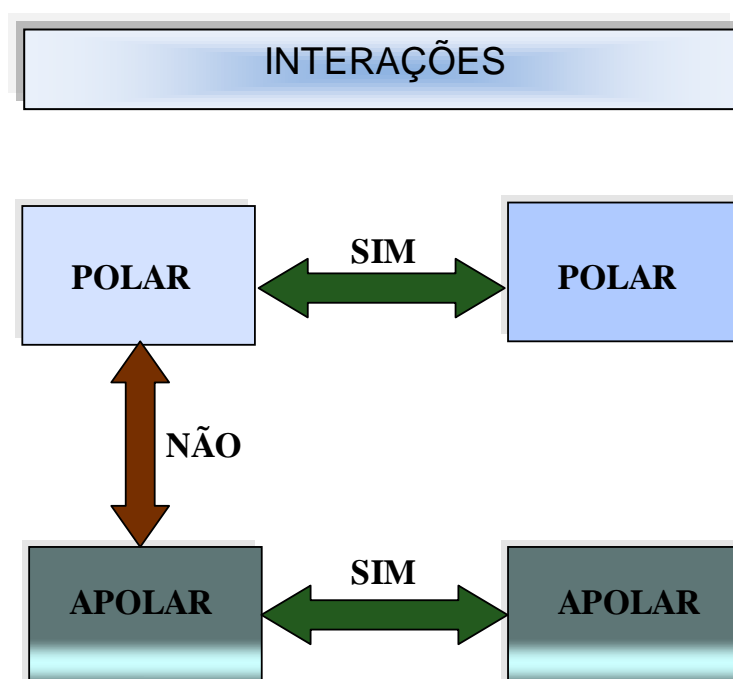
O processo se desenvolve nas fases: sólida, líquida e gasosa. A seletividade na fase sólida se baseia no fato de que alguns minerais apresentam superfície polar



(afinidade pela água) ou apolar (afinidade pelo ar), a fase líquida geralmente é representada pela água (espécie polar), e a fase gasosa é representada pelo ar (moléculas apolares).

Sendo assim, minerais com superfície polar são hidrofílicos (afinidade pela água), e com superfície apolar são hidrofóbicos (menos ávidos por água). Os minerais hidrofóbicos aderem às bolhas de ar e são transportados para a superfície de onde são removidos por meios mecânicos. Os minerais hidrofílicos permanecem em suspensão, com a superfície recoberta por moléculas de água.

Segundo Baltar (2008). A importância da polaridade reflete-se no fato de que existe afinidade entre substâncias ambas polares ou ambas apolares, não havendo, geralmente, afinidade entre uma substância polar e outra apolar, como mostra a figura 6.



**Figura 6.** Ilustração de interações moleculares.

Fonte: Baltar, (2008).

Com o advento das pesquisas, observou-se a possibilidade de manipulação das superfícies dos minerais, transformando superfícies hidrofílicas em hidrofóbicas,

com a adição criteriosa de reagentes. Desta maneira a flotação aumentou o potencial de uso, para qualquer tipo de minério.

No processo de flotação convencional, são utilizados equipamentos denominados células mecânicas de flotação. Tratam-se de tanques projetados para receber a polpa, constando de:

- Rotor, que é o responsável pela agitação da polpa, o seu movimento rotacional cria uma pressão negativa suficiente para, em muitos casos, aspirar o ar necessário para a flotação.

- Estator, tem por finalidade fragmentar o ar introduzido na célula, em um grande número de bolhas de pequeno diâmetro.

Basicamente o processo de flotação é uma separação feita na polpa. As partículas são obrigadas a percorrer um trajeto e num dado instante as partículas que se desejam flotar são levadas à superfície. A diferenciação entre as espécies minerais é dada pela capacidade de suas partículas se aderirem à bolha de ar. Então o conjunto bolha-partícula se desloca verticalmente para a superfície. Onde fica retido e é separado numa camada de espuma, enquanto que as partículas das demais espécies minerais mantêm inalterada sua rota.

Para evitar o efeito indesejável da rotação da polpa, dentro da célula, é promovida a instalação de defletores, direcionando os fluxos ascendentes e descendentes dentro da célula para maximizar a recirculação da polpa na região inferior. Ao mesmo tempo que a turbulência na região superior é reduzida para um ambiente hidrodinâmico laminar minimizando o descolamento bolha-partícula coletada, e a transferência do fluxo de rejeito para a camada de espuma.(Da Luz *et al.*,2010).

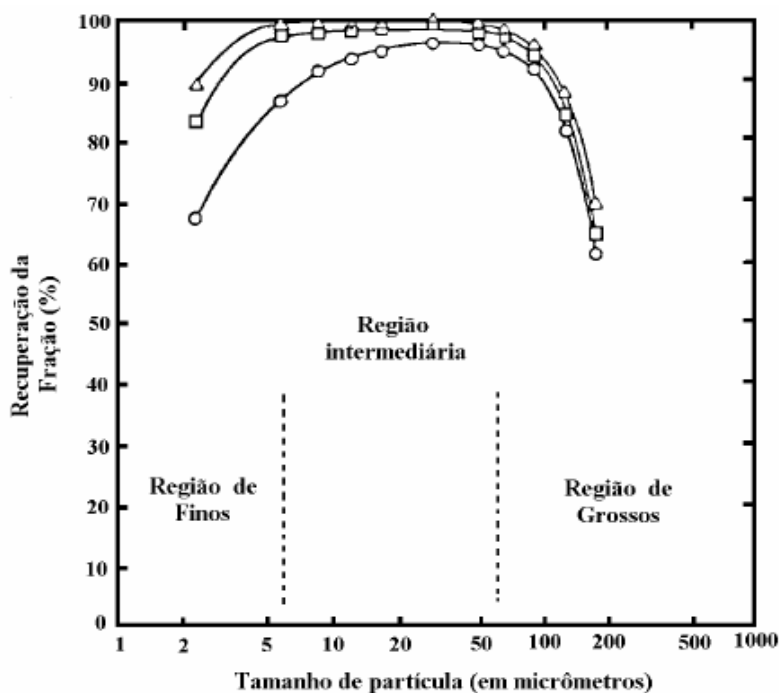
### 3.4.3 Influência do Tamanho da Partícula

Uma das preocupações da indústria mineira tem sido a recuperação de partículas minerais finas, esta preocupação está refletida em diversos trabalhos publicados nos últimos 30 anos (Trahar e Warren, 1976; Trahar, 1981; Sivamohan, 1990; Wellenkamp, 1999; Tao *et al.*, 2000; Yuehua *et al.*, 2003), citados por Brum (2004) esta preocupação é motivada pela necessidade de processamento de minérios que requerem um elevado grau de moagem e, conseqüentemente, resultam em significantes quantidades de finos”.

Por outro lado segundo Sampaio e Tavares (2005) “a dispersão dos grãos dos minerais valiosos e de ganga em materiais não completamente liberados determinam a distribuição de importantes propriedades que influenciam o comportamento dos materiais no processo de concentração”.

Em um processo os termos “finos” e “grossos” são utilizados para designar uma determinada fração granulométrica, sendo que o tamanho ótimo vai depender do sistema e das características do minério tratado. O mineral mais abundante normalmente se encontra mais facilmente liberado que aquele em menor proporção (Kelly e Spottiswood, 1982).

Brum (2004) citando Tahar (1981) apresenta a figura 7, onde a curva recuperação versus tamanho de partícula é dividida arbitrariamente em três regiões. Nesta apresentação, as frações correspondentes aos finos (abaixo de 5 micrometros) e os grossos (acima de 70 micrômetros) seriam as faixas “problema” para o processo de flotação, enquanto que na região intermediária estariam concentradas as partículas com maior flotabilidade.



**Figura 7.** Representação das regiões granulométricas.

Fonte: Tahar, (1981).

#### 3.4.4 Reagentes

Para viabilizar o processo de flotação em um sistema, o uso de reagentes é necessário para potencializar as diferenças entre as características originais das superfícies dos minerais presentes.

De acordo com a sua função, os reagentes podem ser classificados em: espumante, coletor, depressor, ativador, regulador de pH e dispersante entre outros.

O sucesso na flotação vai depender da escolha adequada do reagente que, ao mesmo tempo, contribui para quatro eventos essenciais no processo:

- Dispersão das partículas na polpa;
- Adsorção seletiva do coletor;
- Estabilidade das bolhas e
- Adesão partícula-bolha.

#### 3.4.4.1 Coletor

Os minerais, em sua grande maioria apresentam uma superfície com características hidrofílicas, entretanto este comportamento pode ser bastante alterado pela introdução de substâncias adequadas no sistema, segundo Baltar (2008) afirma que, qualquer substância pode ser tornada hidrofóbica. Para que ocorra a alteração na superfície do mineral se faz uso de um reagente, denominado coletor. O reagente se deposita seletivamente na superfície mineral recobrando-a, de modo que fique, sobre a superfície da partícula um filme de reagente. O mecanismo de adsorção e geração de hidrofobicidade, segundo Gaudin (1957) é denominado modulação da coleta, em que pode-se adicionar os coletores e também outras substâncias que modifique a ação do coletor.

Os Coletores se caracterizam por ter uma molécula heteropolar, ou seja, uma parte da molécula é inorgânica (polar) e a outra é orgânica (apolar).

- Molécula polar, é a parte hidrofílica (afinidade pela água) interage com a superfície do mineral, promovendo a adsorção, é responsável pela seleção e pela intensidade de ligação com a superfície.

- Molécula apolar, é a parte hidrofóbica (tendência a ter maior afinidade pela fase gasosa que pela fase líquida) é constituída por uma cadeia hidrocarbônica, cuja função é a de promover a hidrofobicidade da superfície.

O coletor adsorvido na superfície mineral forma uma película hidrofóbica que impede a hidratação da superfície, possibilitando a adesão da partícula à bolha de ar.

Em geral os coletores podem ser catiônicos ou aniônicos, conforme a carga elétrica resultante da ionização da molécula.

#### 3.4.4.2 Espumante

Uma das funções principais do espumante é reduzir a tensão superficial na interfase água-ar, de modo a proporcionar uma maior estabilidade à bolha, para que

possa efetuar o transporte da partícula e favorecer a formação da espuma, além de evitar a coalescência das bolhas e de interagir com a cadeia carbônica do coletor.

A adsorção do espumante na interfase água-ar consegue diminuir a permeabilidade da membrana interfacial, dificultando o fenômeno da coalescência, fato que contribui para manter as bolhas de ar pequenas e dispersas, permitindo aumentar a probabilidade de colisão com as partículas hidrofóbicas.

No momento de aproximação da bolha com a partícula do mineral, a interação hidrofóbica entre as cadeias hidrocarbônicas do espumante e do coletor contribui favoravelmente para a adesão partícula-bolha.

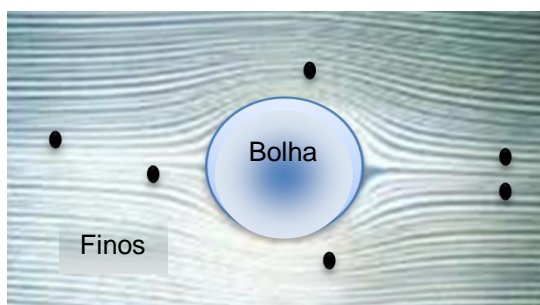
A espuma não deve ter pouca estabilidade nem ser demasiadamente estável. Quando não são suficientemente estáveis, as bolhas mineralizadas podem colapsar antes que a espuma seja recolhida na parte superior da célula. Com isso, as partículas hidrofóbicas retornam à polpa prejudicando a recuperação. Por outro lado uma espuma demasiadamente estável carrega muitas partículas hidrofílicas aprisionadas na película de líquido resultando numa diminuição do teor. Numa espuma com estabilidade adequada ocorre uma lenta coalescência das bolhas quando atingem a parte superior da coluna de espuma (Dippenaar, 1982).

### **3.4.5 Finos na Flotação**

As partículas finas em um processo de flotação apresentam dificuldade para flotar, não existe uma granulometria determinada que identifique os finos, vai depender do minério tratado e do processo empregado.

O limite inferior da faixa granulométrica está relacionado com o conceito de lamas, segundo Valadão e Araujo (2007) existe uma tentativa de se quantificar o conceito de lamas. Partículas entre 100  $\mu\text{m}$  e 10  $\mu\text{m}$  são designadas como “finos”; entre 10  $\mu\text{m}$  e 1  $\mu\text{m}$  “ultrafinos”, abaixo de 1  $\mu\text{m}$  “coloides”. A faixa dos ultrafinos e coloides constituiriam as lamas.

Na flotação de finos vários fenômenos ocorrem para impedir uma boa recuperação do mineral. Ao possuírem pequena massa, as partículas tendem a acompanhar as linhas de fluxo do líquido, evitando a colisão com as bolhas (figura 8).



**Figura 8.** Partículas finas acompanhando as linhas de fluxo do líquido.

Fonte: Baltar, (2008 adaptada).

Uma grande quantidade de finos se traduz em uma elevada área superficial o que resulta no maior consumo de reagentes, resultando na falta para adsorção de partículas grossas que dessa forma não conseguem flotar. Segundo Capponi, *et al.*, (2003) a captura de partículas finas aumenta com a presença de pequenas bolhas que conduzem a uma melhor recuperação.

Outro fenômeno muito comum é “*Slime coating*” assim chamado ao recobrimento da superfície de partículas grossas por lamas, conforme Warren (1975) indicado por Baltar (2008), através de um mecanismo de atração eletrostática, que pode chegar a inibir completamente a seletividade.

Os finos presentes na interface líquido-gás dificultam a adesão das partículas grossas às bolhas de ar.

As partículas finas apresentam pouca velocidade de sedimentação, permanecendo em suspensão na água e tendem a ser removidas por arraste hidrodinâmico (“*entrainment*”) das partículas hidrofílicas que resultam em contaminação do concentrado. Já as partículas grossas possuem uma maior velocidade de sedimentação, o que ocasiona o retorno à polpa antes da remoção da espuma.

Tantos efeitos prejudiciais explicam porque todo processo de flotação funciona melhor quando se elimina os finos através de uma operação de deslamagem, geralmente, realizada em uma bateria de hidrociclones segundo Sampaio e Tavares (2005).

Se pelo lado técnico é indiscutível a vantagem de uma deslamagem, muitas vezes, a eliminação dos finos é impensável sob o ponto de vista econômico.

### **3.4.6 Mecanismos atuantes na flotação do carvão**

A recuperação das partículas finas, produto dos processos de beneficiamento de carvão, entre suas vantagens propiciariam uma maior vida útil da bacia de decantação, além de contribuir para a diminuição do impacto ambiental, como acrescentar a parte econômica.

Os carvões betuminosos associados à camada Barro Branco são naturalmente hidrofóbicos, conseguindo flotar, somente com o auxílio de espumantes, esta propriedade decorre de sua estrutura química, constituída de hidrocarbonetos de cadeia muito longa e estruturas cíclicas (Menezes *et al.*, 2006).

Os reagentes utilizados, geralmente querosene e óleo diesel, não são coletores propriamente ditos, podendo ser chamados de “reforçadores da hidrofobicidade”, estes hidrocarbonetos são emulsionados e adicionados à polpa, adsorvidos pela superfície do carvão por adesão, sendo por tanto uma adsorção específica de natureza física. As moléculas são adsorvidas com pouca energia, formando um filme na superfície que pode ser removido por uma agitação intensa.

Os espumantes mais usados Para a flotação do carvão são o óleo de pinho e metil-isobutil-carbinol (MIBC). Segundo vários autores o óleo de pinho tem um efeito coletor sobre o carvão devido às moléculas polares – não polares, que pode gerar uma atração elétrica entre a parte polar da molécula e os sítios portadores de minerais na superfície do carvão, caracterizando um efeito coletor. Outros autores atribuem esta característica apenas à consistência da espuma, que seria capaz de arrastar mecanicamente partículas carbonosas (Chaves, 1983). O Óleo de Pinho é extensivamente usado por sua compatibilidade com a maioria dos reforçadores de



hidrofobicidade, e também pelo seu baixo custo, ele gera espuma com bolhas pequenas e fornece boa recuperação, porém concentrados com teores de cinzas altos.

Outro espumante geralmente utilizado com bom desempenho na flotação do carvão é o metil-isobutil-carbinol (MIBC), este reagente gera espumas mais ralas e bolhas maiores que permite melhorar a drenagem da ganga; conseqüentemente apresenta uma menor recuperação mássica, no entanto com maior seletividade, característica atribuída à ausência de propriedades coletoras, fornecendo um flotado com menor teor de cinzas.

### 3.4.7 Cinética da flotação do carvão

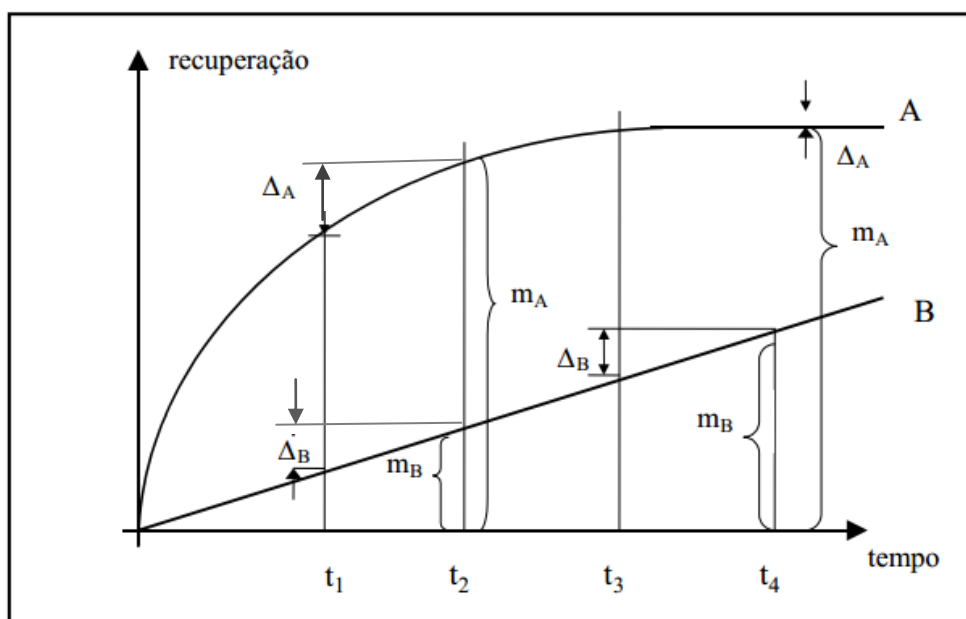
Na seletividade da flotação de carvões, um parâmetro importante de levar-se em consideração é a cinética de flotação. Inicialmente no processo as partículas de carvão mais puras flutam primeiro. Conforme o processo avança, começam a flotar cada vez mais partículas mistas e ganga, uma vez que a seletividade não é perfeita. E mais ainda se o período de tempo for longo.

Para medir a cinética de flotação em uma célula de laboratório, recolhe-se os concentrados em intervalos de tempo (geralmente 30 segundos), são secados, pesados e enviados para análise química. Com os resultados obtidos, é possível calcular as recuperações de matéria carbonosa (A) e de cinzas (B), e representá-las num gráfico recuperação *versus* tempo. Como mostra a figura 9. A flotação de (A) se realiza numa fase de primeira ordem e velocidade maior, enquanto que (B) flota com uma cinética de segunda ordem e velocidade menor. A massa removida de (A) cresce no início da flotação, diminuindo com o tempo, ao passo que a remoção de (B) é constante.

Aumentando-se o tempo de residência do minério na célula, as massas flotadas aumentam dos diferenciais  $\Delta_A$  e  $\Delta_B$ . até que  $\Delta_A$  torna-se muito pequeno, enquanto que  $\Delta_B$  continua sendo significativo. Existe um tempo de residência ótimo em que a recuperação de A é boa e a contaminação de A com B (relação de  $m_A$  e  $m_B$ ) é aceitável

Na figura 9, este tempo parece estar em torno de  $t_2$ : se a flotação for interrompida em  $t_2$ , a contaminação do flotado com B será menor que se o tempo de flotação for  $t_3$  ou  $t_4$ . Se a flotação for interrompida em  $t_1$ , o teor é muito bom, mas a recuperação é baixa.

O tempo de residência é, por tanto, uma variável crítica para o dimensionamento e operação dos circuitos de flotação. (DA LUZ *et al.*, 2010).



**Figura 9.** Cinética de flotação

Fonte: Da Luz *et al.* (2010).

### 3.4.8 Particularidades da flotação do carvão

- Geralmente a flotação é feita em um estágio (Rougher).
- A flotação dos carvões opera em granulometrias muito mais grossas que as dos minérios, devido ao baixo peso específico do carvão.
- O processo dá melhores resultados com grandes quantidades de bolhas de ar de pequeno diâmetro.
- A flotação do carvão opera com diluições extremamente altas.
- A velocidade de flotação (cinética) varia com o “rank” do carvão.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios realizados com o rejeito de carvão na forma de lodo proveniente da Mina Carbonífera Criciúma, fazem parte das atividades de pesquisa deste trabalho, realizados com o método de flotação em bancada, utilizando uma máquina de flotação CDC. Entre os objetivos da pesquisa está obter a melhor *performance* dos diferentes reagentes químicos usados, visando a melhor recuperação de massa carbonosa, com um baixo conteúdo de teor de cinzas.

### 4.1 Equipamentos

- Reator (misturador) de polpa, capacidade 200 l, 108 RPM.
- Homogeneizador FISATOM, 6000 RPM.
- Máquina de flotação CDC, série CFB.
- Célula acrílica de flotação de 4 l.
- Quarteador tipo Jones
- Mufla Jung, modelo 5463.
- Estufa DE LEO,
- Compressor de ar PRIMAR, modelo 141, Tipo 2 CV.
- Compressor de ar SCHUZ, modelo MSL 10 ml/175.
- Filtro de pressão ENGENDRAR, modelo 08 inox 304.
- Vibrador elétrico para peneiras BRONZINOX – BERTEL
- Jogo de peneiras escala TYLER
- Balança FILIZOLA FD-1500, C. Máxima 75 Kg. C. Mínima 1250 g.
- Balança semi analítica BEL MARK K12, C Máx. 12.000g., C mín. 5g.
- Balança analítica SHIMADZU AY220, C. Máx. 220g, C mín. 0,01 g.
- Medidor digital de pH ANALION PM 608 PLUS.
- Espectrômetro de raios-X RAY NY EDX-720 SHIMADZU
- Microscópio Digital VHX-2000
- Determinador elementar CHNS – Vario Macro
- Bomba Calorimétrica IKA.

## 4.2 Fluxograma do método de pesquisa

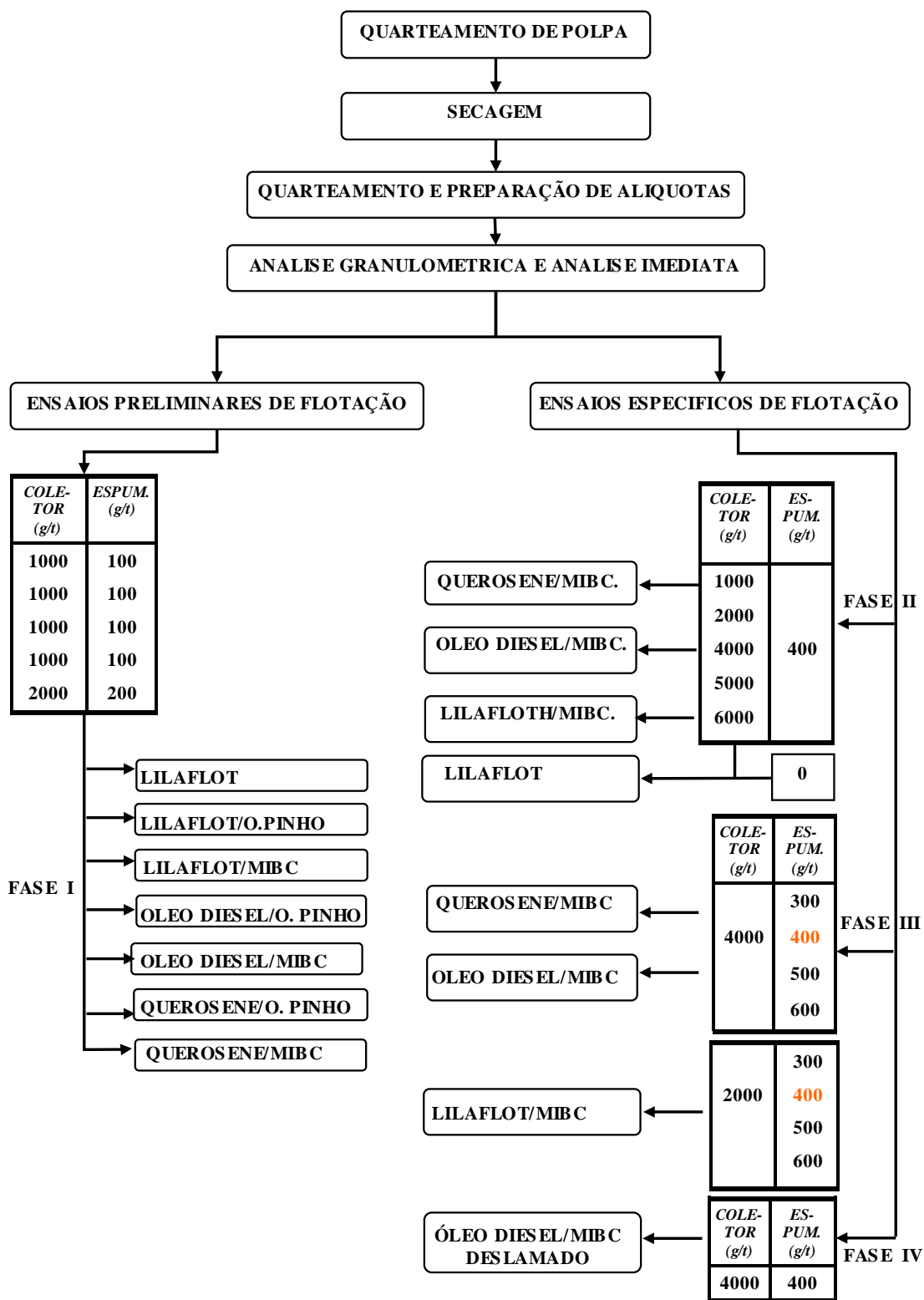


Figura 10. Fluxograma de pesquisa.

### **4.3 Material de ensaios**

As amostras coletadas provenientes da mina Carbonífera Criciúma (Santa Catarina) fazem parte do processo de beneficiamento do carvão, sendo material descartado na forma de “lodo<sup>2</sup>”. O estudo foi desenvolvido no Centro de Tecnologia - Laboratório de Processamento Mineral (LAPROM), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

Para o transporte do material desde a mina até o laboratório, foram utilizados dois tonéis com capacidade de 200 litros cada um. A massa total do material objeto de estudo foi de 427,3 kg.

No laboratório, o rejeito em forma de lodo foi devidamente acondicionado em sacos de poliuretano, com aproximadamente 20 kg de amostra em cada um, com a finalidade de poder manipular e ao mesmo tempo facilitar a formação de uma polpa com aproximadamente 45% de sólidos em peso.

#### **4.3.1 Reagentes utilizados**

Os reagentes utilizados para a flotação do lodo neste trabalho são: Óleo diesel, querosene e lilafлот GS 13 como coletores e óleo de pinho, MIBC como espumantes, a continuação se faz uma descrição das características de cada um.

##### **4.3.1.1 Óleo diesel**

O óleo diesel é um derivado da destilação do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos formado principalmente por átomos de carbono, hidrogênio e em baixas concentrações por enxofre, nitrogênio e oxigênio (Petrobras 2013).

---

<sup>2</sup> Refere-se ao produto descartado no processo de beneficiamento de finos de carvão, depositados na bacia de decantação.

#### **4.3.1.2 Querosene**

O Querosene é uma combinação complexa de hidrocarbonetos (alifáticos, naftênicos e aromáticos) com um número de carbonos na sua maioria dentro do intervalo de C9 a C16, produzida por destilação de petróleo, possui um alto poder de solvência e uma taxa de evaporação lenta (Petrobras 2013).

#### **4.3.1.3 MIBC**

É um líquido transparente incolor, levemente solúvel em água, facilmente solúvel em álcool, éter, clorofórmio e benzeno. Contêm um átomo de carbono assimétrico e podem, conseqüentemente, existir em duas formas opticamente ativas, sua fórmula química é  $C_6H_{14}O$ , é um excelente agente espumante. (comercializado por FLOMIN).

#### **4.3.1.4 Óleo de Pinho**

O óleo de pinho é o óleo essencial do pinheiro, sendo uma mistura de alcoóis terpênicos e hidrocarbonetos terpênicos. Tem como um de seus principais componentes o alfa-terpinol, apresenta-se como um líquido oleoso de incolor a amarelo, com densidade de 0,911 a 0,917 g/t, apresenta solubilidade em hidrocarbonetos aromáticos e alcoóis (Oliveira, 2008).

#### **4.3.1.5 Lilafлот GS 13**

O Lilafлот GS 13 é usado como coletor ou espumante na flotação de minerais, basicamente é uma amina primária comercial (produzida e fornecida pela Akzonobel) é líquido incolor levemente apresenta um odor a amônia insolúvel em água, solúvel em outros solventes como etanol e hidrocarbonos, estável sob condições usuais de manuseio e armazenamento e facilmente biodegradável mais do 60% em 28 dias.

### **4.4 Quarteamento da Polpa**

Para a formação da polpa utilizou-se um tanque misturador com defletores, com capacidade de 200 litros onde a polpa foi submetida a uma rotação de 108

RPM cujo objetivo foi obter uma polpa de aproximadamente 45% de sólidos em peso.

A seguir foram coletadas 22 alíquotas, as quais foram devidamente tampadas e etiquetadas em tonéis de 50 litros cada um, prontas para o seu armazenamento, visando um futuro aproveitamento, como mostra a figura 82, em adendo I.

#### **4.5 Preparação da amostra**

Com a finalidade de preparar a amostra para sua caracterização e realização dos ensaios exploratórios de flotação, tomou-se uma alíquota dos 22 toneis armazenados.

A massa de polpa do tonel foi de 33,6 kg, cujo conteúdo foi colocado em bandejas de alumínio para secagem na estufa, a uma temperatura de 45° C, por um período de 48 horas.

Depois de obter o material seco, realizou-se um quarteamento utilizando o quarteador Jones (figura 11), visando obter uma amostra representativa, com massa adequada, de cerca de 1 kg para a realização dos ensaios.



**Figura 11.** Quarteador Jones  
Fonte: Autoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS

#### **4.6 Análise Granulométrica**

A análise granulométrica foi feita por peneiramento a úmido, utilizando uma série de peneiras como mostra a tabela 1. Com a massa retida em cada peneira

foram realizadas análises imediatas e análises elementares, objetivando caracterizar a amostra proveniente do rejeito da bacia de decantação em forma de “lodo” da Carbonífera Criciúma.

**Tabela 1.** Série de peneiras utilizada na análise granulométrica

Serie Tyler (mesh)	Abertura em mm.
12	1,40
24	0,710
32	0,500
42	0,355
60	0,250
100	0,150
150	0,106
200	0,075
325	0,045
400	0,038

Devido ao grande volume de água contido na polpa do passante em 400 # (- 0,038 mm), a secagem do produto da análise granulométrica em estufa mostrou-se inapropriado. Por isso se fez uso do filtro de pressão para a filtragem da água, como mostra a figura 12.



**Figura 12.** Filtro de pressão  
Fonte: Aatoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS



O produto da filtragem foi retido em papel filtro e secado em estufa a uma temperatura de 45°C.

Após a deslamagem o produto resultante foi classificado em faixas granulométricas.

O tempo empregado na análise granulométrica está relacionado com a água de lavagem, que era considerada limpa (sem lamas) por critério do operador. Levando em consideração este critério, o tempo de análise granulométrico foi em média de cerca de 30 minutos.

O material retido nas peneiras previamente estabelecidas, segundo a tabela 1, foi recolhido em bandejas de alumínio, as mesmas que foram levadas à estufa para secagem, por um período de 48 horas a uma temperatura de 45°C.

Uma vez secas, as amostras foram pesadas e acondicionadas em sacos plásticos, e devidamente etiquetados.

A partir da análise granulométrica, foram realizadas análises imediatas da fração retida nas peneiras, seguindo as Normas Brasileiras NBR 8293 para umidade, NBR 8289 para cinzas, NBR 8290 para material volátil e NBR 8299 para carbono fixo.

#### **4.7 Primeira fase dos ensaios exploratórios preliminares de flotação**

Visando avaliar a recuperação mássica e menor conteúdo de cinzas, buscou-se determinar o comportamento dos reagentes na flotação do lodo da Carbonífera Criciúma. Para isto, foram realizados ensaios exploratórios preliminares, usando como coletores óleo diesel (OD) e querosene (Q), e como espumantes metil-isobutil-carbinol (MIBC), óleo de pinho (OP) e lilafлот (L).

A fim de realizar estudos comparativos foram efetuadas flotações do “lodo”, usando somente o reagente lilafлот, que servirá para analisar o comportamento com as combinações lilafлот com óleo de pinho e lilafлот com MIBC.

A proposta para a primeira fase dos ensaios preliminares de flotação foi utilizar a seguinte combinação de reagentes:

- Ensaio 1: Lilafлот
- Ensaio 2: Lilafлот + Óleo de Pinho
- Ensaio 3: Lilafлот + MIBC.
- Ensaio 4: Óleo Diesel + Óleo de Pinho
- Ensaio 5: Óleo Diesel + MIBC
- Ensaio 6: Querosene + Óleo de Pinho
- Ensaio 7: Querosene + MIBC

#### 4.8 Parâmetros operacionais do ensaio de flotação

Os ensaios foram realizados em escala de bancada, com um equipamento de flotação convencional CDC, modelo CEB-1000-EEPНBA, conforme mostrado na figura 13. Foi utilizada uma célula de acrílico com capacidade para 4,0 litros, rotação de 1000 RPM e fluxo de ar 2,0 litros por minuto. A polpa foi condicionada com uma concentração de sólidos de 8% em peso.



**Figura 13.** Máquina de flotação CDC, de bancada

Fonte: Autoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS

Estudos realizados por Brum e Everton (2011) com concentrações de polpa no intervalo de 4,5% a 30% em peso, determinaram que os melhores resultados foram obtidos para baixas concentrações de sólidos na polpa (8%). Conseqüentemente a massa do rejeito utilizada foi de 336,0 gramas. O pH da polpa considerado foi o natural ao redor de 8.

#### 4.9 Metodologia para os ensaios de flotação

A sistemática para os ensaios preliminares de cada uma das diferentes combinações de reagentes foi definida conforme a tabela 2.

**Tabela 2.** Concentração de coletor e espumante em função do tempo de acondicionamento

<b>Sequência de coleta do concentrado</b>	<b>Tempo de coleta (min.)</b>	<b>Concentração de coletor (g/t)</b>	<b>Concentração de espumante (g/t)</b>
1	1	1000 (1000)	100 (100)
2	1	1000 (2000)	100 (200)
3	1	1000 (3000)	100 (300)
4	1	1000 (4000)	100 (400)
5	2	2000 (6000)	200 (600)

O procedimento realizado para os ensaios preliminares de flotação, servirá para todas as combinações de reagentes propostas.

Coloca-se a polpa (8% Cp/p) na célula de flotação. Em seguida, adiciona-se o coletor, sempre emulsificado, e deixa-se acondicionar por um minuto. Na continuação do processo, é acrescentado o espumante. Abrindo-se o ar para geração de bolhas, aciona-se as pás rotatórias da célula acrílica, iniciando a coleta da espuma por períodos de tempo de um minuto. A espuma que constitui o concentrado do ensaio é recolhida em uma bandeja de alumínio que foi levada para a secagem na estufa a uma temperatura de 45°C.

Este procedimento aplica-se para os concentrados 1, 2, 3 e 4. No quinto concentrado, os reagentes foram adicionados em dobro, por um tempo de

acondicionamento de dois minutos para o coletor, e de um minuto para o espumante.

O rejeito e os concentrados de cada ensaio foram recolhidos e seco em estufa, a uma temperatura de 45°C por um período de 48 horas. (Procedimento padrão nos ensaios de flotação no LAPROM).

Com o material seco e pesado foram realizadas as análises imediatas, obtendo-se os dados com os quais foram elaborados os gráficos de cada uma das combinações de reagentes ensaiados neste processo preliminar de flotação, conforme a tabela 20. (anexo H).

#### **4.10 Ensaio específicos de flotação**

Ainda com o objetivo de melhorar as recuperações mássicas e diminuir o teor de cinzas, foram realizados ensaios específicos de flotação com a combinação dos melhores resultados obtidos nos ensaios da flotação preliminar.

A combinação de reagentes ensaiada nesta segunda fase foi a seguinte:

- Querosene + MIBC
- Óleo Diesel + MIBC
- Lilafлот + MIBC
- Lilafлот

Para cada combinação de reagentes acima descrita a dosagem dos coletores (Querosene , Óleo Diesel e Lilafлот) foi variando em 1.000 g/t, 2.000 g/t, 4.000 g/t, 5.000 g/t e 6.000 g/t, respectivamente, e o espumante (MIBC) manteve-se fixo em uma dosagem de 400 g/t.

Continuando com o estudo comparativo para o regente Lilafлот, usa-se somente as dosagens acima descritas para o coletor.

A sistemática para realizar os ensaios de flotação foi a mesma descrita anteriormente no item 4.9, com variações no que diz respeito ao tempo de conclusão do ensaio, aumentado para oito minutos.

Uma terceira fase de flotação foi estabelecida, uma vez determinado o melhor desempenho dos coletores Óleo Diesel e Querosene.

Nesta fase manteve-se constante o coletor na dosagem de 4.000 g/t e variou-se o espumante nas dosagens de 300 g/t, 500 g/t e 600 g/t.

Com relação ao reagente Lilafloc, se mantém uma dosagem fixa de 2.000 g/t realizando-se a combinação com o espumante MIBC, nas dosagens de 300 g/t, 500 g/t e 600 g/t.

Fazendo parte da fase IV dos ensaios de flotação, realizou-se um estudo complementar com a melhor combinação de reagentes determinada nos ensaios de flotação anteriores (Óleo Diesel - MIBC ). Neste estudo realizou-se um ensaio de flotação com uma amostra<sup>3</sup> deslamada, fazendo o corte granulométrico em – 0,075mm (200 mesh).

---

<sup>3</sup> Refere-se ao rejeito do processo de flotação de finos de carvão da carbonífera Criciúma em forma de “lodo”, depositado na bacia de decantação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise granulométrica e análise imediata do lodo da Carbonífera Criciúma.

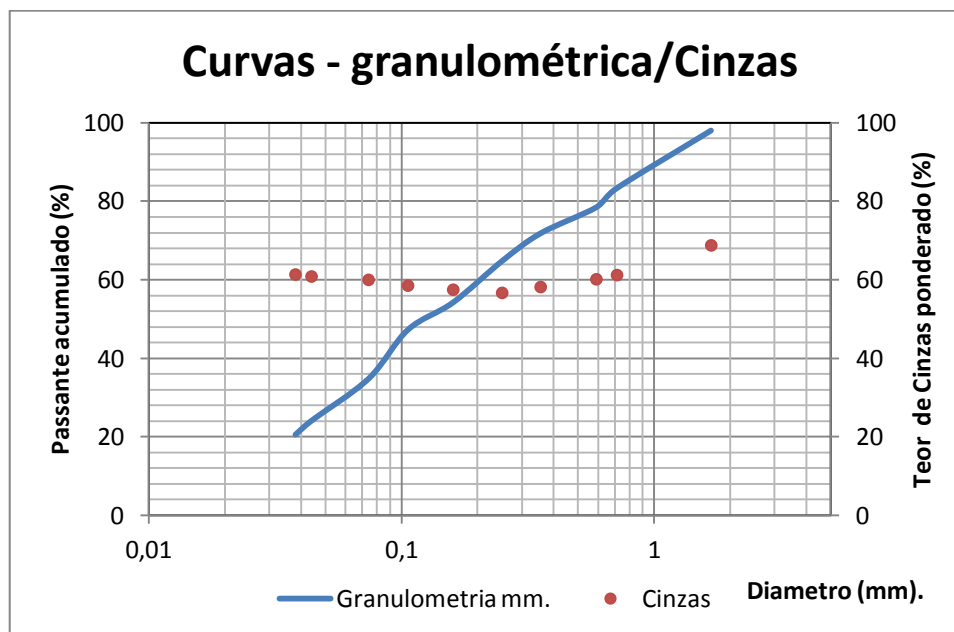
Os resultados da análise granulométrica são apresentados na tabela 3, e na figura 14. Verifica-se que no material utilizado nesse estudo, mais de 83,0% caracterizou-se por ter um diâmetro de partículas abaixo de 0,710 mm, considerada como finos. Segundo Brum (2004), os termos “finos” e “grossos” são utilizados para designar uma determinada fração granulométrica em um determinado sistema, sendo que o tamanho ótimo varia em função das características do minério. No caso do beneficiamento do carvão o diâmetro dos grossos sobe para mais de 2,0 mm, segundo Sampaio e Tavares (2005).

**Tabela 3.** Distribuição granulométrica e análise imediata da amostra do lodo da Carbonífera Criciúma

Abertura mm.	Análise granulométrico		Análises Imediatas				Conteúdo Czs
	Retido (%)	Passante. (%)	Umidade (%)	Cinzas Bs. (%)	Voláteis Bs. (%)	Cfxo. (%)	Ponderado %
+1,4	1,96	98,04	1,33	68,81	15,74	15,46	68,81
-1,40 +0,710	16,65	83,35	0,93	60,22	18,36	21,42	61,23
-0,710 +0,500	21,52	78,48	0,87	56,54	19,59	23,87	60,17
-0,500 +0,355	28,16	71,84	0,85	51,79	20,78	27,43	58,19
-0,355 +0,250	35,22	64,78	0,97	50,74	21,40	27,86	56,70
-0,250 + 0,150	45,77	54,23	0,73	60,21	18,25	21,54	57,51
-0,150 +0,106	52,72	47,28	0,52	65,42	16,04	18,54	58,55
-0,106 +0,075	65,21	34,79	0,55	66,22	16,62	17,16	60,02
-0,075 +0,045	75,91	24,09	0,51	66,08	16,92	17,00	60,88
-0,045 +0,038	79,47	20,53	0,51	72,02	16,05	11,92	61,38
-0,038	100,00	0,00	1,15	71,22	15,44	13,34	63,40
Alimentação			0,86	62,32	17,82	19,87	

De acordo com o resultado da análise granulométrica, é conveniente usar métodos de beneficiamento físico-químicos, entre eles a flotação, já que é um dos métodos mais efetivos para o processo de separação de finos de carvão.

A figura 14 mostra a curva granulométrica das frações passante acumuladas em função do diâmetro das partículas e o teor de cinzas ponderado para cada fração granulométrica, baseados nos ensaios de análise granulométrica a úmido e análise imediata do lodo da Carbonífera Criciúma.



**Figura 14.** Curva granulométrica e teor de cinzas ponderado para cada fração granulométrica da amostra do lodo da Carbonífera Criciúma.

Para determinar a qualidade do lodo da Carbonífera Criciúma foi realizada a análise imediata, de acordo com os resultados mostrados na tabela 4.

**Tabela 4.** Análise imediata do lodo da Carbonífera Criciúma.

Análise imediata	Resultado (%)
<b>Umidade</b>	0,86
<b>Cinzas</b>	62,32
<b>Matéria Volátil</b>	17,82
<b>Carbono Fixo</b>	19,87
<b>Enxofre total</b>	2,83
<b>Poder calorífico<sup>4</sup></b>	2612 cal/g

<sup>4</sup> Refere-se ao poder calorífico superior.

Como visto na tabela acima, trata-se de um rejeito e como tal, a quantidade de cinzas é alta (62,32%). Por meio da técnica de fluorescência de raios-x, determinou-se quantidades relativamente altas de  $\text{SiO}_2$  (44,081%) e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (41,499%), constituindo parte da matéria mineral da amostra, correspondendo a quartzo e argilominerais, respectivamente.

Também através de fluorescência de raios-X determinou-se os componentes das cinzas da amostra do “lodo” de rejeito, indicado na tabela 5. Os resultados estão na forma de óxidos, e também mostram os elementos traços contidos.

**Tabela 5.** Componentes da Cinza e elementos traços da amostra do lodo da carbonífera Críciúma

COMPOSTOS PRINCIPAIS		ELEMENTOS TRAÇOS
$\text{SiO}_2$	44.081 %	As
$\text{Al}_2\text{O}_3$	41,499 %	Am
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,761 %	Rh
$\text{SO}_3$	2,881 %	Cd
$\text{CaO}$	2,661 %	Ba
$\text{K}_2\text{O}$	2,093 %	
$\text{TiO}_2$	1,051 %	
$\text{MgO}$	0,749 %	
$\text{Na}_2\text{O}$	0,556 %	
Cl	0,364 %	
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,058 %	
$\text{V}_2\text{O}_5$	0,057 %	
$\text{ZrO}_2$	0,057 %	
$\text{MnO}$	0,052 %	
$\text{ZnO}$	0,041 %	
$\text{SrO}$	0,012 %	
$\text{Rb}_2\text{O}$	0,007 %	
$\text{CuO}$	0,006 %	
$\text{Y}_2\text{O}_3$	0,004 %	
$\text{CdO}$	0,003 %	
$\text{NiO}$	0,002 %	
$\text{Ga}_2\text{O}_3$	0,002 %	
$\text{NbO}$	0,002 %	



Outro parâmetro determinado no laboratório de processamento mineral-LAPROM, foi a densidade real do lodo, usando a técnica de picnometria, cujo valor foi de 2,5 g/cm<sup>3</sup>.

## **5.2 Ensaios preliminares de flotação**

Todos os ensaios foram avaliados com base em parâmetros de separações de recuperação mássica, recuperação orgânica, assim como teor de cinzas.

Dando continuidade ao trabalho para determinar a melhor performance dos reagentes, foi realizada uma primeira etapa de ensaios denominada de “preliminares de flotação”, com a finalidade de escolher o melhor comportamento dos coletores e espumantes, com uma dosagem adequada, visando a melhor recuperação mássica com o menor teor de cinzas.

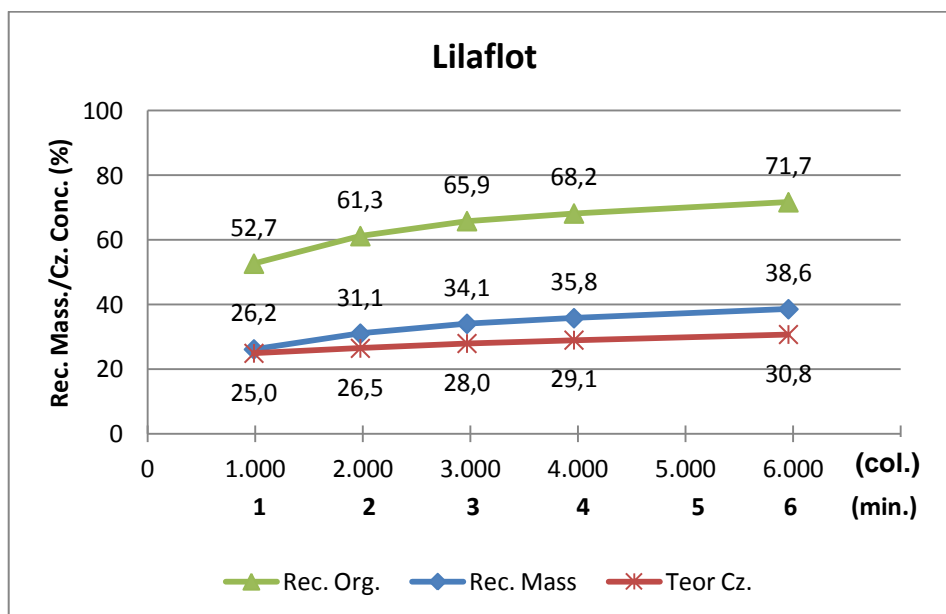
Os ensaios de flotação se realizaram com sete combinações de reagentes já descritas no item 4.7, seguindo os parâmetros de flotação conforme indica o item 4.8, de acordo com a metodologia estabelecida no item 4.9 deste estudo.

Com os resultados da análise imediata de cada um dos concentrados do ensaio de flotação obtiveram-se os dados que permitiram elaborar as curvas correspondentes à recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, como indicado na tabela 20 (em anexo H), de cada uma das combinações de reagentes ensaiados neste processo preliminar de flotação, a partir de cujos dados foram obtidas as figuras 15 a 21.

No caso do Lilafлот, conforme mostrado na figura 15, o ensaio foi realizado sem adicionar outro reagente, o que permitiu avaliar seu desempenho na função de coletor e espumante.

Como parâmetro de comparação, foram realizados os ensaios de flotação com a combinação Lilafлот/Óleo de pinho, conforme mostrado na figura 16, e de Lilafлот/MIBC, conforme aparece na figura 17. Esses ensaios visavam otimizar a fase espuma.

Em continuação mostra-se o gráfico do ensaio de flotação com o reagente Lilafлот.

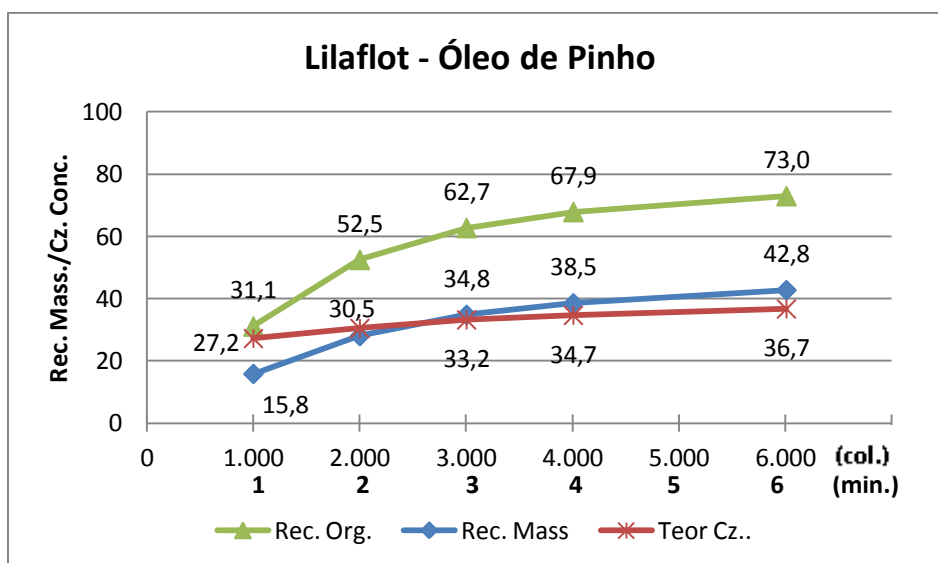


**Figura 15.** Ensaios preliminares de flotação, usando lilafлот sem adição de outro reagente no intervalo de 1000 g/t a 6000 g/t num tempo de 1 a 6 minutos

Conforme mostra a figura 15, no primeiro minuto de flotação, correspondendo a uma dosagem de Lilafлот de 1000 g/t a massa flotada e o teor de cinzas iniciam o processo de flotação com valores muito próximos. Com o aumento do tempo, no intervalo de 1 a 6 minutos de flotação e aumento de concentração de 1.000 g/t a 6.000 g/t de reagente, nota-se incrementos em recuperação mássica acumulada indo de 26,2% a 38,6% respectivamente; em relação ao teor de cinzas o incremento foi de 25% a 30,8% e a recuperação orgânica aumenta de 52,7% a 71,7%.

Pode-se concluir que para concentrações mais altas, o lilafлот apresenta uma boa recuperação mássica e seletividade, sendo que nesse sistema se observam os menores teores de cinzas.

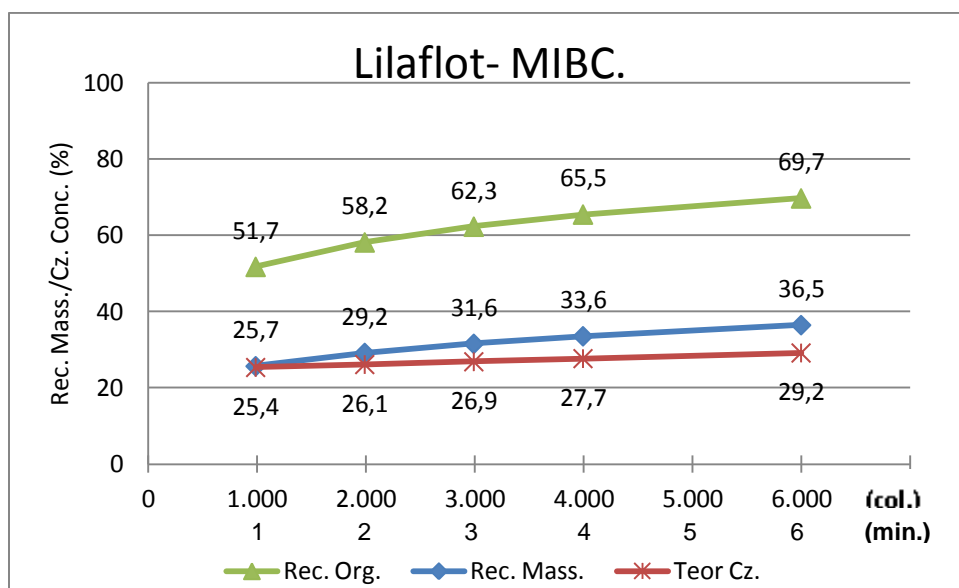
Com o intuito de conhecer o comportamento do lilafлот em combinações com espumantes, faz-se um ensaio de flotação adicionando óleo de pinho. A seguir na figura 16 mostra-se o gráfico da combinação lilafлот-óleo de pinho.



**Figura 16.** Ensaios preliminares usando Lilafлот como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e óleo de pinho como espuma nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos.

No primeiro minuto do ensaio de flotação com a combinação Lilafлот-Óleo de Pinho nas dosagens de 1.000 (g/t) e 100 (g/t) respectivamente, observa-se que o teor de Cinza apresenta um valor de 27,2% em quanto a massa carbonosa apresenta uma recuperação de 15,8%, fato explicado pelas propriedades coletoras do Óleo de Pinho, onde as partículas minerais foram hidrofobizadas pelo Óleo de pinho, minimizando o efeito desse reagente na flotação das partículas de materia orgânica, revertendo estes valores no minuto 2 a 3, onde as partículas de materia orgânica podem estar mais hidrofobizadas. No minuto 6, com uma dosagem de coletor de 6.000 (g/t) e espuma de 600 (g/t) respectivamente o concentrado mostra uma recuperação mássica de 42,8% com um teor de cinzas de 36,7% e uma recuperação orgânica de 73%.

Continuando com a procura do melhor desempenho do reagente lilafлот, desta vez utiliza-se a combinação lilafлот-MIBC, nos ensaios de flotação cujo gráfico aparece abaixo.

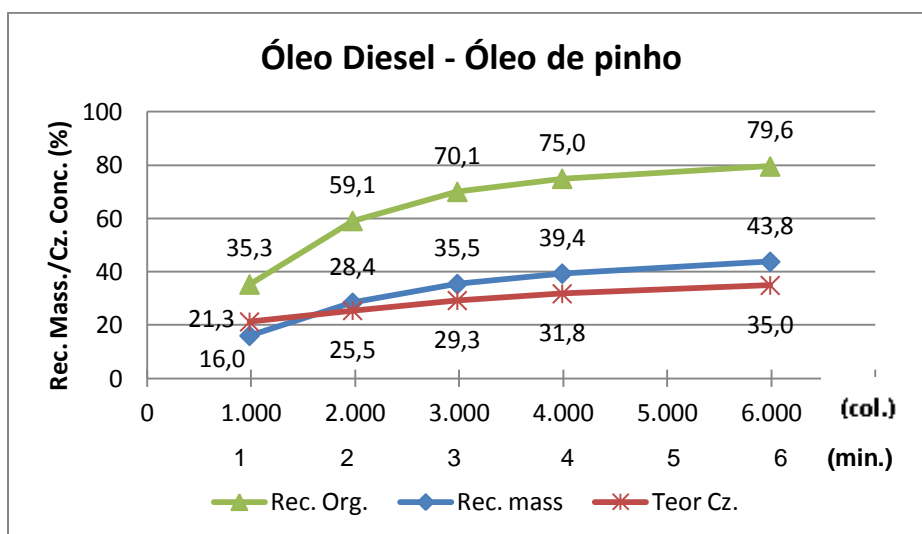


**Figura 17.** Ensaios preliminares usando lilafлот como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e MIBC como espumante nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos.

A combinação lilafлот-MIBC (figura 17) apresenta um desempenho muito similar com as curvas apresentadas no gráfico do lilafлот (figura 15). A partir desses resultados Pode-se concluir, de forma preliminar que o lilafлот não apresenta um melhor desempenho com o uso de espumante MIBC quando comparado com o sistema apenas lilafлот.

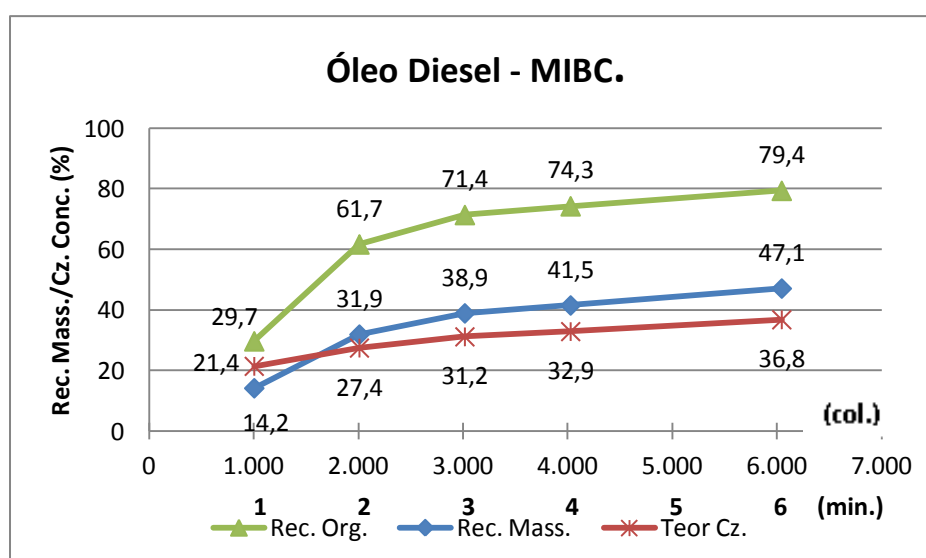
Nas fases II e III dos ensaios específicos de flotação continua-se com a avaliação do desempenho do reagente Lilafлот.

Seguindo com o plano de trabalho do fluxograma de pesquisa, ensaiou-se uma flotação com a combinação de reagentes óleo diesel - óleo de pinho, obtendo-se a figura 18.



**Figura 18.** Ensaios preliminares usando óleo diesel como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e óleo de pinho como espumante nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos.

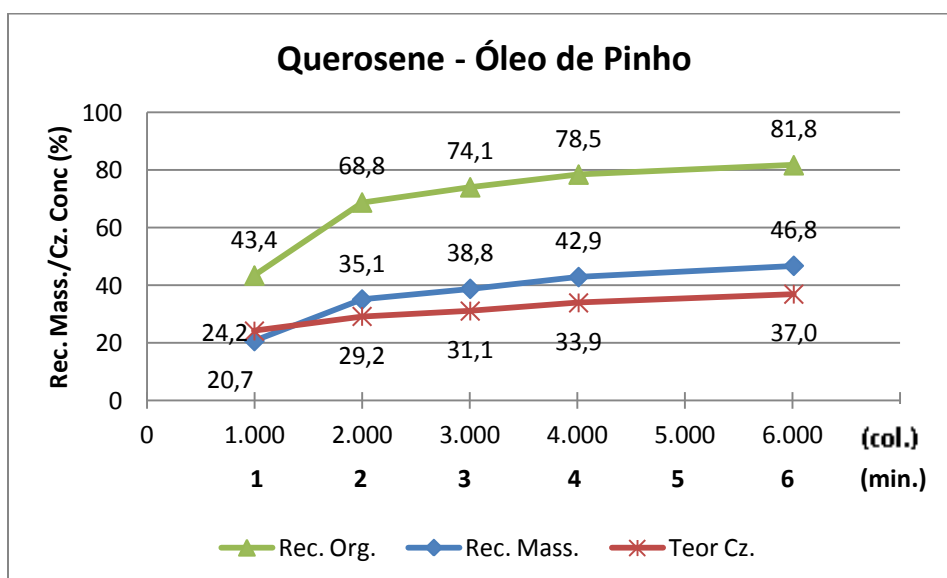
Na figura 18 pode-se observar que a ação coletora do óleo de pinho está presente no primeiro minuto da flotação, fato mostrado pela maior concentração de cinzas. A partir do minuto 2 com o aumento da concentração de óleo diesel, a recuperação mássica aumenta até chegar a 43,8% para um tempo de 6 minutos de flotação e com teor de cinzas em torno de 35,0% para uma recuperação orgânica de 79,6% com uma concentração de reagentes de 6.000 g/t de óleo diesel e 600 g/t de óleo de pinho.



**Figura 19.** Ensaios preliminares usando óleo diesel como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e MIBC como espumante nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos.

Na figura 19, observa-se que no primeiro minuto de flotação a ação do espumante MIBC (100 g/t) combinado com a pouca concentração do coletor óleo diesel (1000 g/t) gera uma concentração de cinzas elevada em torno de 21,4% para uma recuperação mássica de apenas 14,2%. Incrementando-se o tempo de flotação para 6 minutos e concentração dos reagentes de 6000 g/t (óleo diesel) e 600 g/t (MIBC), consegue-se recuperações mássicas em torno de 47,1% e teor de cinzas em torno de 36,8% com uma recuperação orgânica de 79,4%.

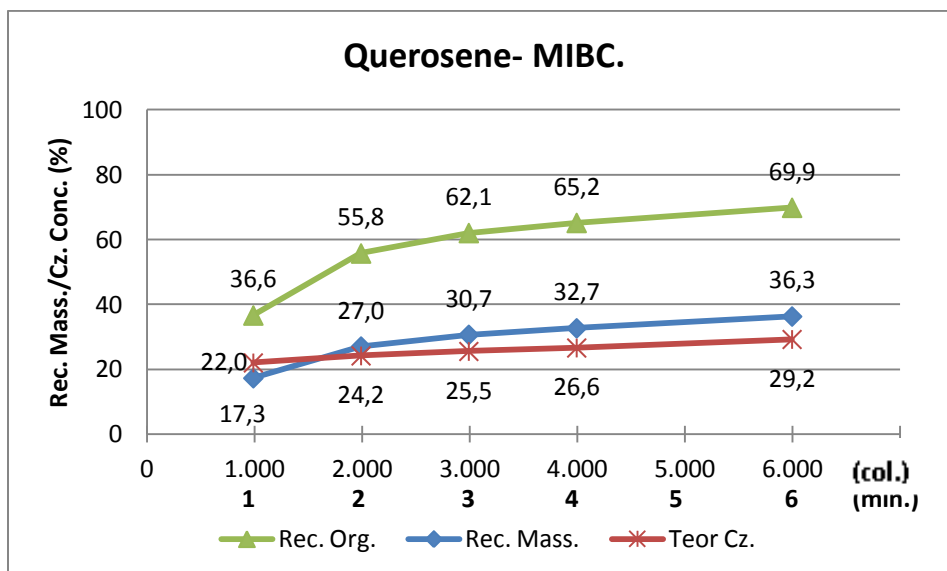
Nesses ensaios os melhores resultados estão entre 3000 g/t e 4000 g/t de óleo diesel com 300 g/t e 400 g/t. de MIBC respectivamente.



**Figura 20.** Ensaios preliminares usando querosene como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e óleo de pinho como espumante nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos.

A combinação de reagentes querosene - óleo de pinho, no ensaio de flotação mostrado na figura 20 indica que, para o primeiro minuto com uma concentração de reagentes de 1000 g/t de coletor e de 100 g/t de espumante, verifica-se uma recuperação mássica de 20,7% e teor de cinzas de 24,2%. Tais valores mostram a ação coletora do Óleo de Pinho, que incrementa a hidrofobicidade de partículas minerais. O incremento da recuperação mássica no tempo de 6 minutos de flotação foi de 46,8%, o teor de cinzas de 37,0% e a recuperação orgânica de 81,8%.

Também nesses ensaios os melhores resultados se verifica para as concentrações de 3000 g/t e 4000 g/t de querosene com 300 g/t e 400 g/t. de óleo de pinho respectivamente.



**Figura 21.** Ensaios preliminares usando querosene como coletor nas dosagens de 1000 g/t a 6000 g/t e MIBC como espumante nas dosagens de 100 g/t a 600 g/t em um intervalo de tempo de 1 a 6 minutos.

Como mostrado na figura 21, a combinação querosene-MIBC parece mostrar uma ação seletiva do espumante MIBC, fato importante para não contaminar o concentrado. A partir do minuto dois até o sexto minuto, com o aumento da dosagem de coletor e espumante, observa-se recuperações acumuladas de massa em torno de 36,3%, teor de cinzas de 29,2% e recuperação orgânica de 69,9%.

Verifica-se nesses ensaios que os melhores resultados foram para as concentrações de 3000 g/t e 4000 g/t de querosene com 300 g/t e 400 g/t. de MIBC respectivamente.

### 5.3 Ensaios específicos de flotação – Fase II

Continuando com o estudo do melhor desempenho das combinações de reagentes, e de acordo com os dados fornecidos pode-se ampliar o estudo de pesquisa, desta vez fazendo parte da fase II, com a seguinte combinação de reagentes: Querosene-MIBC, Óleo Diesel-MIBC, Lilafлот-MIBC e Lilafлот.

### 5.3.1 Ensaio de flotação mantendo fixo o espumante

Uma vez determinadas as combinações de reagentes que apresentam melhor desempenho nos ensaios de flotação anteriores, passamos a uma segunda fase, dando prioridade à variação de coletor nas dosagens de 1.000 g/t, 2.000 g/t, 4.000 g/t, 5.000 g/t e 6.000 g/t, e mantendo o espumante fixo com uma dosagem de 400 g/t.

As combinações estudadas nesta segunda fase de flotação em bancada são as seguintes:

- Querosene - MIBC
- Óleo Diesel - MIBC
- Lilafлот - MIBC
- Lilafлот

O objetivo desta segunda fase é avaliar o comportamento dos coletores usando o espumante fixo (MIBC), dada a sua melhor performance nos estudos realizados anteriormente neste trabalho.

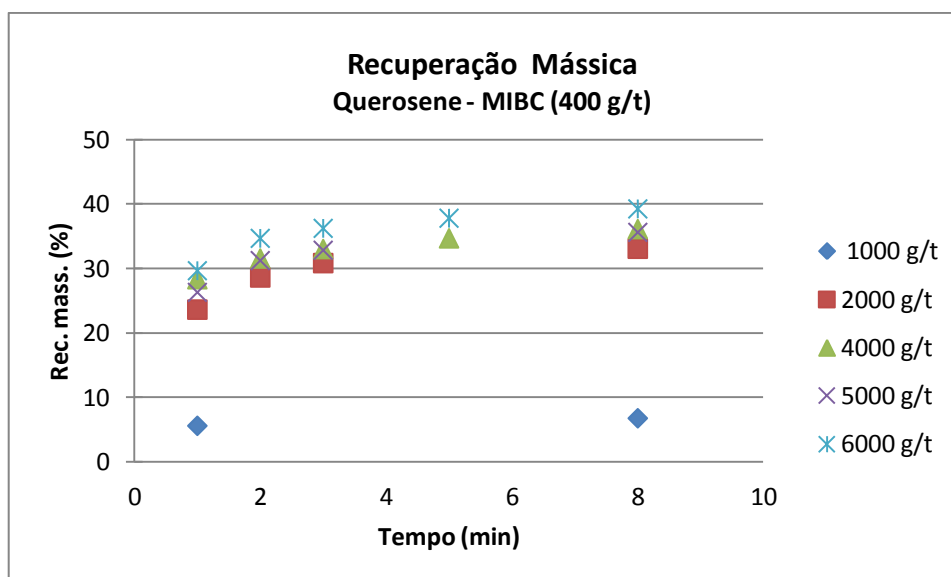
Continuando com a avaliação do reagente lilafлот fez-se um estudo particular, neste caso sem adição de espumante.

Com os resultados obtidos das flotações, foram confeccionados os gráficos mostrando as curvas de recuperação mássica, recuperação orgânica, e teor de cinzas.

#### 5.3.1.1 Querosene – (MIBC fixo em 400 g/t).

Fazendo parte da segunda fase dos ensaios de flotação, com resultados plotados na tabela 21 (adendo H) mostra-se as figuras 22 a 24, com as curvas das recuperações: mássica, orgânica e teor de cinzas em função do tempo. Foi usado o reagente Querosene como coletor nas concentrações de 1.000 g/t, 2.000 g/t, 4.000 g/t, 5.000 g/t e 6.000 g/t e MIBC como espumante, na concentração de 400 g/t. As curvas que representam cada combinação individual de reagentes estão mostradas nas figuras 53 a 57 (adendo A).

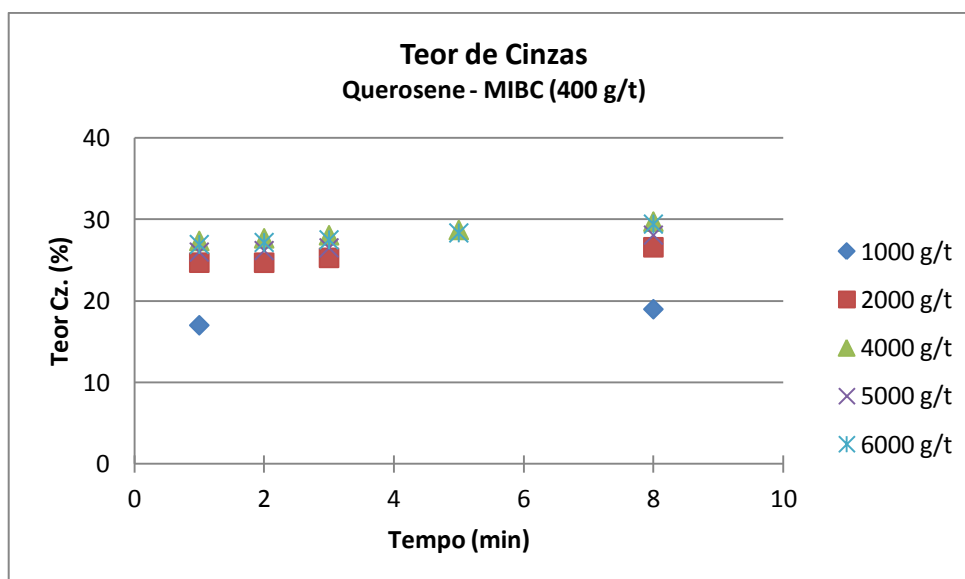




**Figura 22.** Ensaio específicos de flotação fase II - Recuperação mássica Querosene – MIBC (400 g/t).

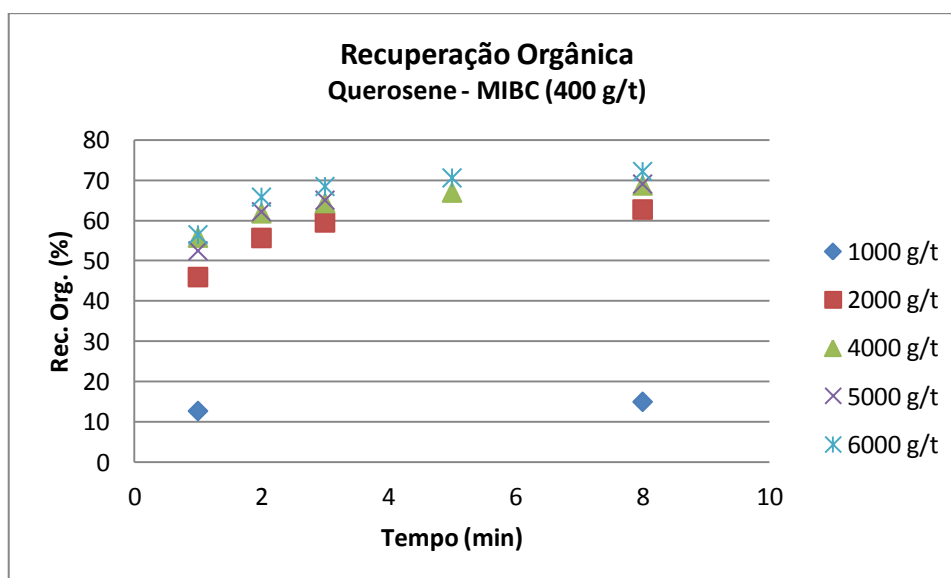
A figura 22 mostra as curvas que representam a recuperação mássica para as concentrações de coletor analisadas para este ensaio, lembrando que o espumante se manteve constante em 400 g/t.

Como pode-se observar no gráfico, a recuperação mássica para a dosagem de coletor de 1000 g/t, apresenta uma recuperação muito baixa, além das expectativas propostas não havendo uma efetividade do coletor, fenômeno que pode ser atribuído a grande quantidade de finos para pouca quantidade de coletor, onde o coletor foi totalmente adsorvido pelas partículas finas. A partir da concentração de 2.000 g/t de coletor, inicia-se uma interação bolha-partícula, causada pelo reforçamento da hidrofobicidade que aumenta de acordo com o incremento da dosagem de coletor. As curvas não apresentam variações significativas com a adição do coletor em função do tempo. Neste ensaio pode-se considerar tres curvas que apresentam uma melhor *performance* de acordo com a cinética de flotação, que são as combinações querosene (4000 g/t) com MIBC (400 g/t), querosene (5000 g/t) com MIBC (400 g/t) e querosene (6000 g/t) com MIBC (400 g/t), para uma flotação de 3 minutos.



**Figura 23.** Ensaio específico de flotação fase II: Teor de Cinzas, Querosene – MIBC (400 g/t).

De acordo com a figura 23, onde mostra as curvas que representam o teor de cinzas pode-se observar que os pontos plotados apresentam-se de uma forma quase que constante ao longo do tempo de flotação, fato explicado pela seletividade do espumante. Os melhores desempenhos das curvas se verificam para a combinação querosene (4000 g/t) com MIBC (400 g/t), querosene (5000 g/t) com MIBC (400 g/t) e querosene (6000 g/t) com MIBC (400 g/t).



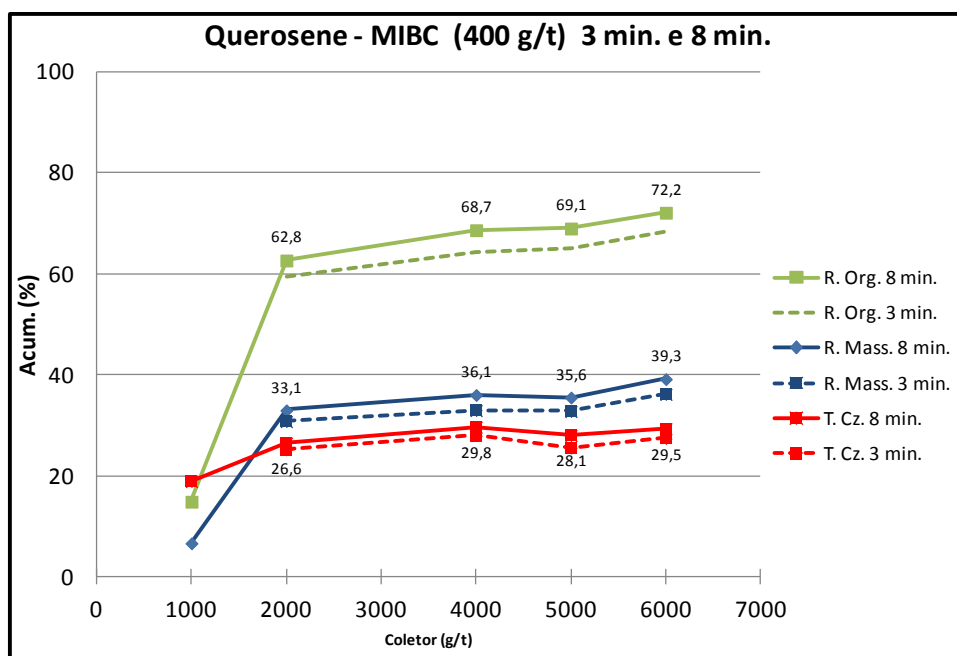
**Figura 24.** Ensaio específico de flotação: Recuperação Orgânica, Querosene – MIBC (400 g/t).

O gráfico da figura 24 mostra as curvas que representam a recuperação orgânica para a combinação querosene - MIBC, estas curvas não apresenta grandes variações a exceção da concentração de 1.000 g/t onde o ensaio apresenta valores baixos. Os melhores desempenhos das curvas se verifica para a combinação querosene (4000 g/t) com MIBC (400 g/t), querosene (5000 g/t) com MIBC (400 g/t) e querosene (6000 g/t) com MIBC (400 g/t) para um tempo de flotação de 3 minutos.

Analisando desde outro ponto de vista, consideram-se os valores obtidos no final do ensaio de flotação em bancada (8 minutos), como mostrado na tabela 6.

**Tabela 6.** Valores acumulados no oitavo minuto, em função do incremento do coletor Querosene, mantendo fixo o espumante (MIBC) em 400 g/t.

Dos. Col. (g/t)	Rec. Mass. Acum. (%)	Rec. Org. Acum. (%)	Teor Cz. Acum. (%)
1000	6,79	15,02	19,01
2000	33,10	62,76	26,61
4000	36,14	68,75	29,76
5000	35,64	69,08	28,10
6000	39,28	72,21	29,46

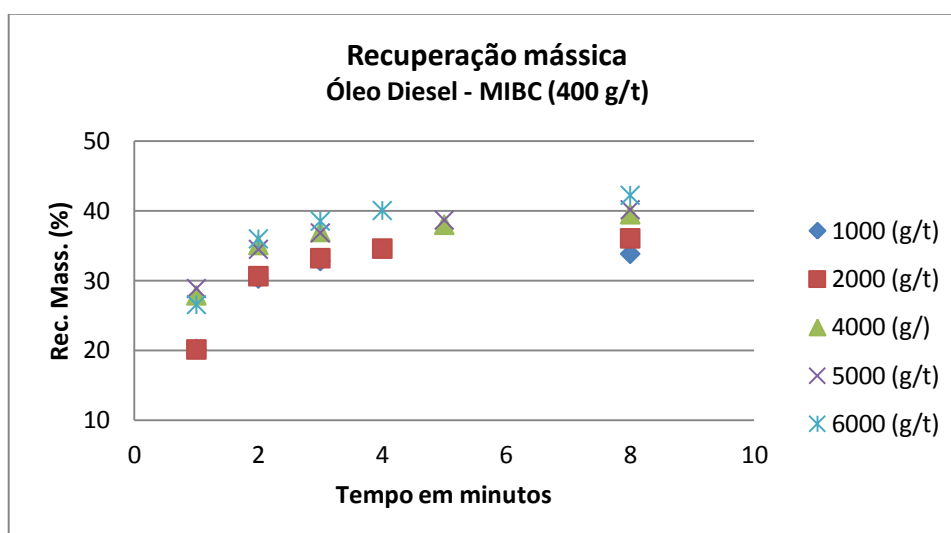


**Figura 25.** Ensaio específicos de flotação fase II: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 3 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do coletor (querosene) e mantendo fixo o espumante (MIBC) em 400 g/t.

A figura 25 mostra as recuperações mássicas, orgânicas e teores de cinza para cada uma das combinações de concentração dos reagentes Querosene - MIBC, estipuladas anteriormente, como pode-se observar no gráfico, não existe variações importantes de recuperação mássica, e tampouco de teor de cinzas no final do ensaio de flotação (8 minutos), podendo-se determinar que a concentração de coletor em 2.000 g/t, atingiria o equilíbrio na flotação, isto implicaria em uma economia de coletor, já que a partir desta dosagem as recuperações mássicas e teor de cinzas demonstram ser melhores. Com relação às recuperações e teor de cinzas para 3 minutos de flotação não apresentam variações significativas, podendo-se estimar que uma flotação rápida em um estágio pode adotar-se.

### 5.3.1.2 Óleo Diesel – (MIBC com 400 g/t)

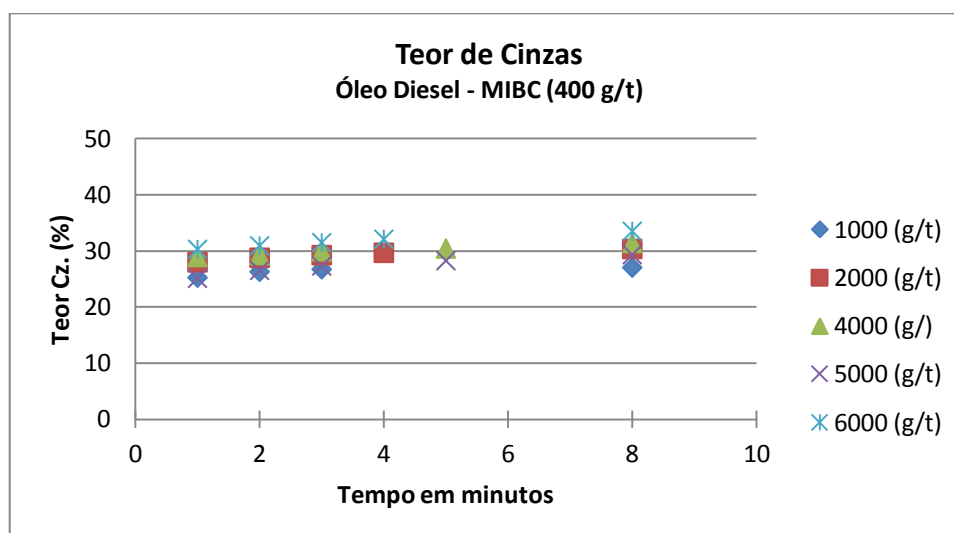
Ainda na fase II deste trabalho foi realizada uma segunda bateria de ensaios específicos, cujos resultados são mostrados na tabela 22 (adendo H). Com óleo diesel nas concentrações de 1.000 g/t, 2.000 g/t, 4.000 g/t, 5.000 g/t e 6.000 g/t e MIBC fixo na concentração de 400 g/t, são construídas as curvas da recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas em função do tempo, conforme mostrado nas figuras 26, 27 e 28. As curvas que representam cada combinação individual de concentrações estão mostradas nas figuras 58 a 62 (adendo B).



**Figura 26.** Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação mássica, Óleo Diesel – MIBC (400 g/t).

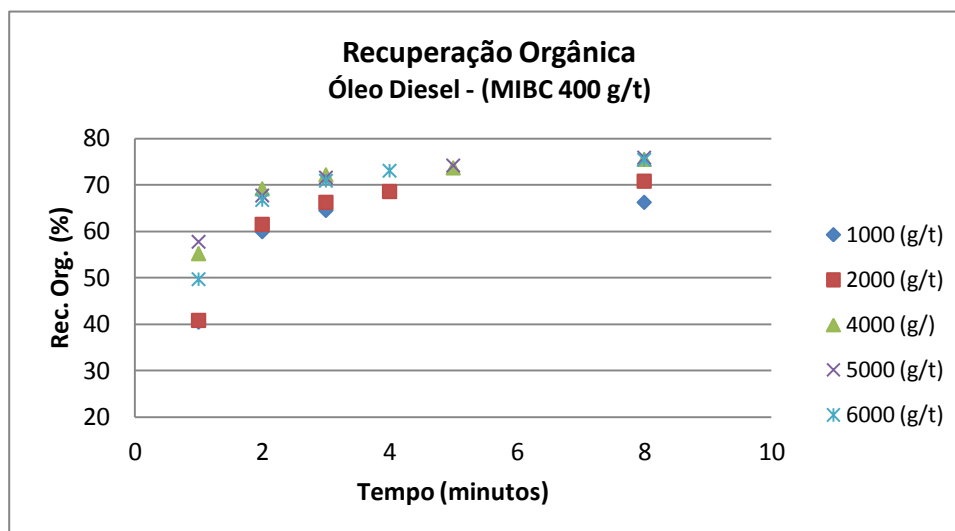
Como pode-se observar na figura 26, a maior recuperação de massa é para a dosagem de 6.000 g/t de coletor, mostrando um valor percentual de 42,18%, embora esta recuperação implique num consumo excessivo de reagente, já que a partir do minuto 3 as partículas mais hidrofóbicas flotaram, deixando a polpa com menos matéria carbonosa, indicado pelo equilíbrio das recuperações mássicas mostrada na curva do gráfico.

Pode-se considerar duas curvas que apresentaram uma melhor *performance* de flotação, que são as combinações OD 4.000 (g/t) – MIBC 400 (g/t) e OD 5.000 (g/t) - MIBC 400 (g/t), com valores mássicos de 36,93% e 36,79% respectivamente, que correspondem aos três minutos de flotação.



**Figura 27.** . Ensaio específico de flotação fase II: Teor de Cinzas, Óleo Diesel – MIBC (400 g/t).

A figura 27 apresenta de uma forma quase que constante o teor de cinzas para cada uma das combinações de reagente ao longo do tempo de flotação, fato explicado pela seletividade do espumante e a não interferência do coletor na parte mineral da polpa ensaiada. Para o intervalo de três e quatro minutos de flotação o teor de cinzas foi de 29,93% a 27,28% com a dosagem de óleo diesel de 4000g/t a 5000 g/t respectivamente.



**Figura 28.** Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação Orgânica, Óleo Diesel – MIBC (400 g/t).

Na figura 28, o melhor desempenho das curvas se verifica para a combinação OD 4.000 (g/t) - MIBC 400(g/t) e OD 5.000 (g/t) – MIBC 400 (g/t), para uma flotação de 3 minutos, onde a curva fica constante. A partir do minuto três os valores percentuais da recuperação orgânica praticamente se tornam constantes em função do tempo.

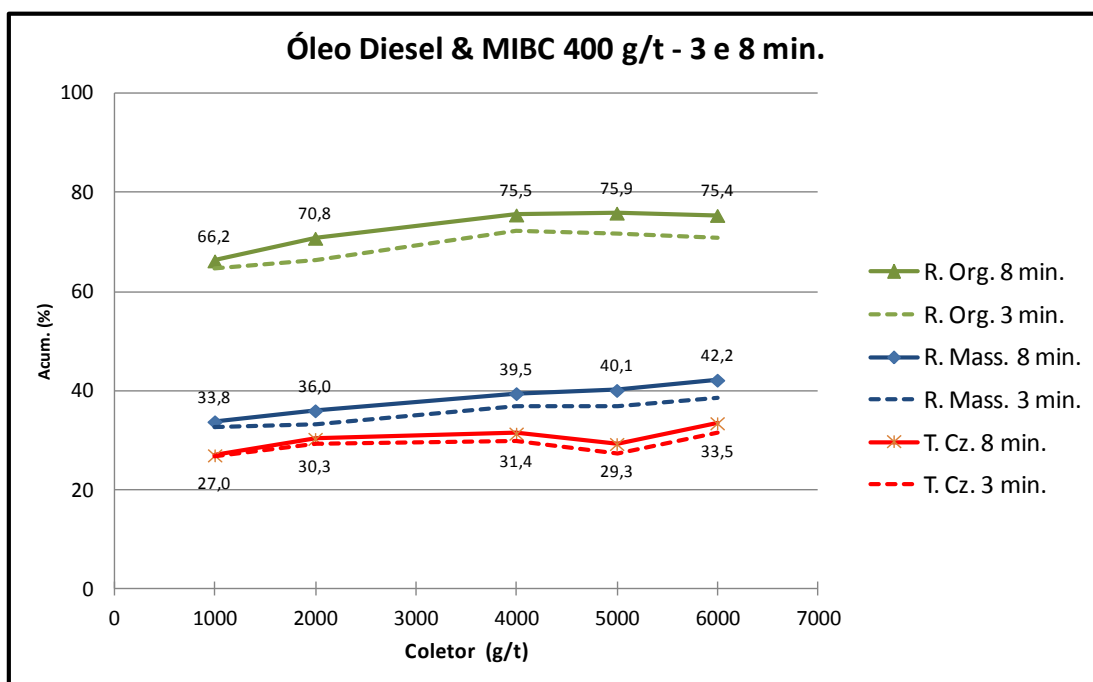
A continuação mostram-se na tabela 7, os valores percentuais obtidos no final do ensaio de flotação em bancada (8 minutos) para o coletor Óleo Diesel, mantendo o espumante fixo em 400 g/t,

**Tabela 7.** Recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas em função do coletor Óleo Diesel e MIBC (400 g/t).

Dos. Col. (g/t)	Rec. Mass. Acum. (%)	Rec. Org. Acum. (%)	Teor Cz. Acum. (%)
1000	33,79	66,24	27,02
2000	36,01	70,80	30,34
4000	39,47	75,50	31,40
5000	40,11	75,87	29,31
6000	42,18	75,41	33,50

De acordo com os valores indicados acima, determinam-se as curvas de recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas acumuladas, como

mostra a figura 29, para percentuais obtidos no terceiro minuto de flotação. No gráfico também mostram-se as curvas para flotação num tempo de oito minutos.

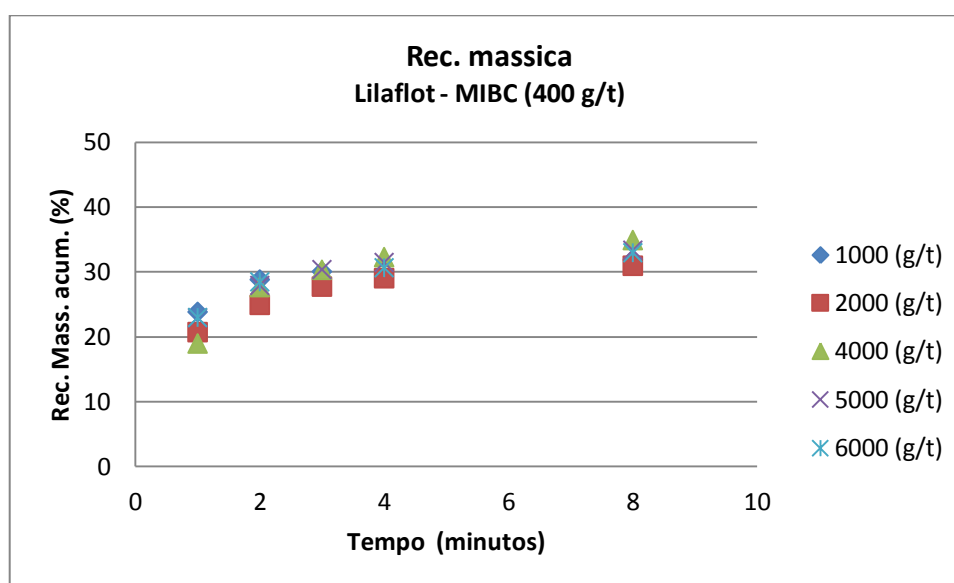


**Figura 29.** Ensaios específicos de flotação fase II: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 3 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do coletor (óleo diesel) e mantendo fixo o espumante (MIBC) em 400 g/t

A figura 29 mostra as recuperações mássicas, orgânicas e teores de cinza para cada uma das combinações do coletor Óleo Diesel-MIBC. Como pode-se observar na figura, não existem variações importantes de recuperação mássica e tampouco de teor de cinzas. Em função da concentração de coletor pode-se determinar através do gráfico que a melhor concentração de coletor estaria em torno de 4.000 g/t, ponto onde começa a inflexão da curva que determina a recuperação de equilíbrio. O gráfico também mostra as recuperações e teor de cinzas para uma flotação de 3 minutos.

### 5.3.1.3 Lilafлот – (MIBC com 400 g/t)

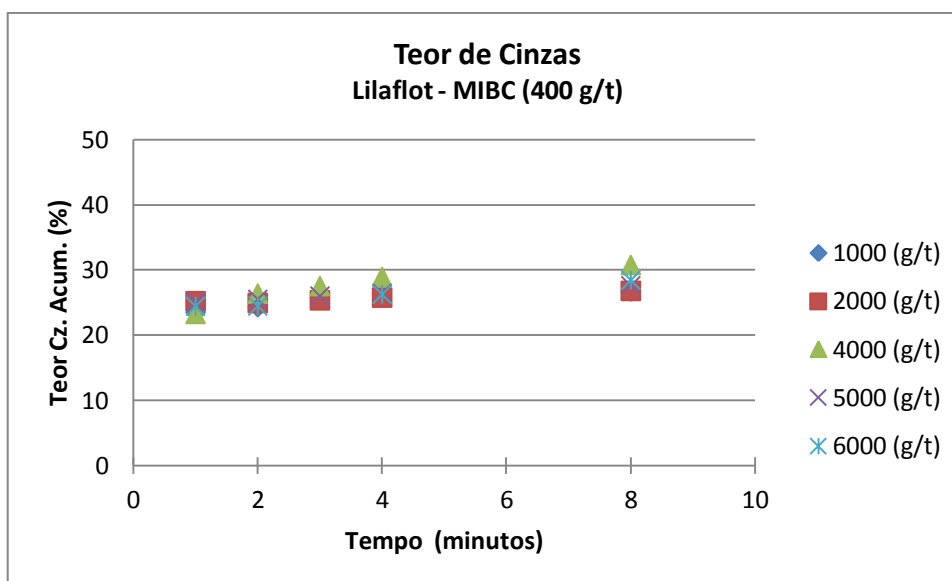
Uma terceira bateria de ensaios de flotação em bancada, usando o regente lilafлот nas concentrações de 1.000 g/t, 2.000 g/t, 4.000 g/t, 5.000 g/t e 6.000 g/t. Com dados mostrados conforme a tabela 23 (adendo H) e com as curvas plotadas segundo as figuras 30 a 32, com o espumante MIBC fixo em 400 g/t, onde mostram a recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas em função do tempo. As curvas que representam cada combinação individual de concentrações estão mostradas nos gráficos 63 a 67 (adendo C).



**Figura 30.** Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação mássica, Lilafлот-MIBC em função do tempo.

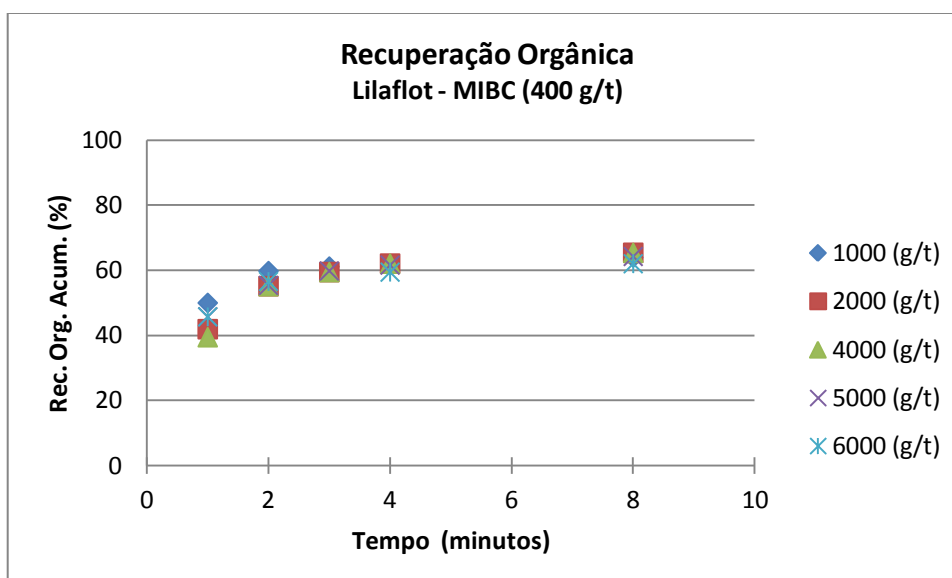
A figura 30 mostra as recuperações mássicas acumuladas, em função do tempo de cada uma das concentrações estipuladas anteriormente. Neste gráfico não se percebe uma mudança significativa com relação à adição de coletor, praticamente se comporta de uma maneira uniforme, podendo determinar-se que, o melhor comportamento da dosagem de coletor foram em torno de 4.000 e 5.000 g/t.





**Figura 31.** Ensaio específico de flotação fase II: Teor de Cinzas, lilafлот-MIBC em função do tempo.

Com relação ao teor de cinzas, a figura 31 mostra que as curvas praticamente mantêm-se constantes, ao longo do ensaio de flotação, podendo determinar-se que o melhor desempenho do coletor foram para as dosagens de 4.000 a 5.000 g/t.



**Figura 32.** Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação orgânica, lilafлот-MIBC em função do tempo.

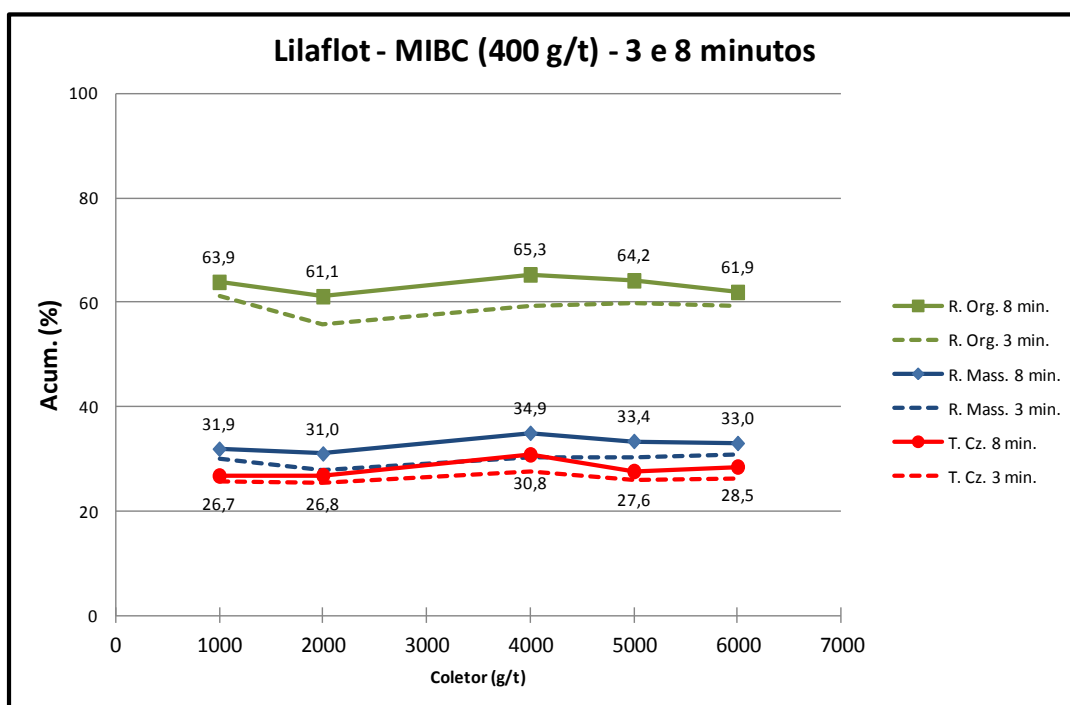
Como apresentado nos gráficos anteriores (recuperação mássica e teor de cinzas) o desempenho do Lilafлот é pouco significativo na recuperação orgânica, como mostrado na figura 32. As curvas das diferentes concentrações de coletor mostram um comportamento similar em função do tempo.

Considerando os valores percentuais obtidos no final do ensaio de flotação em bancada aos oito minutos, como mostrado na tabela 8 para o coletor lilafлот, mantendo fixo o espumante MIBC em 400 g/t.

**Tabela 8.** Recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas em função do coletor lilafлот e MIBC (400g/t).

<b>Dos. Col. (g/t)</b>	<b>Rec. Mass Acum (%)</b>	<b>Rec. Org. Acum (%)</b>	<b>Teor Cz. Acum (%)</b>
<b>1000</b>	31,87	63,85	26,74
<b>2000</b>	30,97	61,10	26,82
<b>4000</b>	34,92	65,28	30,79
<b>5000</b>	33,36	64,15	27,60
<b>6000</b>	32,97	61,93	28,46

De acordo com os valores indicados na tabela 8, determinam-se as curvas de recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, acumulados como mostra a figura 33 para 8 minutos de flotação. No gráfico também se indicam as curvas para 3 minutos de flotação.

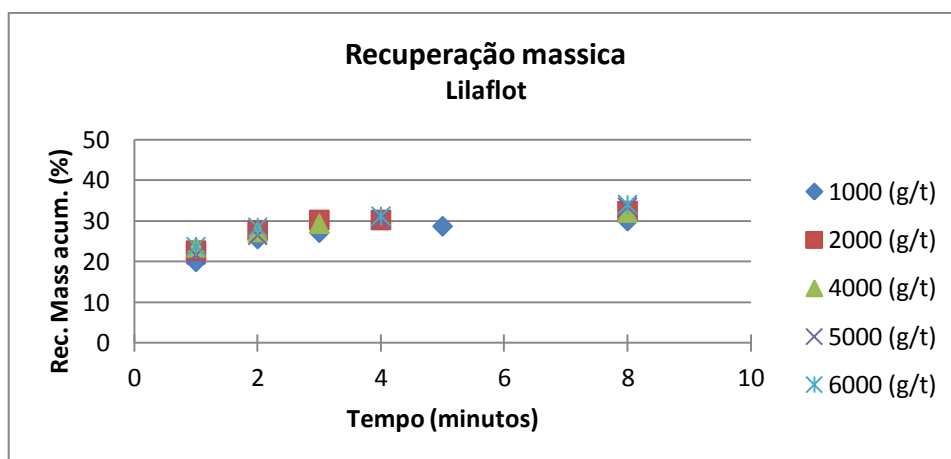


**Figura 33.** Ensaios específicos de flotação fase II: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 3 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do coletor (lilafлот) e mantendo fixo o espumante (MIBC) em 400 g/t

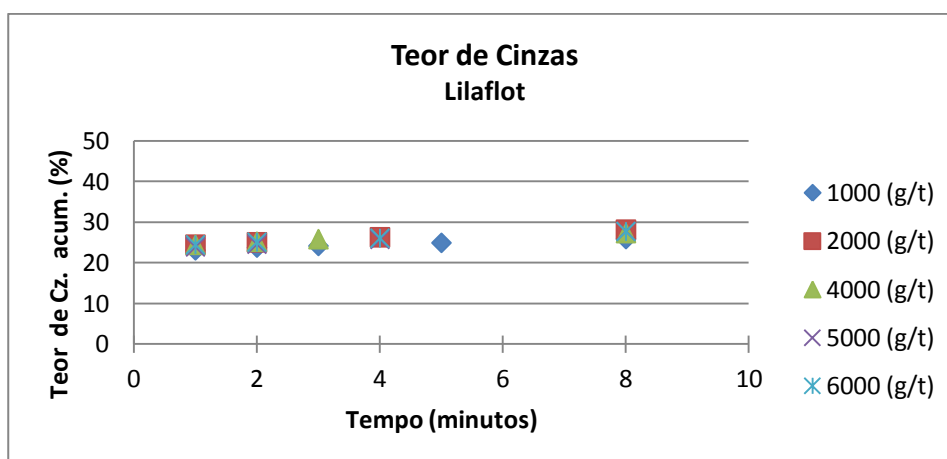
Observando a Figura 33 praticamente não existe variação no comportamento das curvas com o incremento nas dosagens de coletor, mostrando a pouca reação do coletor no aumento da hidrofobicidade das partículas orgânicas.

#### 5.3.1.4 Lilafлот sem espumante

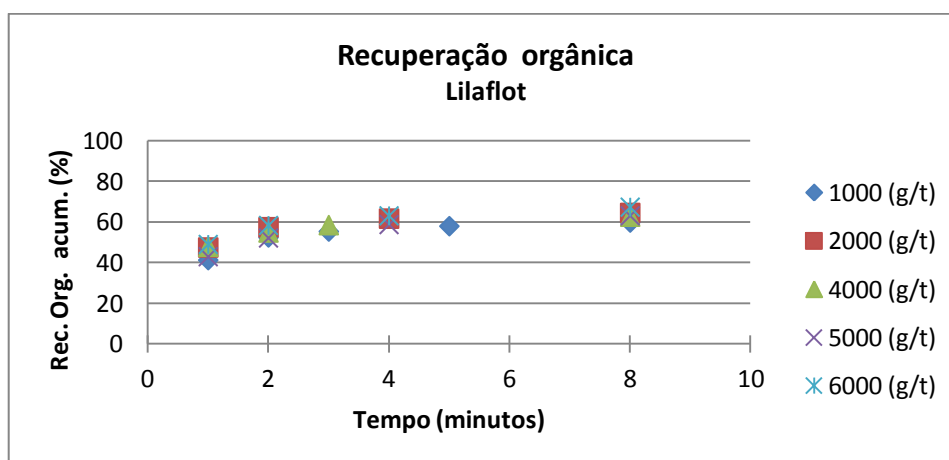
Continuando com a pesquisa, procurando compreender o comportamento do reagente lilafлот realiza-se uma terceira bateria de ensaios específicos. Neste caso fez-se ensaios sem espumante, nas concentrações de 1000 g/t, 2000 g/t, 4000 g/t, 5000 g/t e 6000 g/t conforme mostra a tabela 24 (adendo H), visando verificar seu desempenho na flotação. Como mostra as figuras 34, 35, e 36. As curvas que representam cada combinação individual de concentrações estão mostradas nos gráficos 68 a 72 (adendo D).



**Figura 34.** Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação mássica - Lilafлот sem espumante.



**Figura35.** Ensaio específico de flotação fase II: Teor de Cinzas – Lilafлот sem espumante.



**Figura 36.** Ensaio específico de flotação fase II: Recuperação orgânica – Lilafлот sem espumante.

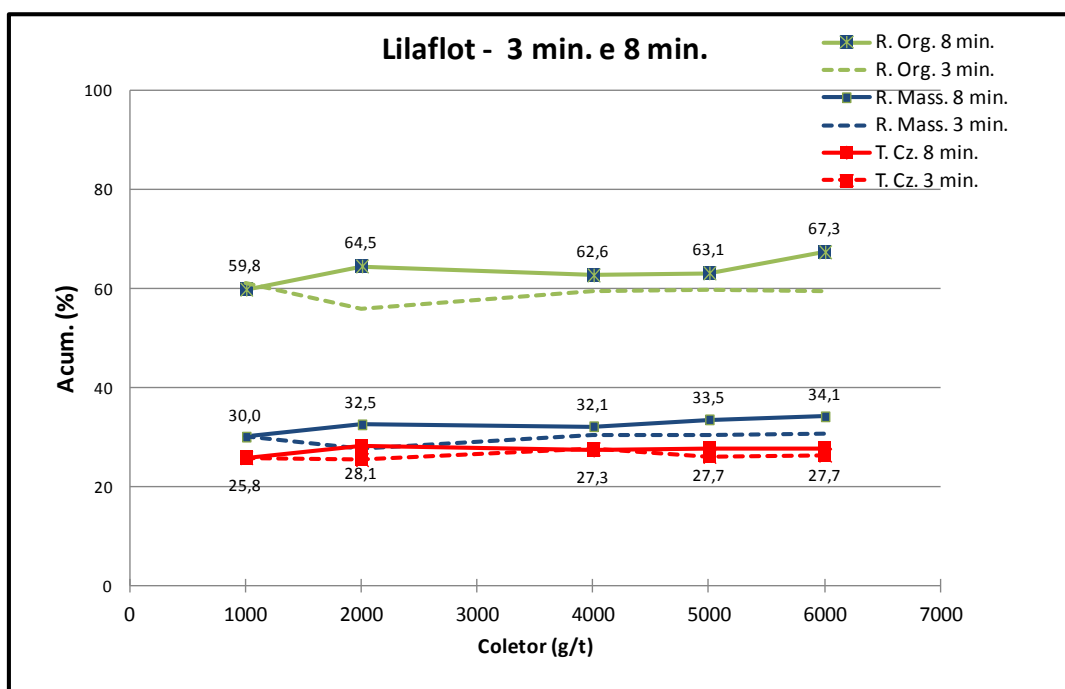
As figuras 34, 35 e 36, mostram a recuperação mássica, teor de cinzas e recuperação orgânica para o reagente lilafлот, com dosagens de 1000 g/t, 2000 g/t, 4000 g/t, 5000 g/t e 6000 g/t. Pode-se perceber que, as curvas indicam resultados similares aos ensaios na qual foi adicionando o espumante MIBC.

A tabela 9 mostra os resultados do ensaio realizado para o reagente lilafлот, que correspondem ao oitavo minuto, que foi o período de tempo em que finalizou a flotação em bancada.

**Tabela 9.** Recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, em função do coletor lilafлот para oito minutos de flotação.

<b>Dos. Col.</b> <b>(g/t)</b>	<b>Rec. Mass.</b> <b>Acum (%)</b>	<b>Rec. Org.</b> <b>Acum (%)</b>	<b>Teor Cz.</b> <b>Acum. (%)</b>
<b>1000</b>	30,01	59,76	25,83
<b>2000</b>	32,48	64,45	28,14
<b>4000</b>	32,10	62,64	27,30
<b>5000</b>	33,49	63,07	27,73
<b>6000</b>	34,10	67,31	27,70

A figura 37 mostra as curvas de recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas acumuladas, para três e oito minutos de flotação. Verificando-se que para três minutos de flotação foi suficiente para obter recuperações aceitáveis, podendo-se determinar que se tratar de uma flotação rápida.



**Figura 37.** Ensaios específicos de flotação fase II: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 3 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do coletor (lilafлот) sem adição de espuma.

### 5.3.2 Ensaios específicos de flotação mantendo fixo o coletor- fase III

Uma terceira fase de flotação em bancada foi realizada com o lodo, com a finalidade de continuar otimizando o desempenho dos reagentes.

Neste caso fixa-se o coletor na dosagem de 4.000 g/t variando-se o espuma nas dosagens de 300 g/t, 500 g/t, e 600 g/t. Para a dosagem de espuma 400 g/t os dados foram obtidos dos ensaios realizados na fase II.

As combinações propostas foram as seguintes:

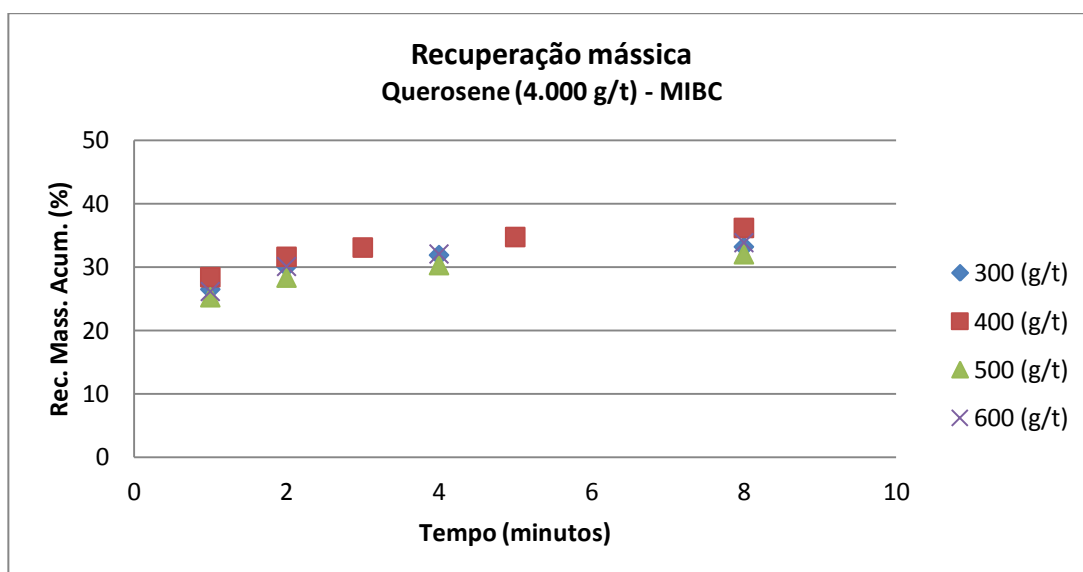
- Querosene-MIBC
- Óleo Diesel-MIBC
- Lilafлот-MIBC

Para a combinação Lilafлот-MIBC, o coletor foi fixado em 2.000 g/t.

Os ensaios de flotação de bancada, para a fase III, seguem os mesmos parâmetros operativos e de execução que os anteriormente realizados.

### 5.3.2.1 Querosene fixo, variando a dosagem do Espumante MIBC

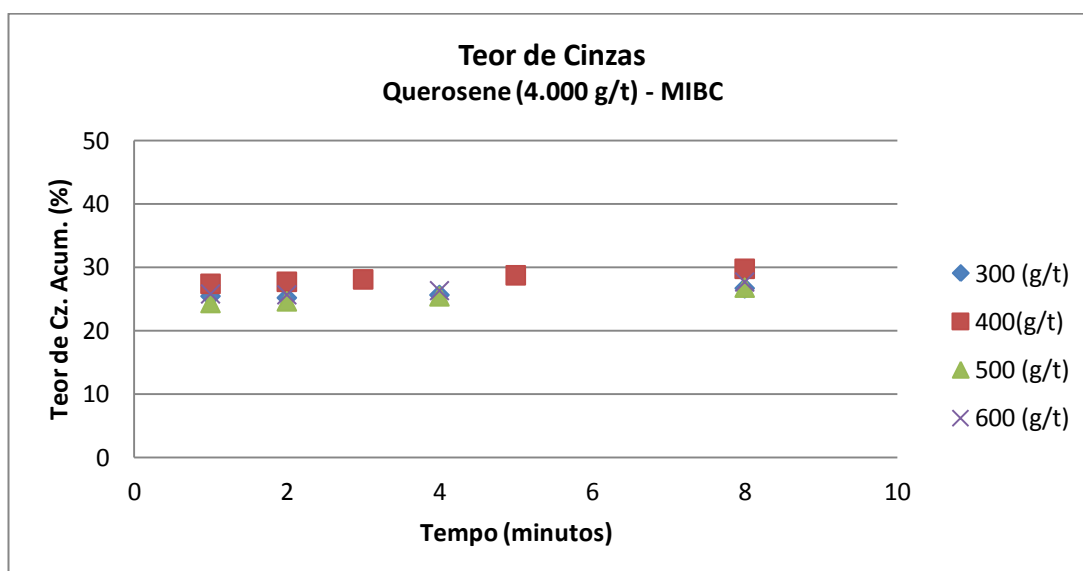
Continuando com os ensaios chega-se à fase III, inicia-se com a combinação de reagentes querosene na concentração fixa de 4.000 g/t. e varia-se a concentração do espumante MIBC em 300 g/t, 400 g/t, 500 g/t e 600 g/t com resultados mostrados na tabela 25 (adendo H), dados que permitiram construir as curvas conforme mostrando nas figuras 38 a 40. As curvas que representam cada combinação individual de concentrações estão mostradas nos gráficos 73 a 75 (adendo E).



**Figura 38.** Ensaio específico de flotação fase III: Recuperação mássica, variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (Querosene) em 4.000 g/t.

O gráfico da figura 38 mostra as curvas que representam a recuperação mássica de todas as concentrações de reagentes estipuladas para este ensaio, lembrando que o coletor se manteve constante em 4.000 g/t.

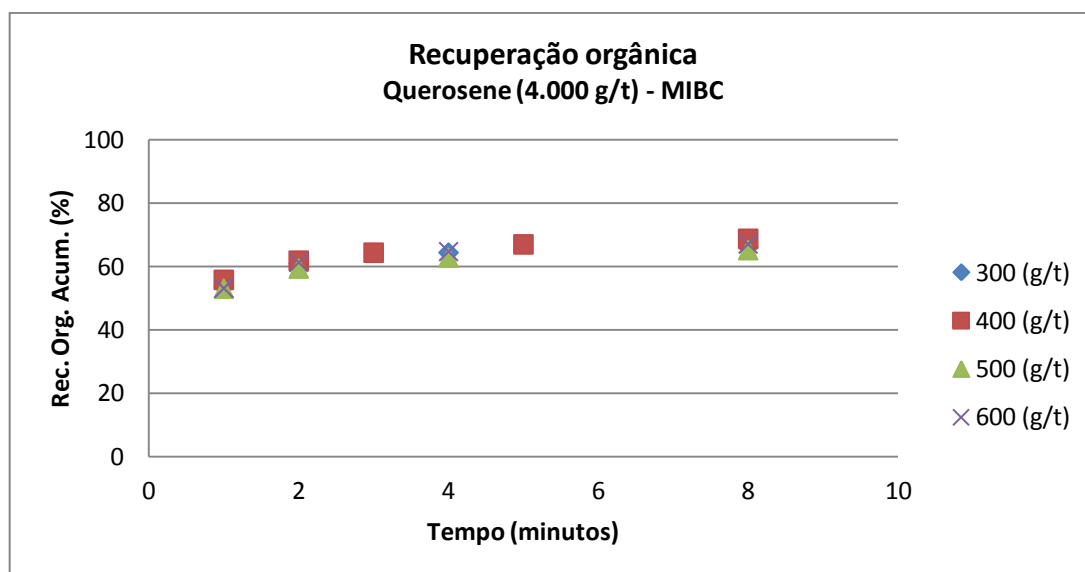
Como observa-se no gráfico, variando a concentração de espumante, as recuperações mássicas não são significativas, mantém-se praticamente constantes ao longo do tempo do ensaio, indo de 31,86% a 32,04% de dois a quatro minutos de flotação respectivamente, onde verifica-se o equilíbrio da recuperação.



**Figura 39.** Ensaio específico de flotação fase III: Teor de cinzas, variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (Querosene) em 4.000 g/t.

De acordo com a figura 39 que representa as curvas do teor de cinzas, pode-se observar que os pontos plotados se apresentam de uma forma quase que constante ao longo do tempo de flotação, variando os teores de cinzas de 25,44% a 27,68%, o que indica que não houve um desempenho significativo do espumante, com o aumento da dosagem.





**Figura 40.** . Ensaio específico de flotação fase III: Recuperação orgânica, variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (querosene) em 4.000 g/t.

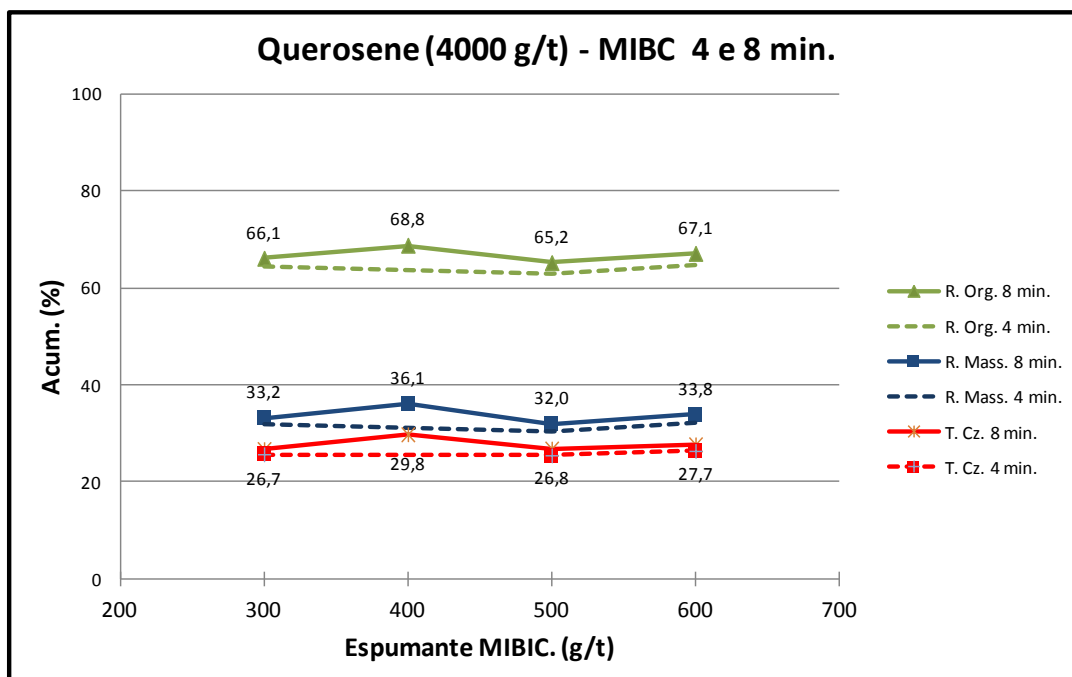
Na figura 40, pode-se observar que as curvas de recuperação orgânica apresentam poucas variações no seu desempenho com o incremento da dosagem de espumante, indo de 64,38% a 64,72%, para o tempo de flotação 2 a 4 minutos respectivamente, onde verifica-se o equilíbrio das recuperações.

Considerando-se os valores obtidos no final do ensaio de flotação em bancada, isto é aos oito minutos para o querosene, mantendo uma dosagem fixa de 4.000 g/t em combinação com MIBC, onde varia-se a dosagem em 300 g/t, 400 g/t, 500 g/t e 600 g/t. foi construída a tabela 10.

**Tabela 10.** Recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, em função do espumante MIBC com querosene (4000 g/t) para oito minutos de flotação.

Dos. Col. (g/t)	Rec. Mass. Acum (%)	Rec. Org. Acum (%)	Teor Cz. Acum. (%)
300	33,16	66,06	26,69
400	36,14	68,75	29,76
500	32,00	65,17	26,80
600	33,82	67,07	27,68

A figura 41 mostra as curvas de recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas acumuladas, para oito minutos de flotação de acordo com os valores indicados na tabela 10. O gráfico também mostra as curvas para uma flotação de 4 minutos.

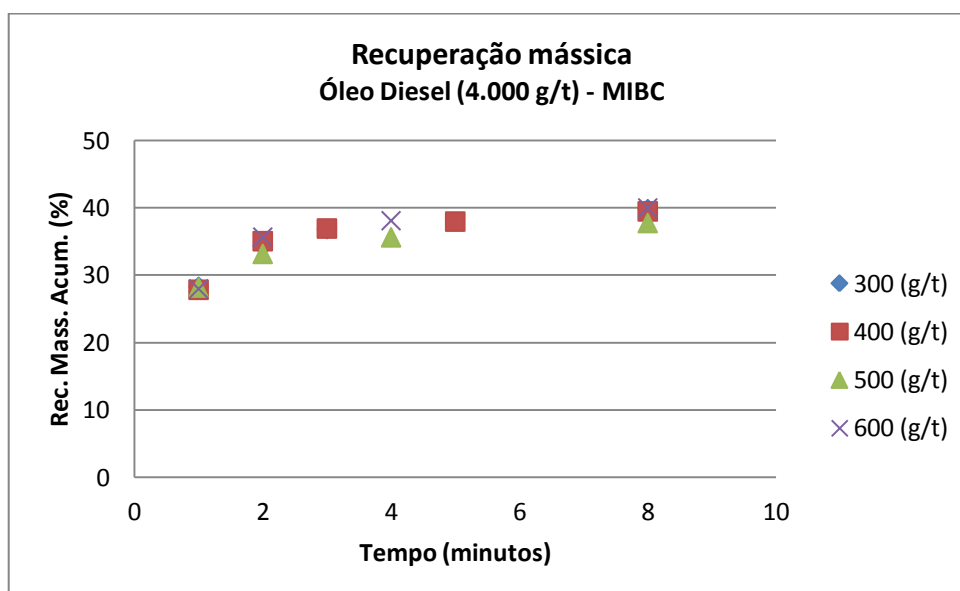


**Figura 41.** Ensaios específicos de flotação fase III: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 4 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (querosene) em 4000 g/t.

Segundo a figura 41 os valores percentuais praticamente mantêm-se constantes, com relação as concentrações 400 g/t a 500 g/t apresentam um decréscimo nas recuperações, variações pouco significativas. As recuperações, foram de 33,16% a 33,82% (com a exceção da concentração 400 g/t que apresentou um valor de 36,14 g/t) nas recuperações mássicas, o teor de cinzas também se mantém praticamente constante de 26,69% a 27,68% (com a exceção da concentração 400 g/t que apresentou um valor de 29,76 g/t) e a recuperação orgânica vai de 66,06% a 67,07% (68,75% para a dosagem de 400g/t).

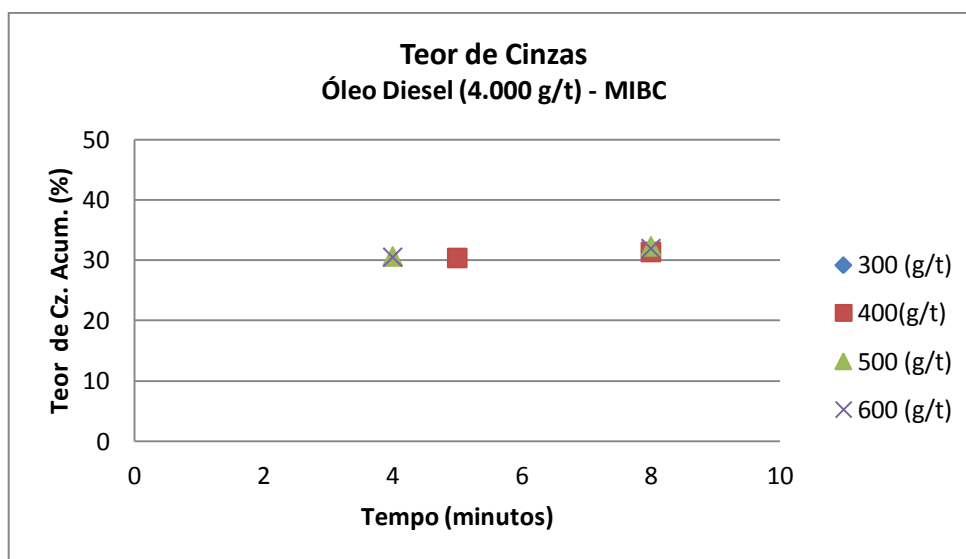
### 5.3.2.2 Óleo Diesel, variando a dosagem do Espumante MIBC

Fazendo parte dos ensaios da fase III, como mostra as figuras 42, 43 e 44 foram plotados os dados conforme a tabela 26 (adendo H) relativos à recuperações mássicas. Orgânicas e recuperação de cinzas em função do tempo, usando óleo diesel como coletor com uma dosagem fixa de 4.000 g/t. Variando-se a dosagem do espumante MIBC em 300 g/t, 400 g/t, 500 g/t, e 600 g/t. (Para a dosagem de espumante 400 g/t os dados foram obtidos dos ensaios realizados na fase II). As curvas que representam cada combinação individual de concentrações estão mostradas nos gráficos 76 a 78 (adendo F).



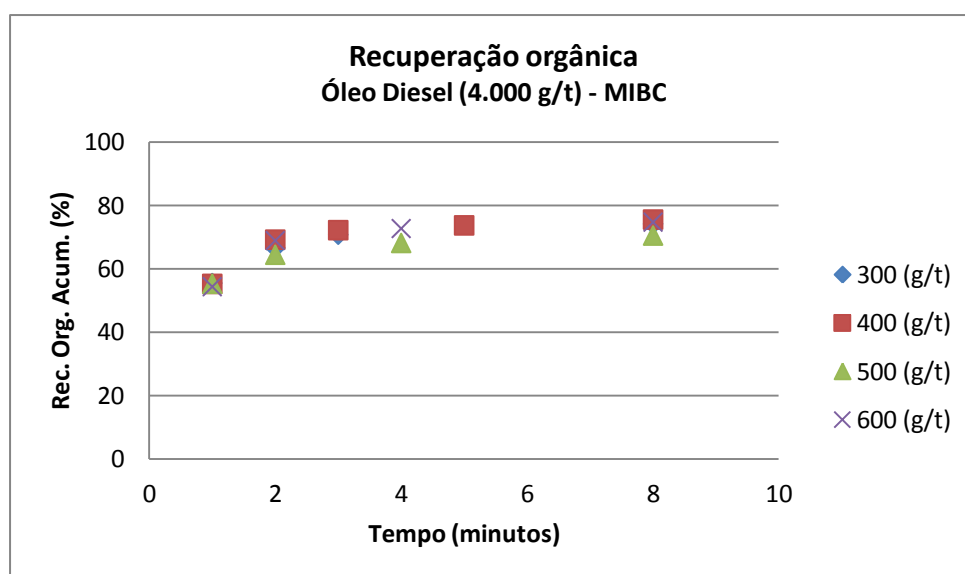
**Figura 42.** Ensaio específicos de flotação fase III: Recuperação mássica - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (óleo diesel) em 4.000 g/t.

Como observa-se na figura 42 a máxima recuperação de massa foi para a dosagem de 600 g/t, de espumante com um valor percentual de 39,99%, esta recuperação implicaria num consumo excessivo de reagente. A partir do minuto 3 a dosagem indicada seria de 300 g/t de espumante, com uma recuperação mássica de 36,86%.



**Figura 43.** Ensaio específicos de flotação fase III: Teor de cinzas - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (óleo diesel) em 4.000 g/t.

Com relação ao teor de cinzas, o gráfico da figura 43 mostra que ao longo do tempo de flotação, com incremento da dosagem do espumante não experimenta câmbios substanciais no teor, mantendo-se praticamente constante. A dosagem do espumante para o minuto três da flotação foi de 300 g/t, acusando um teor de 29,50% de cinzas.



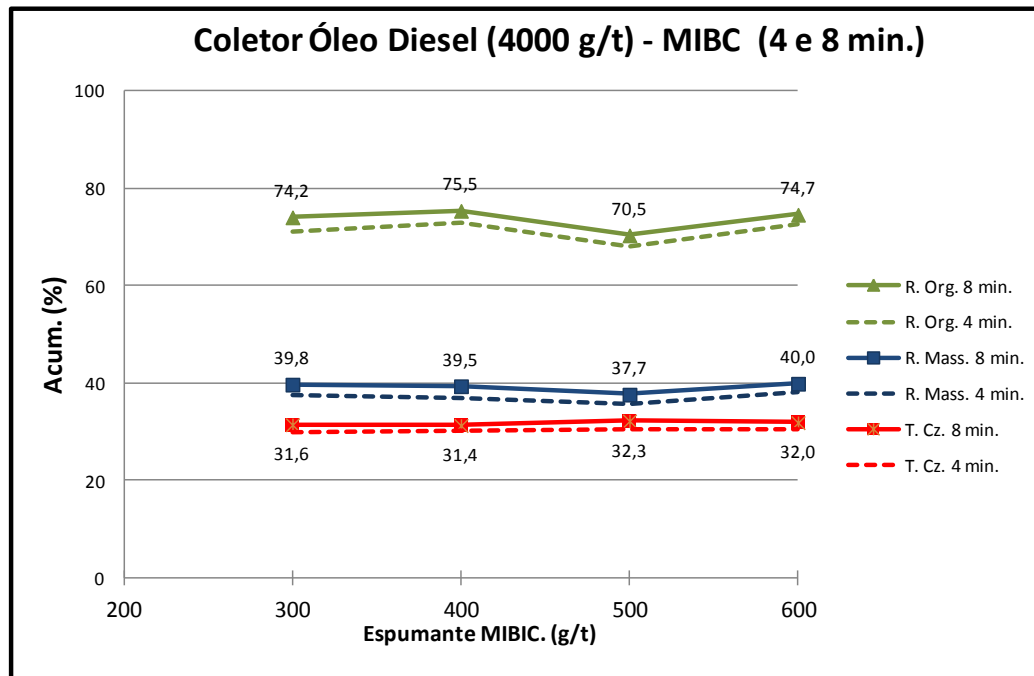
**Figura 44.** Ensaio específicos de flotação fase III: Recuperação orgânica - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (óleo diesel) em 4.000 g/t.

Na figura 44, observa-se que as curvas de recuperação orgânica, não apresentam variações substanciais no seu desempenho com o incremento da dosagem de espuma. A recuperação orgânica no minuto três foi de 70,74% para uma dosagem de espuma de 300 g/t.

Os dados gerados para uma flotação em bancada de oito minutos com óleo diesel/MIBC foram plotados na tabela 11.

**Tabela 11.** Ensaio específico de flotação fase III, recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, em função da variação do espuma MIBC com óleo diesel (4000 g/t) para oito minutos de flotação.

Dos. Esp. (g/t)	Rec. Mass. Acum. (%)	Rec. Org. Acum. (%)	Teor Cz Acum. (%)	Flot. V. Cz. (%)
300	39,80	74,16	31,56	12,15
400	39,47	75,50	31,40	11,02
500	37,75	70,46	32,33	12,30
600	39,99	74,69	31,98	12,55



**Figura 45.** Ensaio específico de flotação fase III: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 4 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do espuma (MIBC) e mantendo fixo o coletor (óleo diesel) em 4000 g/t.

Segundo a figura 45, mostra as curvas para 4 e 8 minutos de flotação, os incrementos são discretos em relação ao tempo de flotação. Os valores percentuais da recuperação mássica e recuperação orgânica, experimentam um decréscimo para a dosagem de 500 g/t de espumante. Para a concentração de 300 g/t e 600 g/t os valores percentuais são praticamente os mesmos. Com relação ao teor de cinzas o valor percentual se mantém praticamente constante ao longo do ensaio da flotação.

A variação de resultados entre as combinações óleo diesel 4000 g/t e MIBC nas combinações de 300 g/t a 600 g/t são muito discretas como indicado na tabela 11, escolhendo-se a concentração 4000 g/t de óleo diesel e 400 g/t de MIBC, para realizar estudos complementares desta combinação de reagentes.

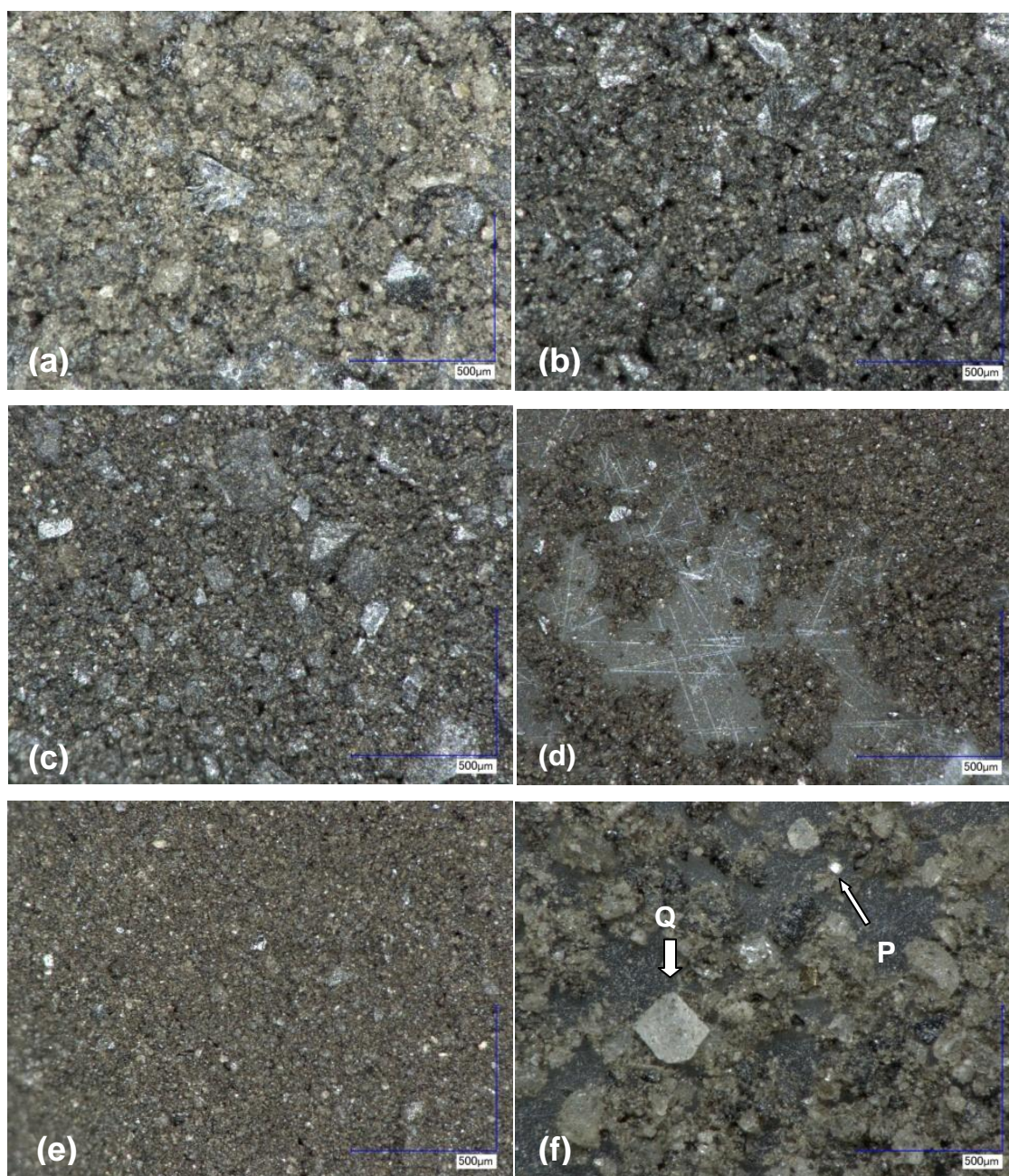
A determinação da análise elementar para os concentrados obtidos produto da flotação foi realizada no equipamento CHNS. Os dados obtidos estão apresentados conforme a tabela 12.

**Tabela 12.** Análise elementar dos diferentes produtos da flotação da combinação óleo diesel (4000g/t) e MIBC (400 g/t).

<b>MOSTRA</b>	<b>N</b> %	<b>C</b> %	<b>S</b> %	<b>H</b> %
<b>C1</b>	1,08	54,45	3,17	3,80
<b>C2</b>	1,08	54,61	2,88	3,81
<b>C3</b>	0,96	48,41	3,20	3,49
<b>C6</b>	0,73	37,65	3,41	2,92
<b>REJ.</b>	0,19	9,37	2,98	1,28
<b>ALIM.</b>	0,56	28,20	2,83	2,36

Abaixo na figura 46, apresentam-se microfotografias dos produtos da flotação obtidos, em microscópio digital VHX-2000.





**Figura. 46.** Fotografias realizadas com o microscópio digital VHX-2000 mostram os diferentes concentrados obtidos no processo de flotação para a combinação óleo diesel & MIBC nas concentrações de 4000 g/t e 400 g/t respectivamente.

**(a)** Alimentação (amostra do lodo);

**(b)** Concentrado 1, produto flotado no primeiro minuto;

**(c)** Concentrado 2, produto flotado no segundo minuto;

**(d)** Concentrado 3, produto flotado no terceiro minuto;

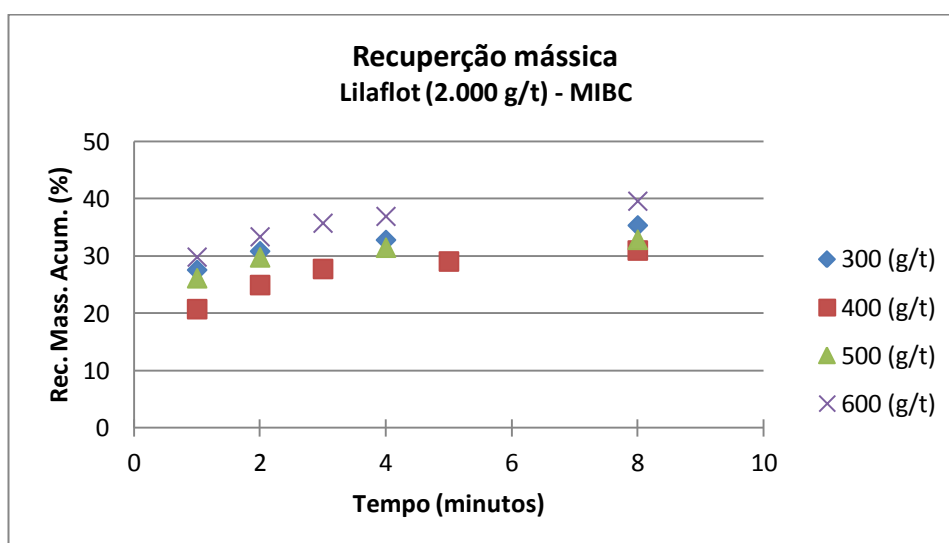
**(e)** Concentrado 6, produto flotado no final do ensaio aos seis minutos

**(f)** Rejeito, descarte da flotação aprecia-se matéria inorgânica quartzo (Q), pirita (P).

### 5.3.2.3 Lilafлот, variando MIBC

Ainda na fase III dos ensaios de flotação em bancada, e continuando com o estudo do comportamento do Lilafлот. Esta vez com o coletor fixo na dosagem de 2.000 g/t. em combinação com MIBC nas dosagens de 300 g/t, 400 g/t, 500 g/t, e 600 g/t (Para a dosagem de espumante 400 g/t os dados foram obtidos dos ensaios realizados na fase II).

Na tabela 27 (adendo H) são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de flotação correspondente à combinação das dosagens de reagentes acima descritos. Que permitiram construir as curvas de recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, conforme as figuras 47, 48 e 49. As curvas que representam cada combinação individual de concentrações estão mostradas nos gráficos 79 a 81 (adendo G).

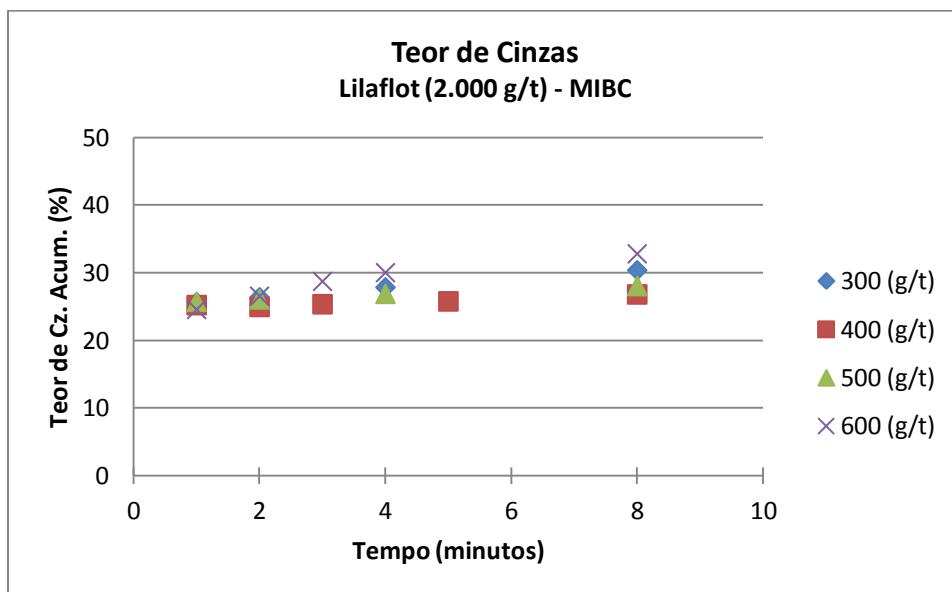


**Figura 47.** Ensaios específicos de flotação fase III: Recuperação mássica - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (lilafлот) em 2.000 g/t.

A figura 47, mostra quatro curvas que representam a recuperação mássica das concentrações de espumante de 300 g/t, 400 g/t, 500 g/t e 600 g/t, lembrando que o coletor se manteve constante em 2.000 g/t.

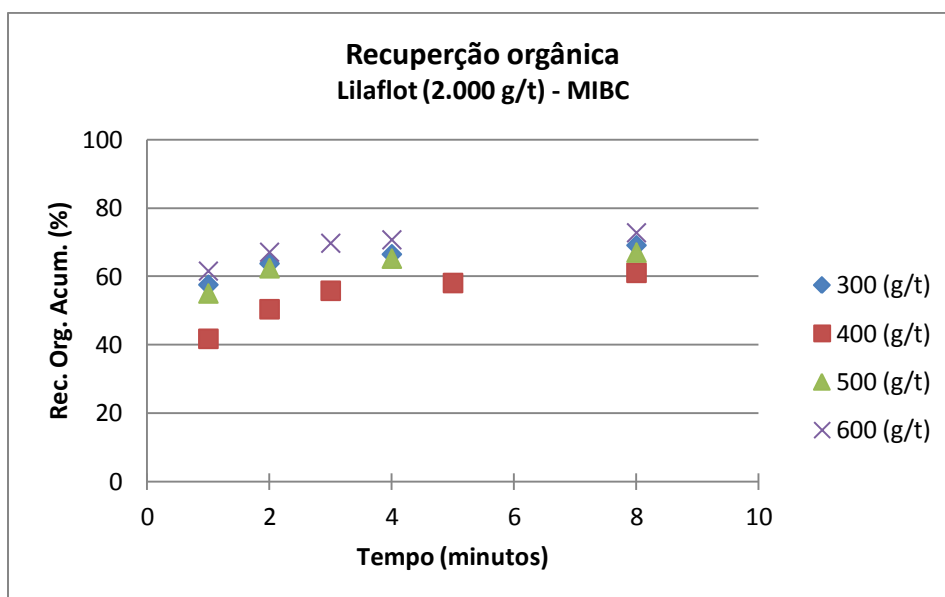


Como observa-se no gráfico a curva que corresponde à dosagem de 600 g/t de espumante apresentou melhor desempenho. Obtendo-se recuperações de 32,80 % a 35,75% para a flotação em torno de 3 a 4 minutos, onde ocorre o ponto de equilíbrio na curva das recuperações acumuladas.



**Figura 48.** Ensaio específicos de flotação fase III: Teor de cinzas - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (lilafлот) em 2.000 g/t.

Na figura 48, pode-se observar que o teor de cinzas, foi de 28,74% para 3 minutos de flotação, com uma dosagem de espumante na ordem de 600 g/t, praticamente não existindo variações substanciais entre as outras concentrações de espumante.



**Figura 49.** Ensaios específicos de flotação fase III: Recuperação orgânica - variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (lilafлот) em 2.000 g/t.

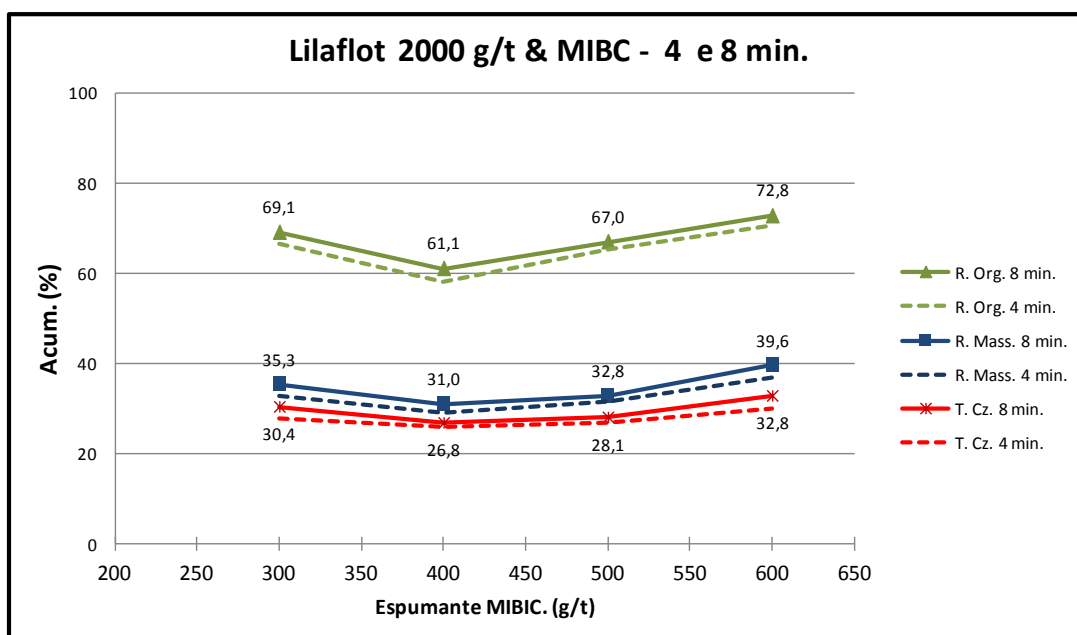
Na figura 49 observa-se que as curvas de recuperação orgânica não apresentam grandes variações no seu desempenho, com o incremento da dosagem de espumante. Na dosagem de 600 g/t apresenta um valor de 69,74% para o tempo de flotação 3 minutos, ponto de equilíbrio da recuperação orgânica.

A tabela 13 mostra os resultados do ensaio, realizado para a combinação lilafлот-MIBC no oitavo minuto. Que foi o período de tempo em que finalizou a flotação em bancada.

**Tabela 13.** Ensaio específico de flotação fase III. Recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, variando o espumante MIBC com lilafлот (2000 g/t) para oito minutos de flotação.

Dos.Esp. (g/t)	Rec. Mass. Acum. (%)	Rec. Org. Acum. (%)	Teor. Cz. Acum. (%)
300	35,34	69,14	30,39
400	30,97	61,10	26,82
500	32,84	67,04	28,05
600	39,57	72,81	32,82

A figura 50 mostra as recuperações acumuladas e teor de cinzas no quarto minuto e no oitavo minuto do ensaio, para as concentrações de lilafлот como coletor em 2.000 g/t e variando o espumante MIBC com uma concentração de 300 g/t, 400 g/t, 500 g/t, e 600 g/t.



**Figura 50.** Ensaio específicos de flotação fase III: Valores acumulados das recuperações mássicas, orgânicas e teor de cinzas para 4 e 8 minutos de flotação, variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (lilafлот) em 2000 g/t.

Segundo a figura 50 pode-se verificar que para dosagem de espumante de 400 g/t os valores percentuais das curvas experimentam um decréscimo, logo a seguir recuperando-se para uma dosagem de 600 g/t de espumante.

### 5.3.3 Óleo Diesel & MIBC com amostra deslamada.

Continuando com a pesquisa, chega-se a fase IV do presente trabalho, que consiste em realizar flotação com uma amostra do lodo deslamado.

O tratamento de partículas minerais finas e ultrafinas, segundo Capponi, *et al.*,(2004) constitui um dos principais problemas na flotação a operação de

deslamagem antes da flotação é de uso comum e às vezes muito conveniente a alta superfície específica das frações finas demanda alto consumo de coletor.

A combinação de reagentes utilizada para este ensaio foi óleo diesel - MIBC nas concentrações de 4.000 g/t e 400 g/t, respectivamente. A escolha de esta combinação de reagentes foi devido ao melhor desempenho mostrado nos ensaios de flotação anteriores.

A deslamagem da amostra foi realizada por peneiramento a úmido fazendo um corte granulométrico a 0,075 mm. A fração retida foi de 66,32% da massa total, descartando-se a fração passante que faz o 33,68% restante da massa total da amostra, denominado neste trabalho como lamas. A caracterização da amostra está indicada na tabela 14. Essa tabela mostra que o material deslamado não difere muito da alimentação original (sem deslamar), apresentado na tabela 4.

**Tabela 14.** Análise imediata da amostra da alimentação do lodo deslamado.

Análise imediata	Resultado (%)
Umidade	0,44
Cinzas	59,87
Matéria Volátil	19,23
Carbono Fixo	20,90
Enxofre total	2,83
Poder calorífico <sup>5</sup>	2.950 cal/g

Com a amostra deslamada do lodo, foi realizada a flotação com os parâmetros já descritos anteriormente no item 4.9 de este trabalho, na tabela 28 (adendo H) são apresentados os resultados da análise imediata.

Foram feitas análises elementares, usando o determinador elementar CHNS, para cada um dos concentrados e rejeitos obtidos, produto do ensaio de flotação, além da alimentação, conforme mostrado na tabela 15.

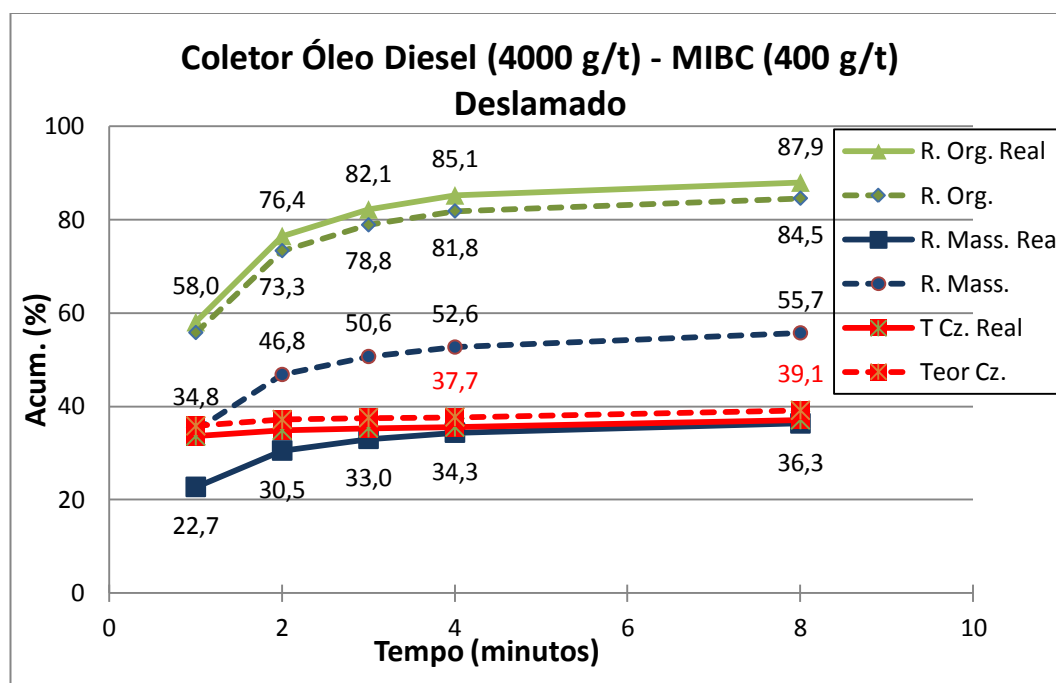
---

<sup>5</sup> Refere-se ao poder calorífico superior.

**Tabela 15.** Análise elementar dos concentrados, alimentação e rejeito produto da flotação da amostra do lodo deslamado.

AMOSTRA	N %	C %	S %	H %
C1	1,11	56,44	2,17	3,88
C2	1,00	50,55	2,88	3,49
C3	0,97	47,73	3,15	3,35
C4	0,81	40,09	4,45	2,90
C8	0,53	26,43	3,94	2,14
REJ.	0,13	5,45	3,91	0,90
ALIM.	0,62	31,35	3,14	2,44

De acordo com os dados obtidos para o ensaio de flotação com a combinação óleo diesel 4000 g/t e MIBC 400 g/t (deslamado), construíram-se as curvas de recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas, conforme a figura 51, adicionando-se as curvas de recuperação mássica real e recuperação orgânica real.



**Figura 51.** Fase IV dos ensaios específicos de flotação com óleo diesel 4.000 g/t e MIBC 400 g/t - deslamado.

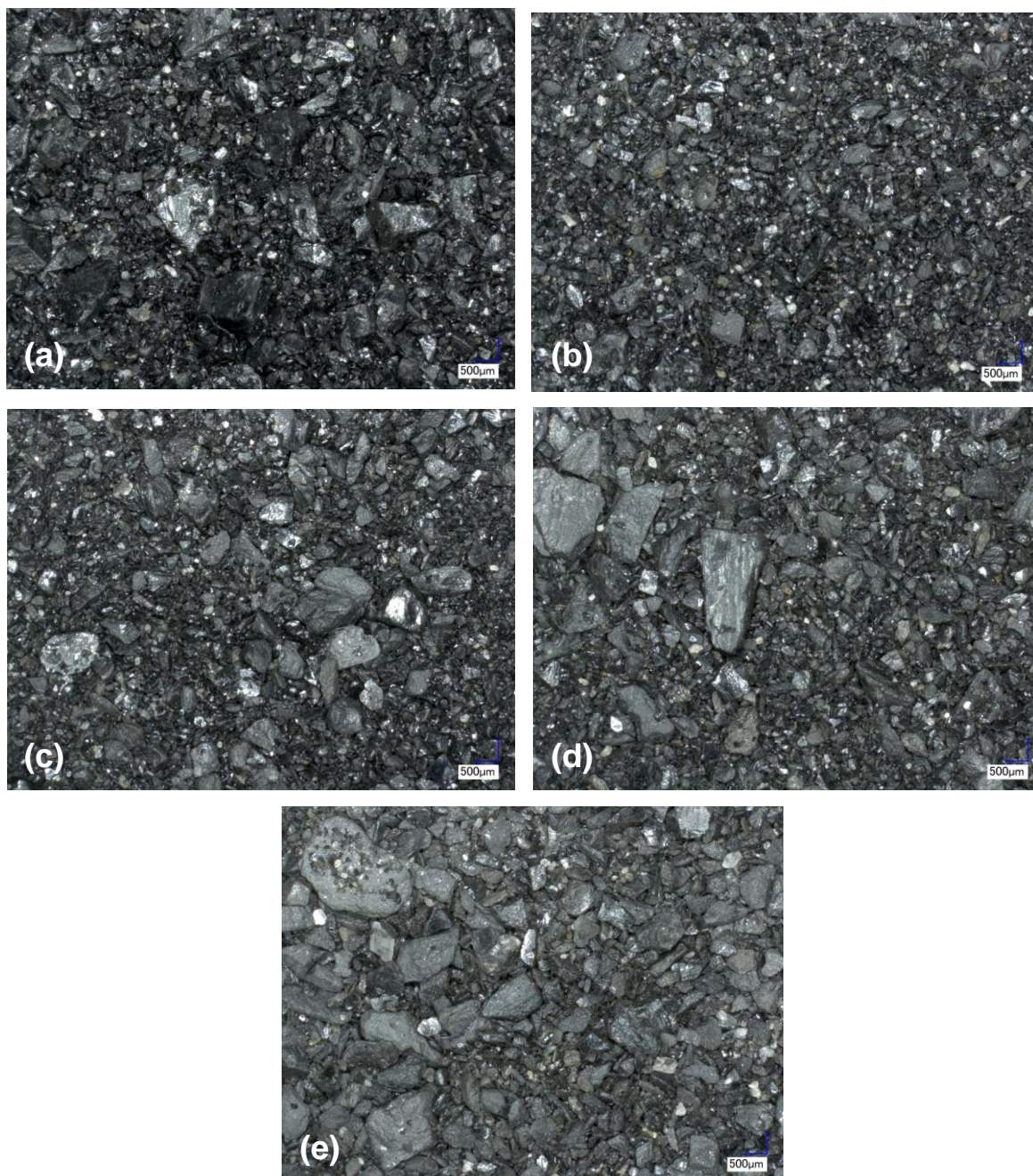
Como observa-se na figura, as curvas seguem o padrão já representado em gráficos anteriores, onde se verifica um aumento da recuperação mássica nos

primeiros minutos. Neste caso pode-se dizer que alcança um equilíbrio de recuperação mássica entre os três a quatro minutos, logo depois deste tempo a curva apresenta-se de uma forma constante. A recuperação mássica para estes tempos de flotação varia de 50,6% a 52,6%, já para o tempo de oito minutos obtém-se uma recuperação de 55,7% (para valores de recuperação mássica real no tempo de oito minutos calcula-se em torno de 36,3%).

Com relação ao teor de cinzas observa-se que é quase constante, ao longo do tempo de três minutos, o teor foi de 37,5% e aos quatro minutos de 37,7% incremento muito discreto, já para o oitavo minuto apresentou um teor de 39,1% (para valores reais o teor de cinzas é o mesmo).

A recuperação orgânica para oito minutos de flotação é de 84,5%, (calculado para uma recuperação orgânica real apresenta um valor de 87,9%).

Abaixo, figura 52 apresentam-se microfotografias dos produtos da flotação, obtidos em microscópio digital VHX-2000 para os diferentes produtos da flotação, usando a combinação óleo diesel (4000 g/t) e MIBC (400 g/t), para a amostra deslamada.



**Figura. 52.** Fotografias realizadas com o microscópio digital VHX-2000 onde mostram os diferentes concentrados obtidos no processo de flotação para a combinação óleo diesel & MIBC deslamado, nas concentrações de 4000 g/t e 400 g/t respectivamente.

- (a) Concentrado 1, amostragem no primeiro minuto do processo de flotação;
- (b) Concentrado 2, amostragem no intervalo de tempo de dois minutos;
- (c) Concentrado 3, amostragem no intervalo até três minutos;
- (d) Concentrado 4, amostragem no intervalo até quatro minutos;
- (e) Concentrado 8, amostragem no intervalo de tempo de oito minutos onde pode-se apreciar a diminuição da matéria orgânica pela tonalidade de cor mais clara do que no início do processo.



## 6 CONCLUSÕES

No processo de flotação, utilizando o lodo da Carbonífera Criciúma, se fez comparação no desempenho dos diferentes reagentes e dosagens utilizadas, no que se refere à recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas.

A partir dos ensaios de flotação, foram obtidos concentrados, os quais se acumularam no oitavo minuto, período de tempo em que finalizou o ensaio de flotação em bancada, para as diferentes combinações de reagentes estipuladas anteriormente em este trabalho, seguindo o fluxograma de pesquisa (Figura 1). Em base a esta rota de trabalho chegou-se a escolher resultados, baseado em ferramentas como a recuperação mássica, recuperação orgânica e teor de cinzas. A escolha dos reagentes e suas dosagens também desempenharam um papel importante já que estão ligados a um fator econômico (custo/benefício).

O estudo realizado mostrou que o beneficiamento desse material se mostra bastante vantajoso, pois permite não só reduzir a quantidade de material a ser descartado nas barragens de rejeitos, aumentando a vida útil destas, mas também possibilita a recuperação de matéria carbonosa, com forte potencial para uma blendagem e obtenção de um material combustível para geração de energia. Os resultados mostraram que a partir de um fluxo de alimentação com elevado teor de cinzas, com cerca de 62%, é possível a obtenção de concentrados com teor de cinzas de cerca de 30% e recuperações mássicas de 40%.

Com base nesses resultados, foi possível determinar as melhores combinações de reagentes:

- Querosene & MIBC: Concentração de 6000 g/t e 400 g/t, respectivamente, com uma recuperação mássica de 39,28% e teor de cinzas de 29,46%.
- Óleo diesel & MIBC: Concentração de 4000 g/t e 400 g/t, respectivamente, com uma recuperação mássica de 39,47% e teor de cinzas de 31,40%.

O estudo realizado com material deslamado mostrou para a combinação óleo diesel & MIBC: Concentração de 4000 g/t e 400 g/t, respectivamente, uma recuperação mássica relativa de 55,69% (recuperação mássica real de 36,96%



calculada em função da percentagem da alimentação descartada na fração retida em 0,075 mm) e teor de cinzas de 39,10%.

Não foi possível observar uma diferença significativa entre os parâmetros de separação e os reagentes utilizados neste estudo para os ensaios sem deslamar. Já para o material deslamado não observa-se incremento na recuperação mássica no teor de cinza, a concentração foi mais elevada.

O único coletor não convencional (lilafлот) utilizado no estudo não apresentou melhores resultados quando comparado ao óleo diesel e querosene. No entanto, estudos mais detalhados devem ser realizados para confirmar este sistema de reagente e seu potencial como coletor. O efeito da recuperação de água no concentrado também necessita ser avaliado. Um sistema de flotação em coluna também deve ser considerado para avaliar a possibilidade de uma operação mais seletiva. Sob condições específicas, a recuperação de partículas finas por aprisionamento e/ou arraste pode ser minimizada. Estes parâmetros devem ser analisados na continuação deste estudo.

Todos esses parâmetros apresentam melhor resultado entre três a quatro minutos de flotação o que pode corresponder a sistemas de flotação rápida nesse caso, supondo um circuito industrial, o processo de flotação poderia ser realizado em uma única etapa e com ganhos de produtividade de todas formas segue a necessidade de maiores estudos em sistemas de flotação rápida

Por fim, um estudo de viabilidade econômica deve ser considerado, em função da movimentação desse material, da utilização de água, da utilização de reagentes e equipamentos. Esse análise deve considerar em longo prazo o ganho ambiental com os custos de operação.

Apesar dos resultados obtidos até o momento, mais estudos são necessários. A questão da concentração de sólidos ainda precisa ser otimizada, visando a redução do teor de cinzas, a recuperação de massa e a produtividade. Também, em estudos futuros, o enxofre deverá ser considerado.

## REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Carvão Mineral – Determinação do teor de cinza. NBR 8289. Rio de Janeiro, 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Carvão Mineral – Determinação de umidade. NBR 8293. Rio de Janeiro, 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Carvão Mineral – Determinação do Teor de matérias voláteis. NBR 8290. Rio de Janeiro, 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Carvão Mineral – Determinação de Carbono fixo. NBR 8299. Rio de Janeiro, 1983.

Associação Brasileira do Carvão Mineral - **ABCMA** –.Disponível em: [WWW.carvãomineral.com.br](http://WWW.carvãomineral.com.br) Acessado em 12 de Junho de 2013.

ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Carvão Mineral**, cap. 9, 3ed:Brasília, 2008, ANEEL, 236p. Disponível em: [WWW.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par3\\_cap9.pdf](http://WWW.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par3_cap9.pdf) Acessado em 28 de Maio de 2013.

BALTAR, C. A. M. **Flotação no tratamento de minério**: 1ed. Rio de Janeiro: Departamento de Engenharia de Minas /UFPE, 2008, 211p.

BIZZIC. L. A., VODOTTI. R. H., GONÇALVES. J. H. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**.Cap. XI. Brasília, 2003.

BRUM , I. A. S., GIRELLI, E. **Colum flotation of tailing from gravity processing of coal**. Fifth International Conference on Clean Coal Technologies. CCT 2001. Zaragoza. Spain, 8-12 may, 20011.

BRUM, I. A. S. **Concentração de partículas minerais grossas de fluorita em coluna de flotação**, Porto Alegre, 2004, 103p. Tese (Doutorado em Engenharia)- Escola de Engenharia, PPGEM/UFRGS.

CAPPONI, F., MATIOLO, E., NUNES, D., RUBIO, J., GUERRERO, C.P., BERKOWITZ, G. **Advances in flotation of mineral fines**. IMPC. XXII International

Mineral Processing Congress. Cape Town, Republic of South Africa, 28 September – 3 October, 2003.

CHAVES, A.P. (ORGANIZADOR) **Teoria e Prática do tratamento de Minérios v4: A flotação no Brasil**. 2ed. São Paulo, 2009: Signus, 484p.

CHAVES, A.P. **Flotação de carvão de Santa Catarina**. São Paulo, Epusp. Tese de doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 1983.

Da LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., FRANÇA S. C. A. **Tratamento de minérios: 5ª ed.** Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, 2010, 932p.

DIPPENAAR, A. The destabilization of froth by solid. II, The rate-determining step. *Inter. J. Mineral. Process.* V9, n1, p. 15-22, Jan, 1982.

DISTRIBUIDORA PETROBRAS. **Óleo diesel, Querosene**. Disponível em: [WWW.petrobras.com.br](http://WWW.petrobras.com.br). Acessado em 31 de Julho 2012.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral: Sumário Mineral 2012, Vol. 32. **Carvão Mineral**. Disponível em: [WWW.dnpm.gov.br](http://WWW.dnpm.gov.br) Acessado em 28 de Maio de 2013.

GAUDIN, A. M. **Flotation**, 2nd. New York: McGraw-Hill, c1957, 573p.

GOMES, A. J. P. **Carvão do Brasil/turfa agrícola- geologia, meio ambiente e participação estratégica na produção de eletricidade no sul do Brasil**: Porto Alegre, EST, 2002. 164p.

IEA. International Energy Agency. Disponível em: [WWW.iea.org](http://WWW.iea.org)  
Acessado em 28 de Maio de 2013.

KELLY, E.G., SPOTTISWOOD, D.J. **Introduction to Mineral Processing**: New York: John Wiley & Sons, 1982, 491 p.

LASKOWSKI, J.S. **Coal Flotation and Fine Coal Utilization**: Brisbane-Australia, 2010, 384p.

MENEZES, C .B., ESCOBAR. A. T., CHAVES, A.P. **Flotação do carvão. In: Flotação, o estado da arte no Brasil.** São Paulo. Signus, p. 369. 2006.

OLIVEIRA, F. F. **Caracterização Físico-Química de amostra de óleo de pinho e estudo da ação de sistemas tensoativos na atividade antimicrobiana de ativos fenólicos.** USP – Instituto de Química, 2008 (Tese de Doutorado).

SAMPAIO, C. H., TAVARES, M. L. M. **Beneficiamento Gravimétrico: Uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade.** 1ed.Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005, 603p.

SAXBY, J. D. Organic Matter and Mineralization thermal Alteration, Hydrocarbon Generation and Role in Metallogenesis **Minerals in Coal.** Ed. Dr. M. Glikson, Dr. M Mastalerz. Department of Earth Science the University of Queensland, Indiana Geological, Indiana University, 2000, p. 314-328.

SCHNEIDER, C. L., POSSA, M. V., SOARES, M. P. S. **Diagnóstico – Usina de Beneficiamento de Carvão Mineral UM II – Verdinho.** Relatório CETEM, Projeto CTENERG, ONG TERRA VERDE – CETEM - PROGERA, Convenio FINEP 01.02.0167.00, Referente a META FÍSICA 2 – Otimização do processo produtivo da usina de beneficiamento- 2004.

STACH, E.; MACKOWISKY, M. TH.; TEICHMULLER, M.; TAYLOR, G. H.; HADRA, D.C.; TEICHMULLER R. **Stach's Textbook of Coal Petrology:** Stuttgart-Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1975, 428p.

VALADÃO, G. E. S., ARAUJO. A. C. **Introdução ao tratamento de minérios.** Ed. 1. 234p. 2007.

WCA. World Coal Association, 2011. Disponível em: [WWW.worldcoal.org](http://WWW.worldcoal.org) Acessado em 28 de Maio de 2013.

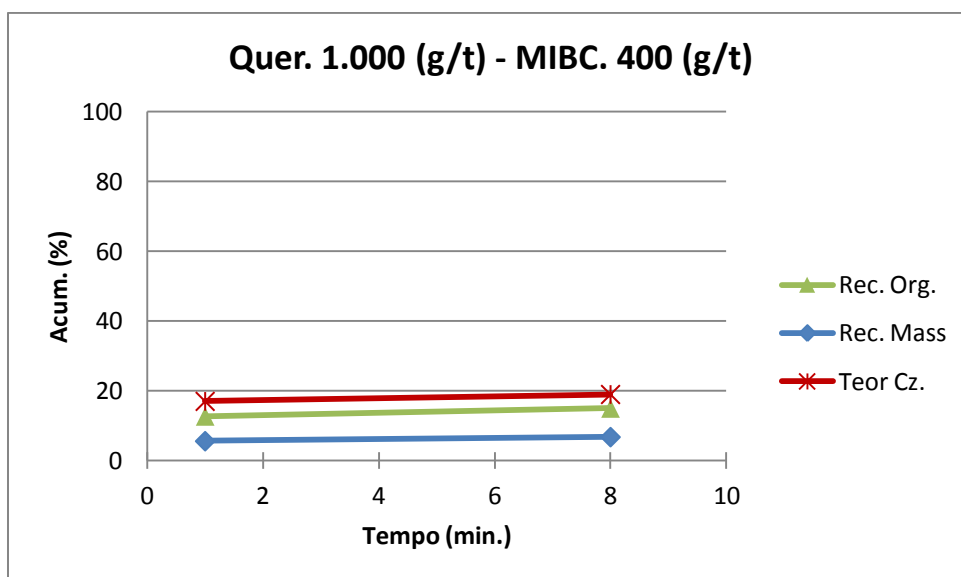
WELLENKAMP, F. J. **Moagens fina e ultrafina de minerais industriais: uma revisão.** Rio de Janeiro, CETEM/MCT 1999. (Série Tecnologia Mineral 75).

ZANCAN F. L. Associação Brasileira do Carvão Mineral – **ABCM**: O carvão e sua caminhada no mundo da energia. Agosto 2011. Disponível em: [WWW.fmase.com.br](http://WWW.fmase.com.br)  
Acessado em 28 de Maio de 2013.

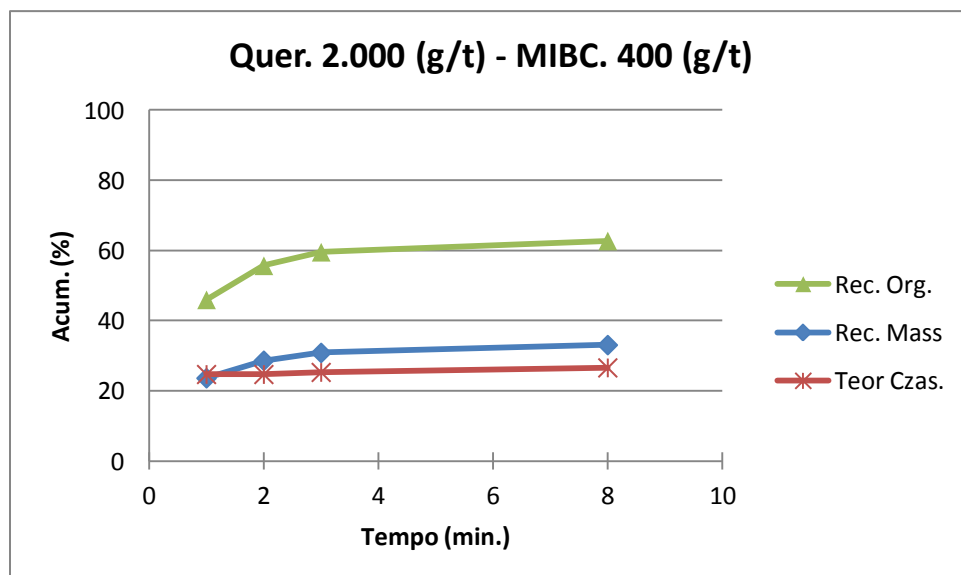
ZANCAN F. L., GOMES. C. B. **Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina**. Sindicato da Indústria da Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina - SIECESC. Criciúma, Novembro 2004.

ZIMMERMAN R. E., SUN, S. C. – **Coal Preparation – Part 3: Froth Flotation** - 4ed. New York: Joseph w. Leonard; Associate Editors...,the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc. 1979.

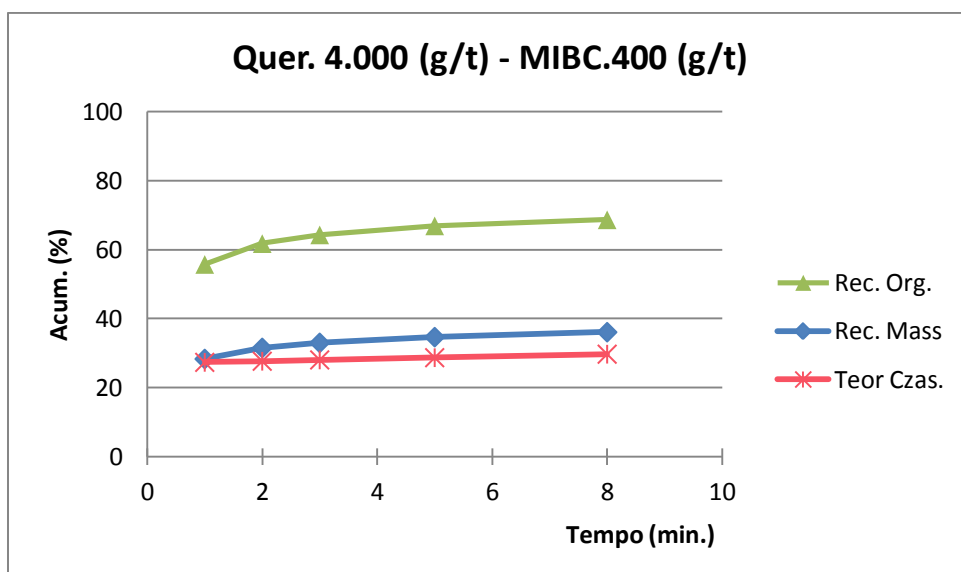
**ADENDO A: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO QUEROSENE-MIBC**



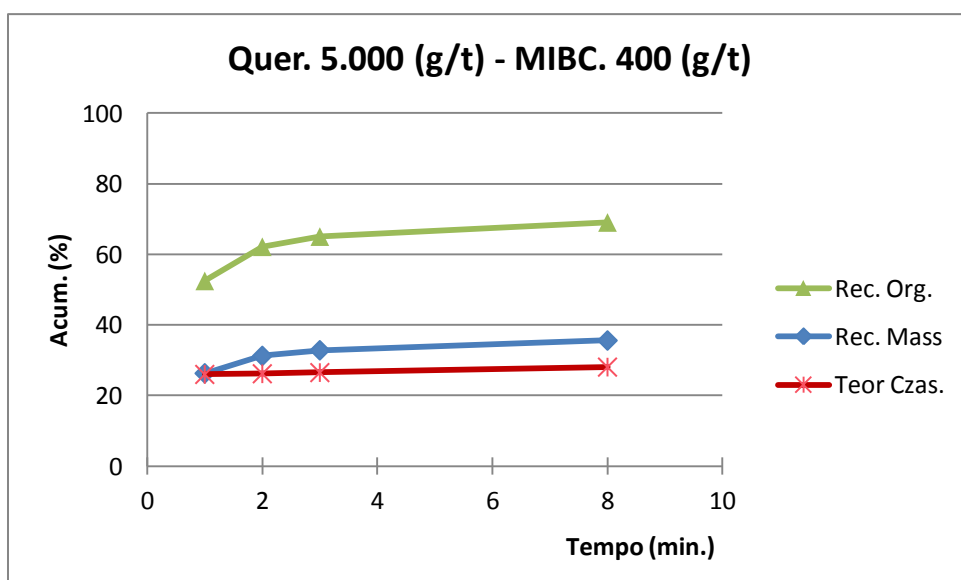
**Figura 53.** Querosene/MIBC em função do tempo.



**Figura 54.** Querosene/MIBC em função do tempo.

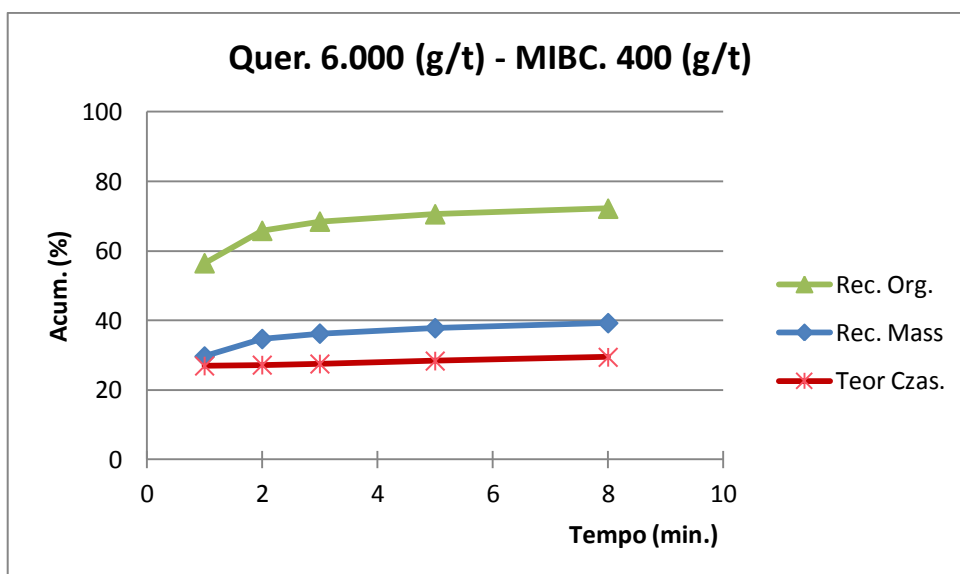


**Figura 55.** Querosene/MIBC em função do tempo



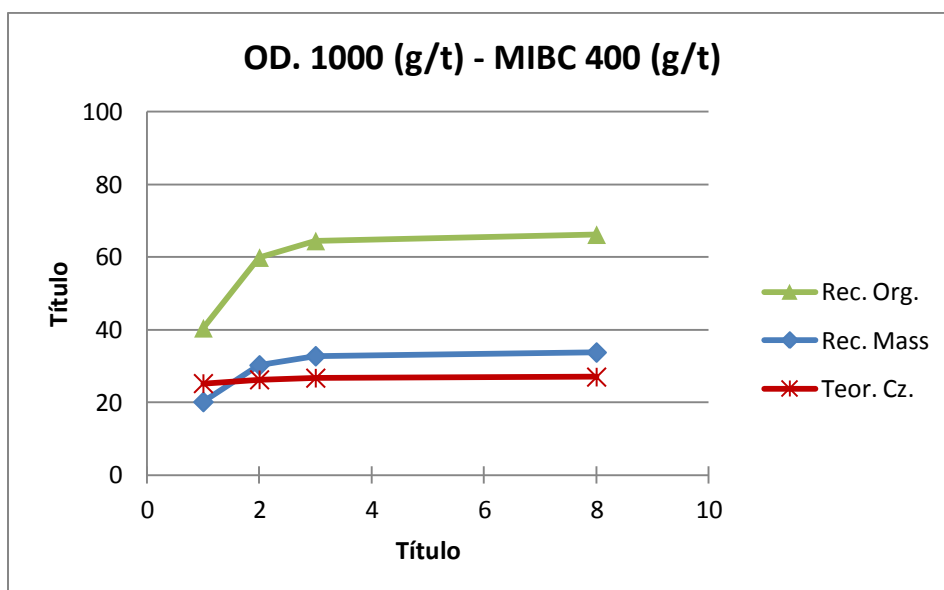
**Figura 56.** Querosene/MIBC em função do tempo.



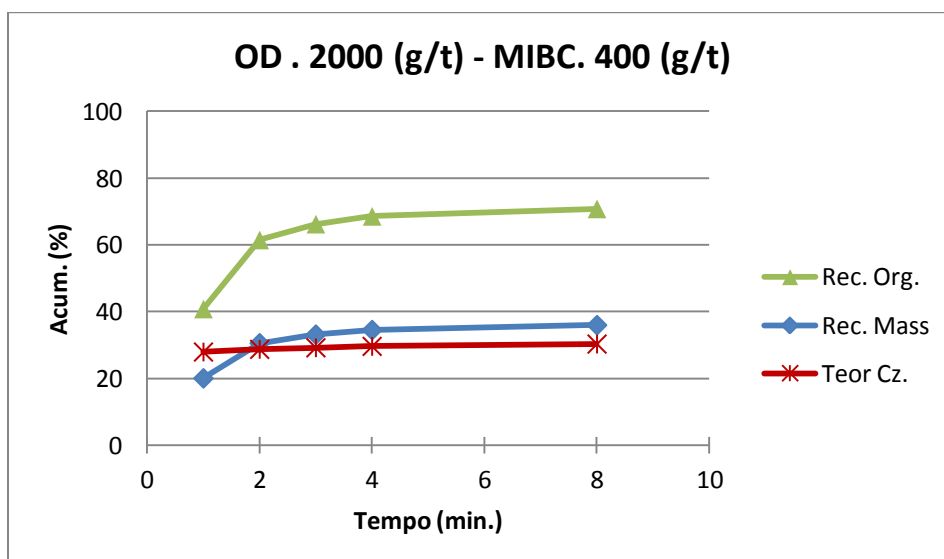


**Figura 57.** Querosene/MIBC em função do tempo.

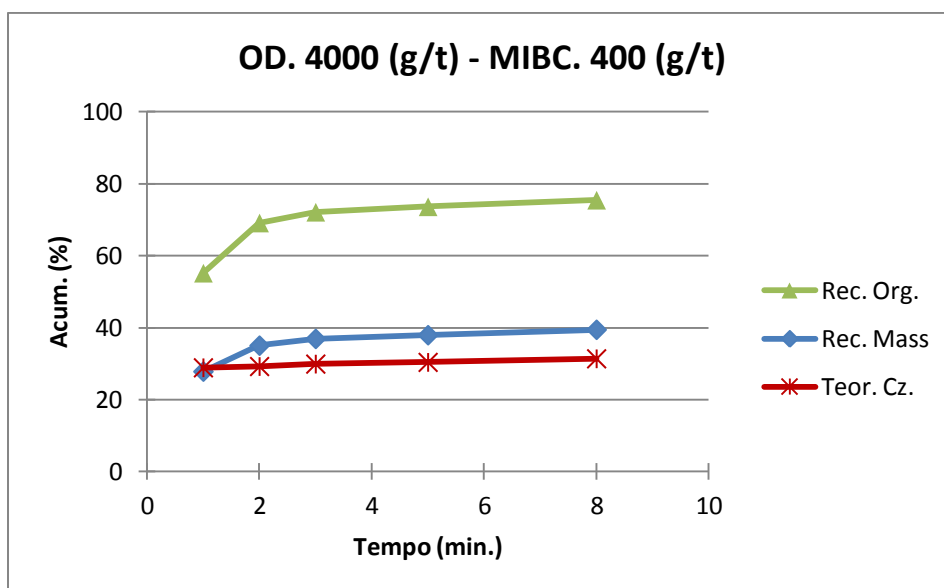
**ADENDO B: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO ÓLEO DIESEL-MIBC**



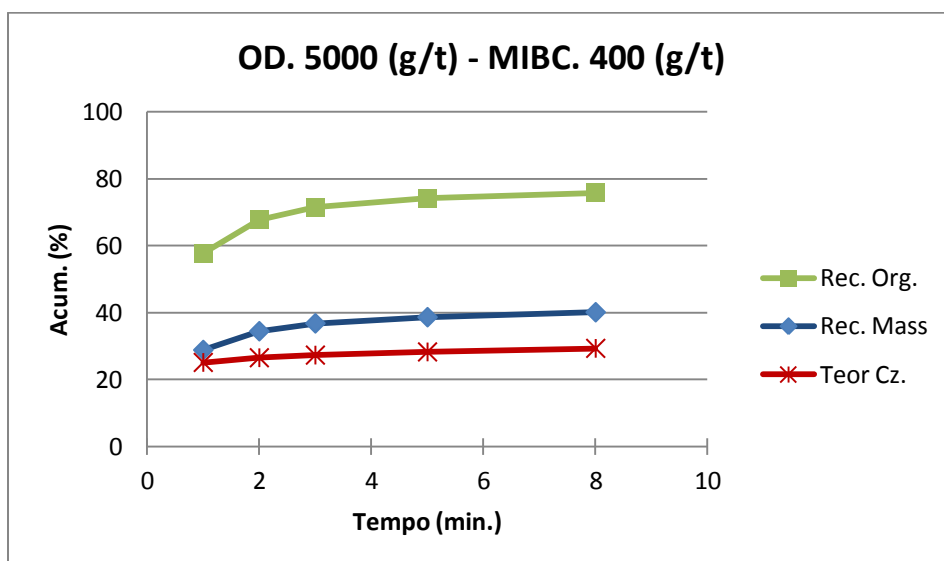
**Figura 58.** Óleo diesel/MIBC em função do tempo



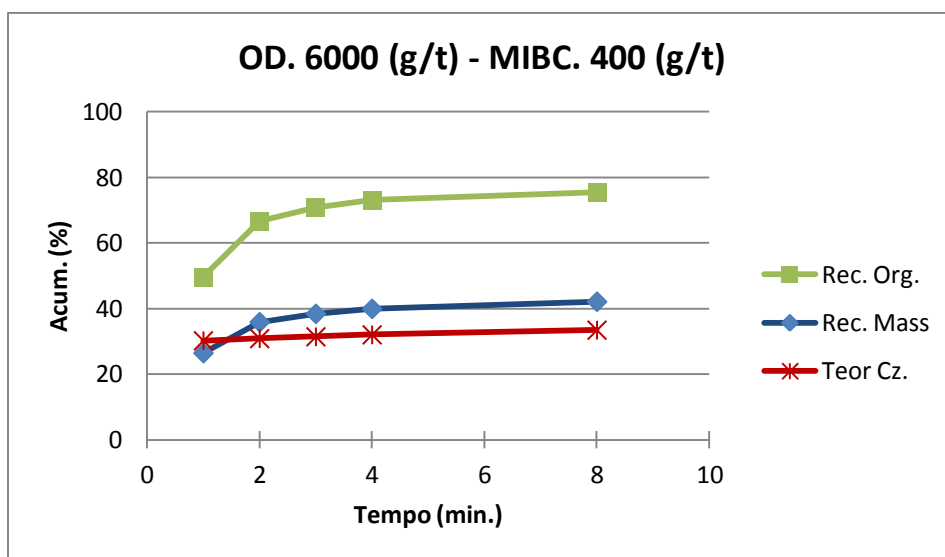
**Figura 59.** Óleo Diesel/MIBC em função do tempo.



**Figura 60.** Óleo Diesel/MIBC em função do tempo.

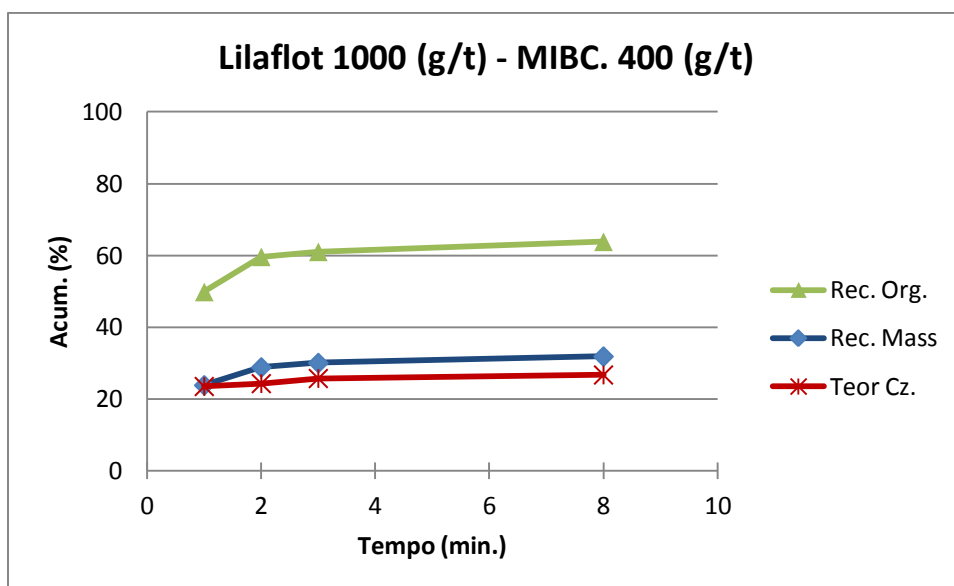


**Figura 61.** Óleo Diesel/MIBC em função do tempo.

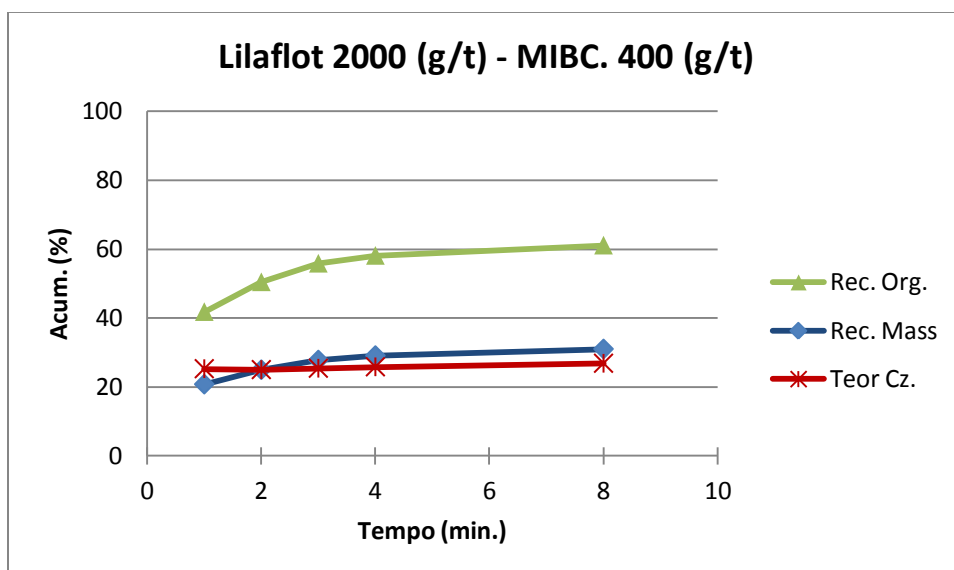


**Figura 62.** Óleo diesel/MIBC em função do tempo.

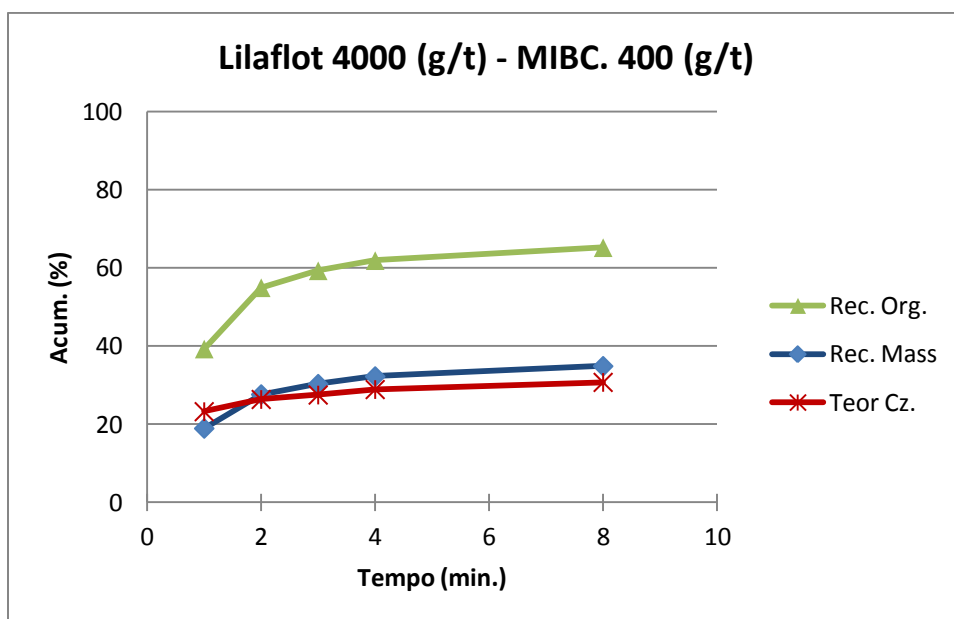
**ADENDO C: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO LILAFLOT- MIBC**



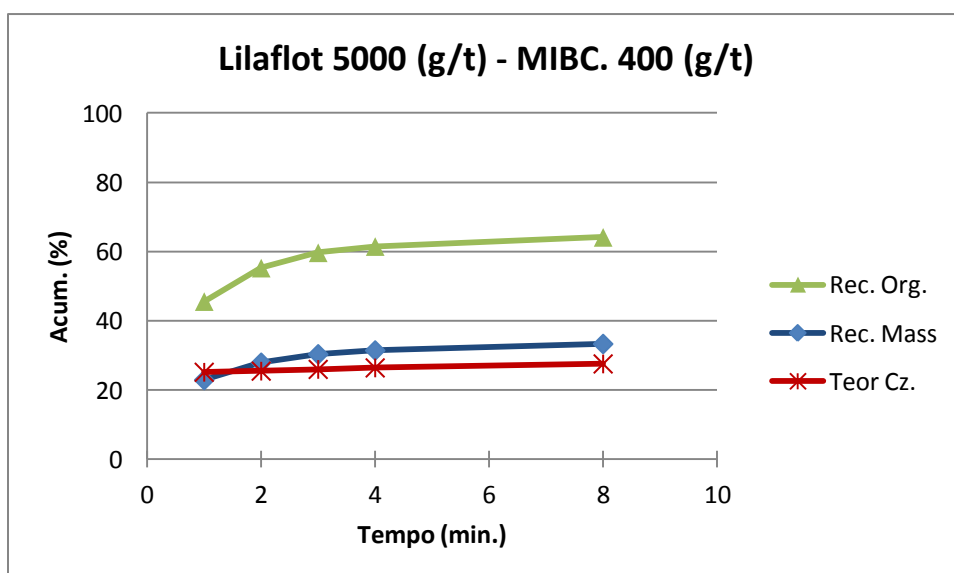
**Figura 63.** Lilafлот/MIBC em função do tempo



**Figura 64.** Lilafлот/MIBC em função do tempo

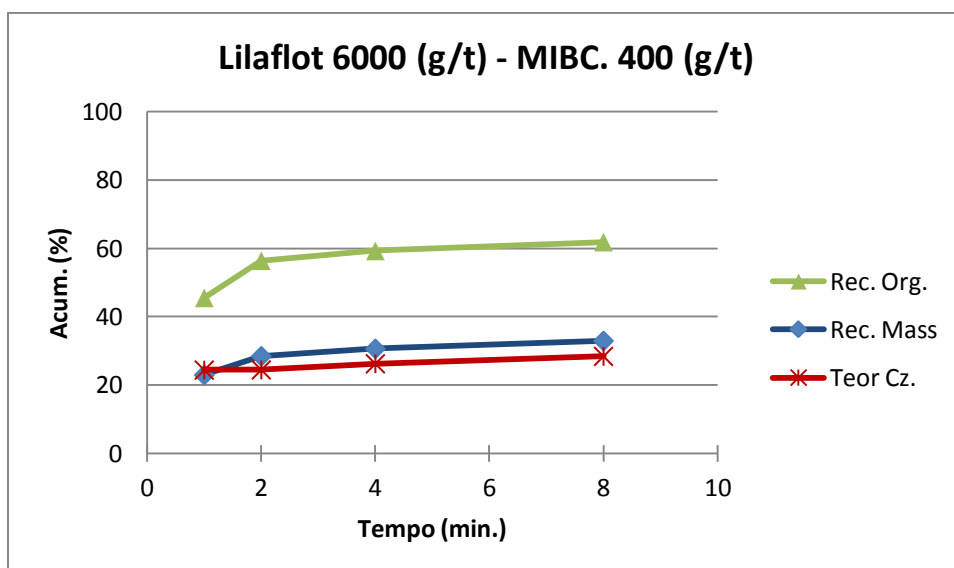


**Figura 65.** Lilafлот/MIBC em função do tempo.



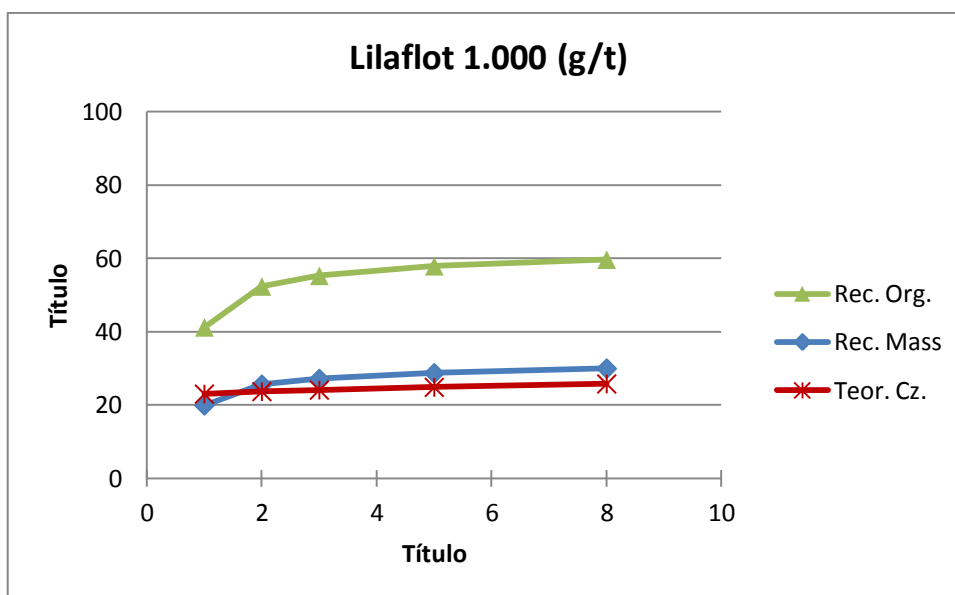
**Figura 66.** Lilafлот/MIBC em função do tempo.



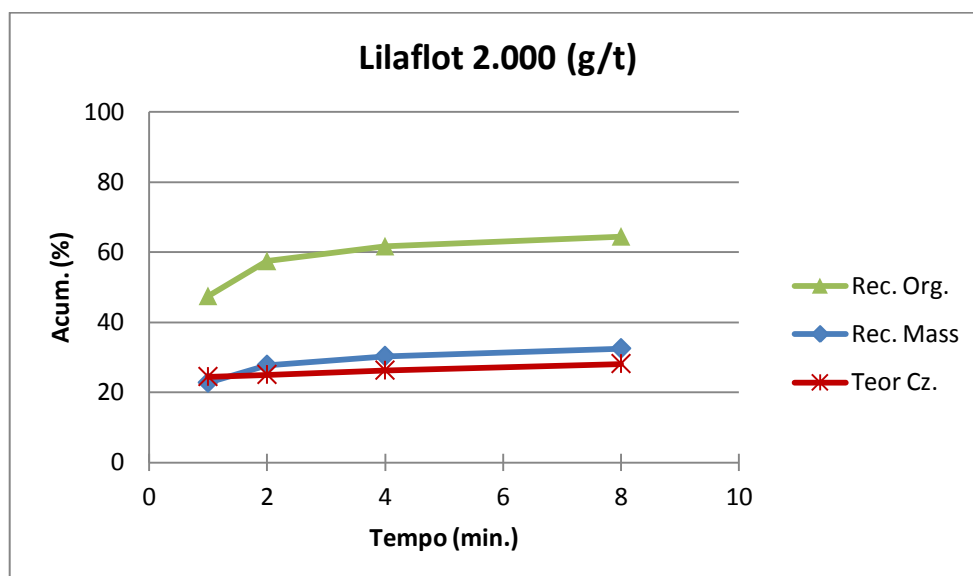


**Figura 67.** Lilafлот/MIBC em função do tempo.

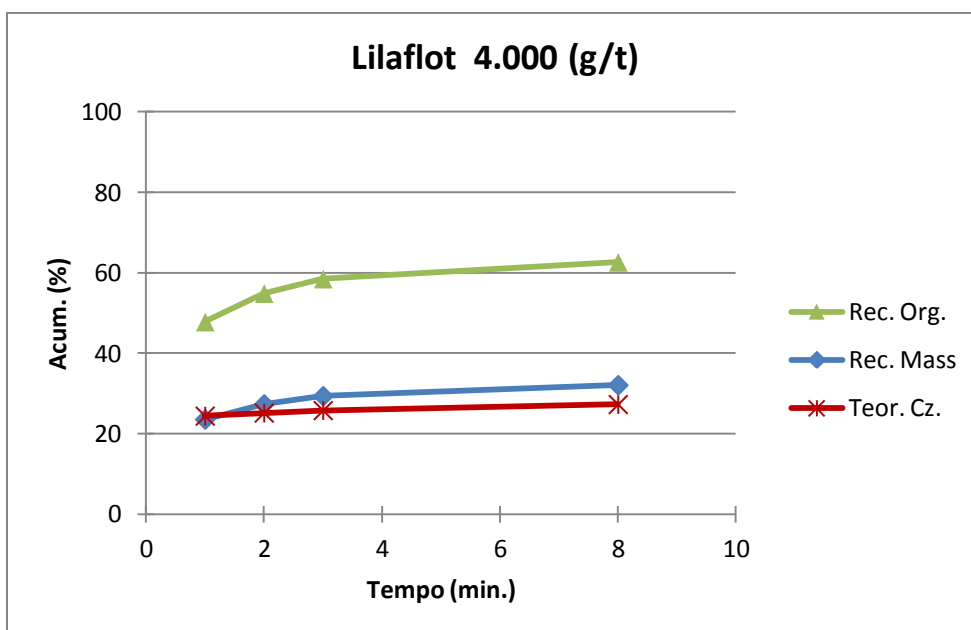
**ADENDO D: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO - LILAFLOT**



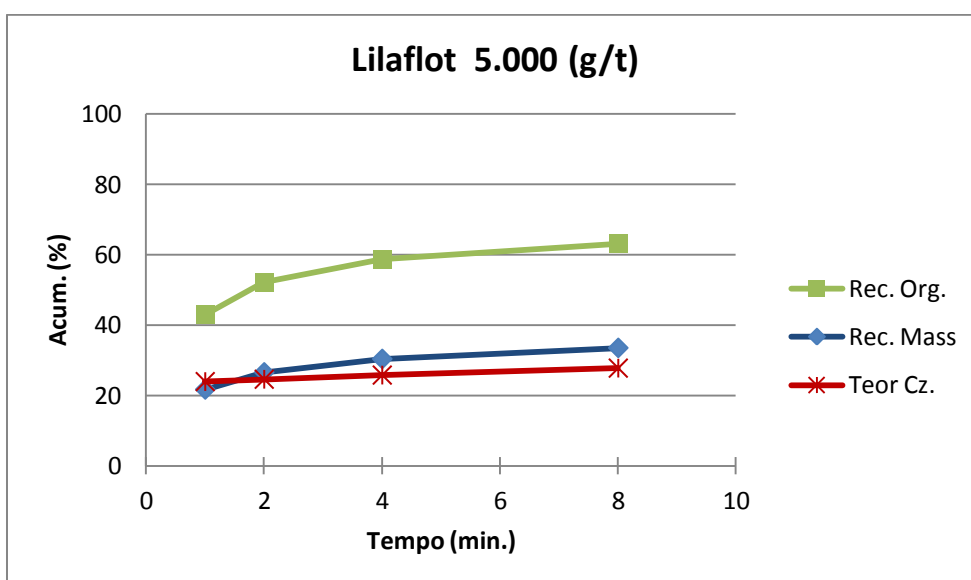
**Figura 68.** Lilafлот em função do tempo.



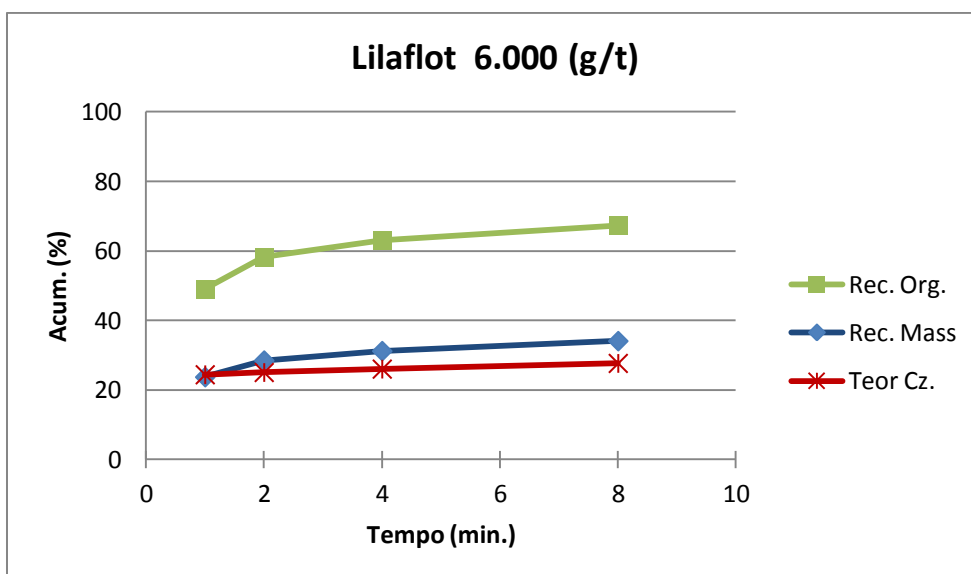
**Figura 69.** Lilafлот em função do tempo.



**Figura 70.** Lilafлот em função do tempo.

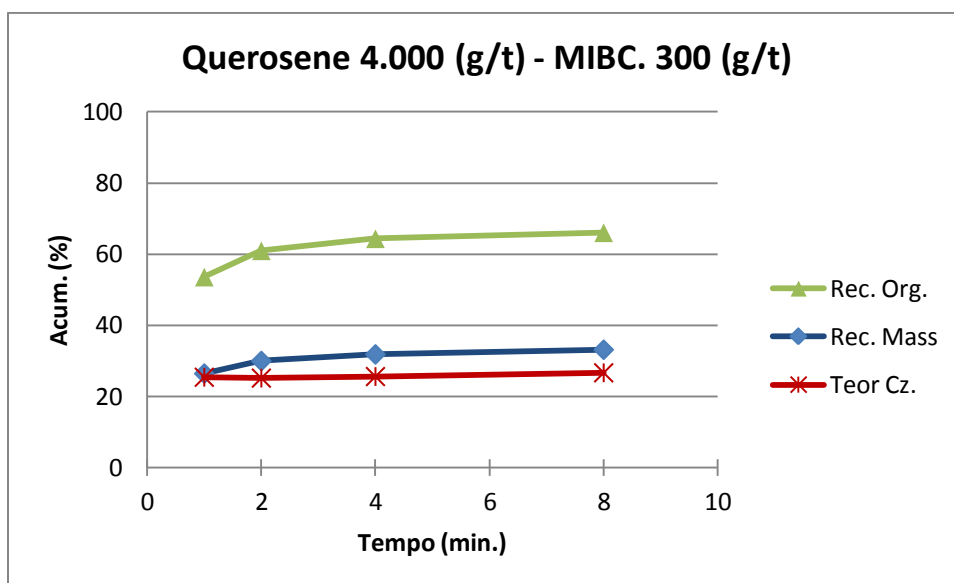


**Figura 71.** Lilafлот em função do tempo.

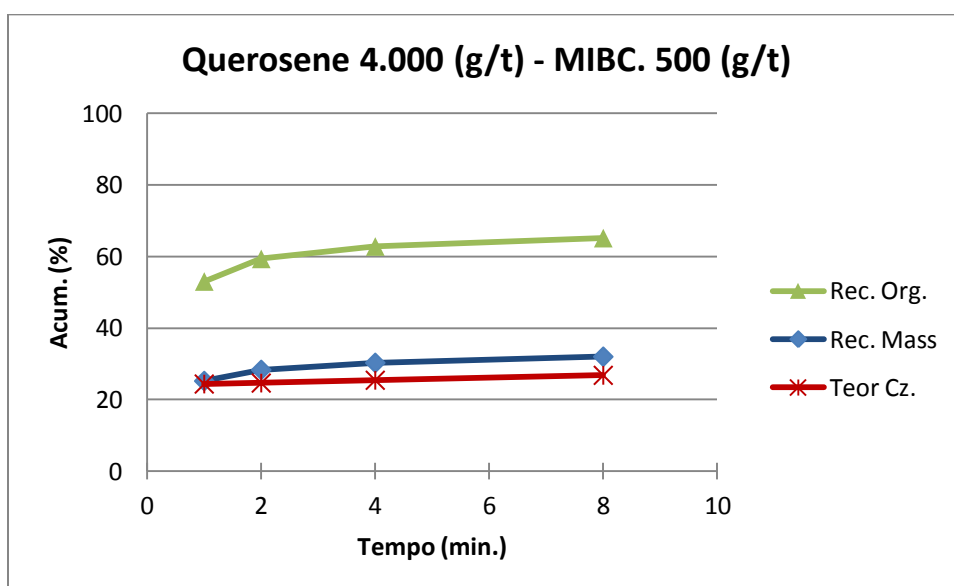


**Figura 72.** Lilafлот em função do tempo.

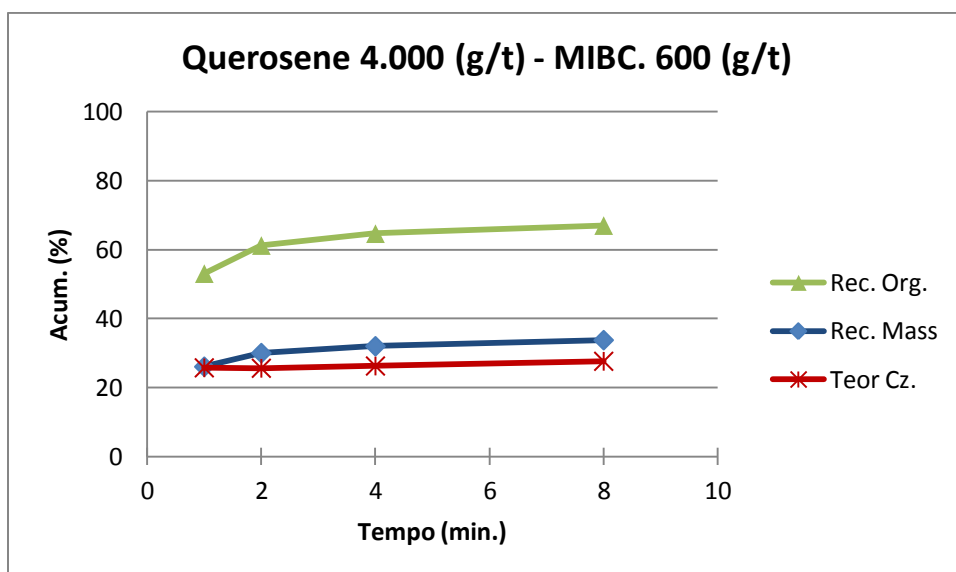
**ADENDO E: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO - QUEROSENE 4000  
g/t - MIBC**



**Figura 73.** Ensaio específicos de flotação variando a dosagem do espumante e mantendo fixo o coletor em 4.000 g/t.



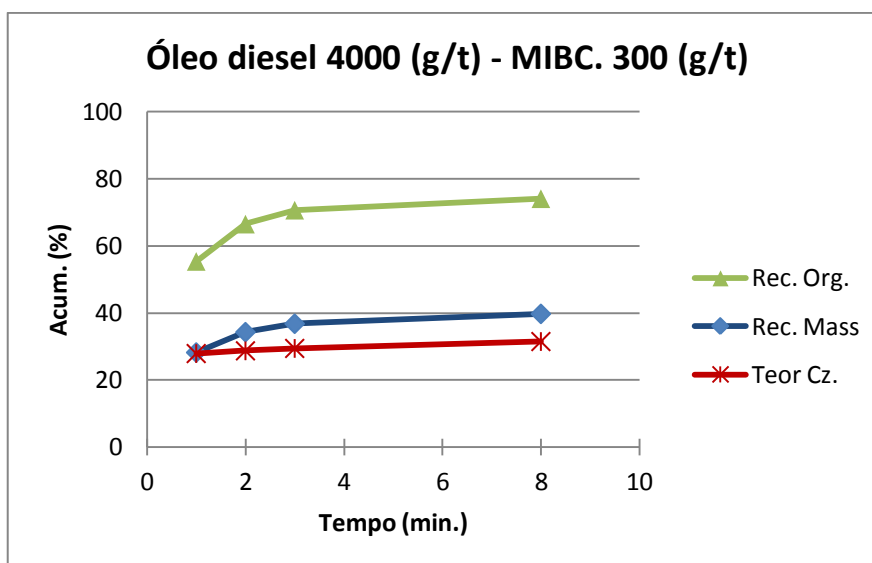
**Figura 74.** Ensaio específicos de flotação variando a dosagem do espumante e mantendo fixo o coletor em 4.000 g/t.



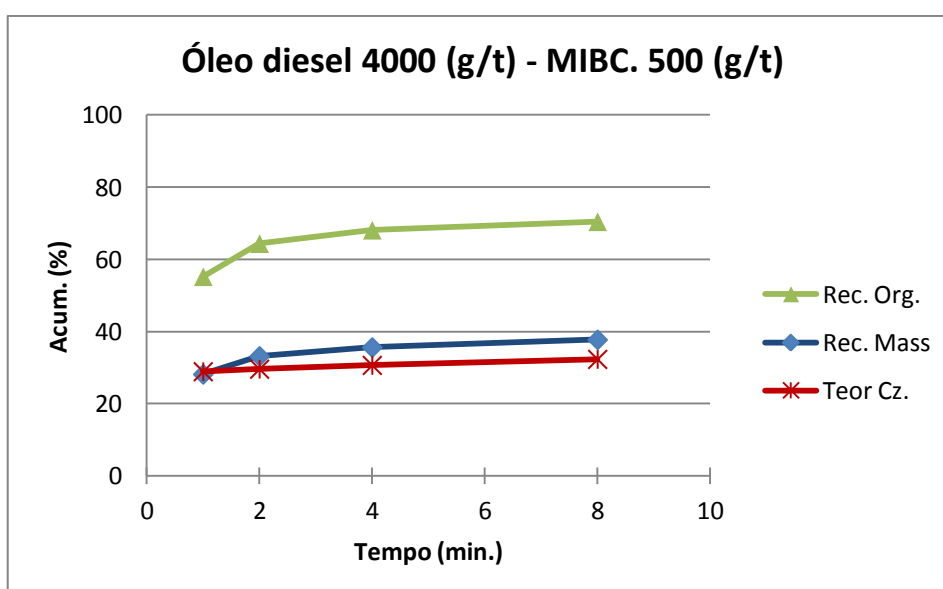
**Figura 75.** Ensaio específicos de flotação variando a dosagem do espumante e mantendo fixo o coletor em 4.000 g/t.



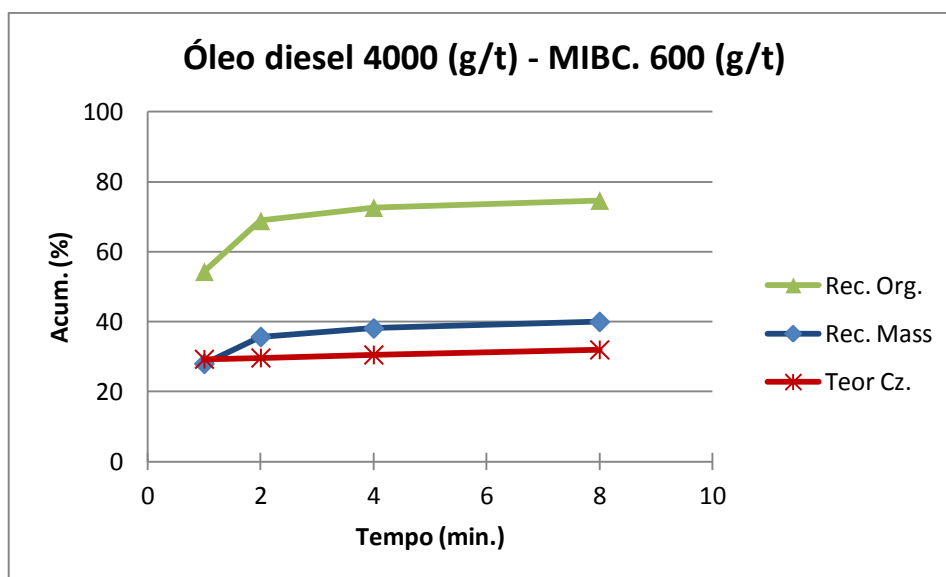
**ADENDO F: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO ÓLEO DIESEL 4000  
g/t - MIBC**



**Figura 76.** Ensaios específicos de flotação variando a dosagem do espumante e mantendo fixo o coletor em 4.000 g/t.

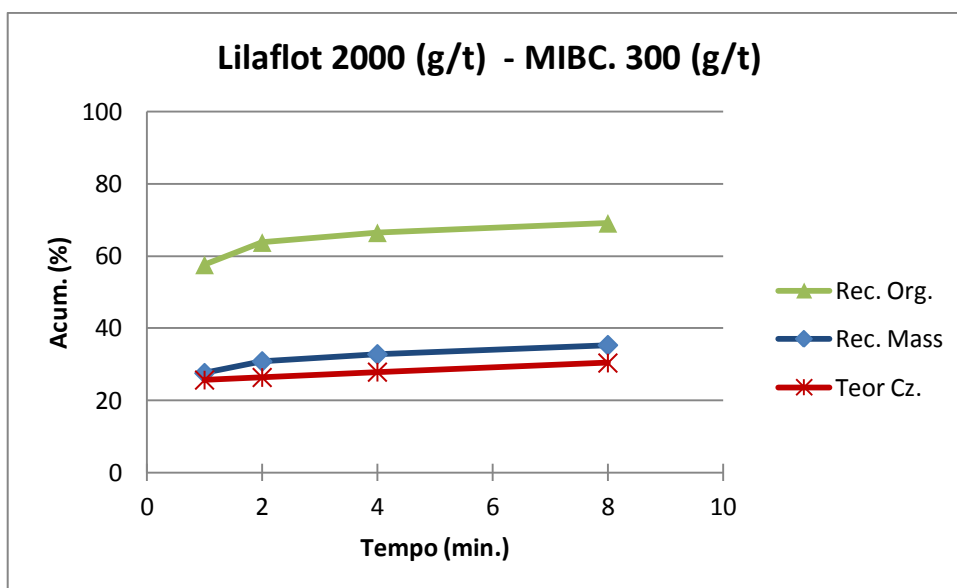


**Figura 77.** Ensaios específicos de flotação variando a dosagem do espumante e mantendo fixo o coletor em 4.000 g/t.

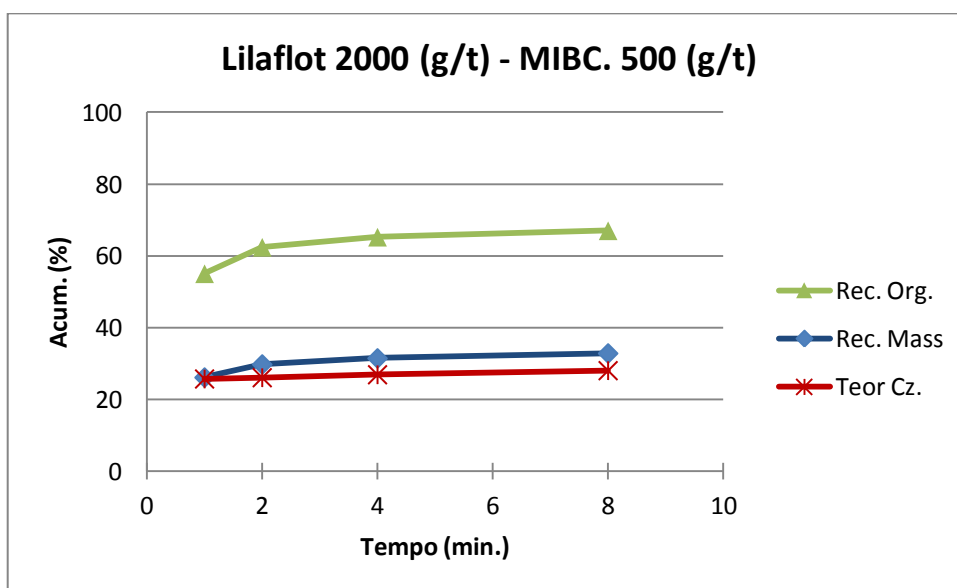


**Figura 78.** Ensaio específicos de flotação variando a dosagem do espumante e mantendo fixo o coletor em 4.000 g/t.

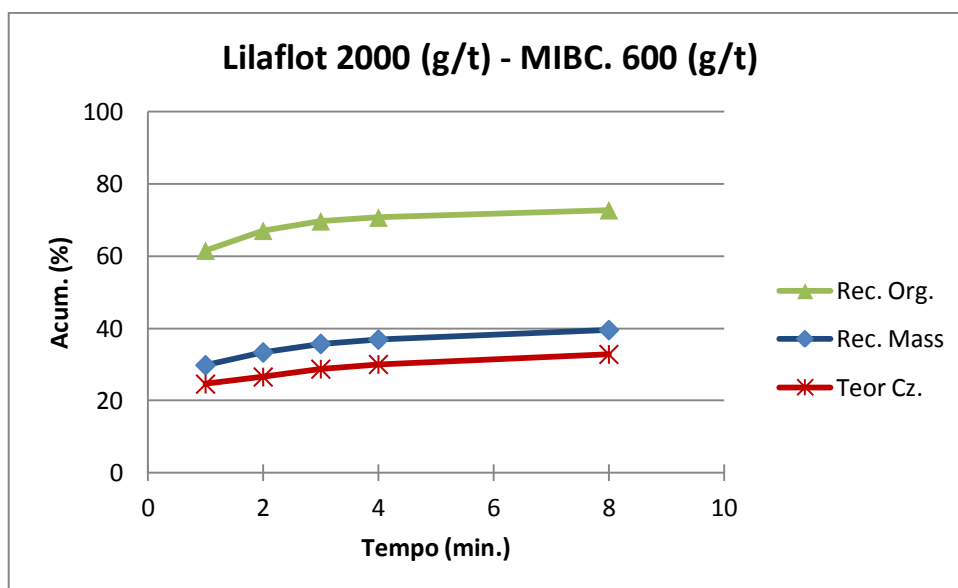
**ADENDO G: ENSAIOS ESPECIFICOS DE FLOTAÇÃO LILAFLOT 2000 g/t  
– MIBC**



**Figura 79.** Ensaio específicos de flotação variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (Lilafлот) em 2.000 g/t.



**Figura 80.** Ensaio específicos de flotação variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (Lilafлот) em 2.000 g/t.



**Figura 81.** Ensaio específicos de flotação variando a dosagem do espumante (MIBC) e mantendo fixo o coletor (Lilafлот) em 2.000 g/t.

**ADENDO H: TABELAS DOS ENSAIOS DE FLOTAÇÃO EM BANCADA**

**Tabela 20. Ensaios preliminares de flotação variando o Coletor e Espumante.**

ROTAÇÃO= 1000RPM

AMOSTRA Lodo-Carbonífera Criciúma - 120825-B Massa= 336,0 g.

V polipa= 4,0 L

V.AR= 2,0 L/s

Cp/p= 8,00%

DATA= 25/08/2012

Ensaio	Tempo minutos	Dosagem Coletor		Dosagem Espumante		Massa			Análises Imediata				Recuperação.		Teor	
		g/t	Acum.	g/t	Acum.	(g)	%	Acum.	Umide (%)	Cinzas Bs. (%)	Volateis (%)	Cfxo. (%)	Cz. Acum.(%)	Org. Acum.(%)	Cz. Acum.(%)	
Liafloth	1	986	986	0	0	87,98	26,18	26,18	0,82	24,98	26,75	48,27	10,43	52,71	24,98	
	2	989	1.975	0	0	16,38	4,88	31,06	0,88	34,72	24,46	40,82	13,12	61,25	26,51	
	3	992	2.967	0	0	10,23	3,04	34,10	0,88	43,39	22,50	34,11	15,23	65,88	28,02	
	4	995	3.962	0	0	5,85	1,74	35,84	0,80	49,43	21,20	29,38	16,60	68,24	29,06	
	6	1.994	5.956	0	0	9,34	2,78	38,62	0,77	53,27	19,92	26,80	18,96	71,72	30,80	
	Deprimido					206,22	61,38	100,00	0,78	82,83	12,02	5,15				
Alimentação					336,00	100,00		0,80	62,73	17,18	20,08					
Liafloth+Oleo de Pinho	1	998	998	100	100	53,23	15,84	15,84	0,74	27,22	25,79	46,99	6,85	31,09	27,22	
	2	1.001	1.999	100	200	40,89	12,17	28,01	0,93	34,77	23,84	41,40	13,58	52,49	30,50	
	3	1.003	3.002	101	301	22,95	6,83	34,84	1,01	44,39	21,36	34,25	18,40	62,73	33,22	
	4	1.004	4.006	101	402	12,42	3,70	38,54	0,90	48,27	20,61	31,12	21,24	67,89	34,67	
	6	2.002	6.008	204	606	14,24	4,24	42,78	0,85	55,43	19,23	25,34	24,97	72,98	36,72	
	Deprimido					192,27	57,22	100,00	0,70	82,49	12,13	5,38				
Alimentação					336,00	100,00		0,77	62,91	16,96	20,12					
Liafiot + Mibc	1	985	985	93	93	86,36	26,04	26,04	0,56	25,38	27,72	46,91	10,58	51,74	25,38	
	2	991	1.976	97	189	11,71	3,53	29,57	0,88	31,82	25,50	42,69	12,38	58,15	26,15	
	3	1.003	2.980	98	287	8,01	2,41	31,99	0,87	35,87	24,54	39,60	13,77	62,28	26,88	
	4	1.004	3.984	98	385	6,67	2,01	34,00	0,73	40,65	23,17	36,18	15,08	65,45	27,69	
	6	2.018	6.002	198	583	9,79	2,95	36,95	1,04	46,24	21,87	31,89	17,26	69,68	29,18	
	Deprimido					209,11	63,05	100,00	0,62	81,94	12,73	5,33				
Alimentação					331,64	100,00		0,64	62,44	17,85	19,70					



Continuação Tabela 20.

Ensaio	Tempo minutos	Dosagem Coletor		Dosagem Espumante		Massa			Análises Imediata				Recuperação.		Teor Cz.
		g/t	Acum.	g/t	Acum.	(g)	%	Acum.	Umide (%)	Cinzas Bs. (%)	Volateis (%)	Cfco. (%)	Cz. Acum. (%)	Org. Acum. (%)	
Óleo Diesel + Óleo de pinho pH= 7,50 (Nat.)	1	984	984	99	99	53,92	16,05	16,05	0,76	21,26	30,55	48,19	5,31	35,30	21,26
	2	991	1.974	100	199	41,58	12,38	28,42	0,81	31,03	26,11	42,86	11,30	59,14	25,51
	3	1.007	2.981	101	300	23,64	7,04	35,46	0,89	44,41	22,14	33,46	16,16	70,06	29,26
	4	1.009	3.990	109	409	13,12	3,90	39,36	0,95	54,98	20,29	24,72	19,51	74,97	31,81
	6	2.000	5.990	208	616	14,93	4,44	43,81	0,96	62,76	19,65	17,60	23,85	79,60	34,95
	Deprimido					188,81	56,19	100,00	0,78	87,00	12,15	0,85			
Alimentação					336,00	100,00		0,80	64,20	18,18	17,62				
Óleo Diesel + MIBC pH= 7,58 (Nat.)	1	1.004	1.004	102	102	47,60	14,17	14,17	0,92	21,41	28,21	50,37	4,86	29,67	21,41
	2	1.005	2.010	103	205	59,55	17,72	31,89	0,80	32,26	24,35	43,39	14,01	61,67	27,44
	3	1.008	3.018	106	312	23,54	7,01	38,90	0,89	48,04	20,82	31,13	19,39	71,38	31,15
	4	1.011	4.029	108	420	8,80	2,62	41,52	0,87	58,53	18,58	22,89	21,85	74,27	32,88
	6	2.018	6.047	201	621	18,76	5,58	47,10	1,05	65,79	17,90	16,32	27,73	79,36	36,78
	Deprimido					177,74	52,90	100,00	0,73	85,36	11,64	2,99			
Alimentação					336,00	100,00		0,80	62,48	17,42	20,10				
Quer. + Óleo de Pinho pH= 7,87 (Nat.)	1	997	997	100	100	69,49	20,68	20,68	0,64	24,17	28,66	47,17	7,82	43,44	24,17
	2	1.001	1.998	101	201	48,46	14,42	35,10	0,71	36,50	24,75	38,75	16,06	68,82	29,24
	3	1.005	3.003	102	303	12,49	3,72	38,82	0,76	48,68	21,52	29,81	18,89	74,10	31,10
	4	1.008	4.011	104	407	13,76	4,09	42,91	0,86	60,98	19,01	20,01	22,80	78,52	33,95
	6	2.001	6.012	203	609	13,15	3,91	46,83	0,86	70,10	17,46	12,44	27,09	81,76	36,97
	Deprimido					178,67	53,17	100,00	0,79	87,62	12,26	0,12			
Alimentação					336,00	100,00		0,75	63,90	18,28	17,82				
Quer. + MIBC pH= 7,63 (Nat.)	1	987	987	99	99	58,05	17,28	17,28	0,71	22,00	27,69	50,31	6,01	36,64	22,00
	2	1.002	1.988	99	198	32,82	9,77	27,05	0,74	28,00	24,67	47,33	10,34	55,76	24,17
	3	1.002	2.990	103	301	12,14	3,61	30,66	0,91	35,79	22,88	41,33	12,39	62,07	25,54
	4	1.003	3.993	103	404	6,75	2,01	32,67	0,86	42,90	21,42	35,68	13,75	65,18	26,60
	6	2.003	5.996	201	605	12,25	3,65	36,31	1,16	52,79	19,13	28,08	16,79	69,86	29,23
	Deprimido					213,99	63,69	100,00	0,79	82,59	12,18	5,22			
Alimentação					336,00	100,00		0,79	63,22	16,91	19,88				

**Tabela. 21.** Ensaios específicos de flotação, variando o coletor (Querosene) em 1000 g/t, 2000 g/t, 4000 g/t, 500 g/t e 6.000 g/t.mantendo fixo o espumante (MIBC.) em 400 g/t.

**Coletor - 1000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Analises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum	%	% Acum.
1	18,67	5,62	5,62	17,04	31,05	51,90	17,04	12,74	12,74
8	3,88	1,17	6,79	28,49	26,12	45,39	19,01	2,28	15,02
R	309,44	93,21	100,00	66,60	16,55	16,55			84,98
A	331,99	100,00		63,368					

**Coletor - 2000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Analises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum	%	% Acum.
1	78,52	23,65	23,6501	24,72	27,91	47,37	24,72	45,99	45,99
2	16,56	4,99	28,64	24,69	27,34	47,97	24,72	9,70	55,70
3	7,42	2,24	30,87	32,96	24,87	42,17	25,31	3,87	59,57
8	7,40	2,23	33,10	44,58	22,36	33,06	26,61	3,19	62,76
R	222,12	66,90	100,00	78,45	13,79	7,76			37,24
A	332,02	100,00		61,291					

**Coletor - 4000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Analises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum	%	% Acum.
1	94,84	28,37	28,37	27,39	27,37	45,24	27,39	55,79	55,79
2	10,73	3,21	31,58	30,55	25,27	44,18	27,71	6,04	61,83
3	4,90	1,47	33,05	36,26	23,86	39,88	28,09	2,53	64,36
5	5,55	1,66	34,71	41,74	22,52	35,74	28,74	2,62	66,98
8	4,78	1,43	36,14	54,47	19,69	25,84	29,76	1,76	68,75
R	213,48	63,86	100,00	81,93	12,97	5,10			31,25
A	334,27	100,00		63,078					

**Continuação da tabela 21.**

**Coletor - 5000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum	%	% Acum.
1	87,67	26,33	26,3279	26,02	27,17	46,81	26,02	52,51	52,51
2	16,43	4,93	31,26	27,23	26,69	46,08	26,21	9,68	62,19
3	5,32	1,60	32,86	33,07	25,39	41,54	26,54	2,88	65,08
8	9,25	2,78	35,64	46,54	22,08	31,39	28,10	4,01	69,08
R	214,31	64,36	100,00	82,18	12,60	5,21			30,92
A	332,98	100,00		62,909					

**Coletor - 6000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum	%	% Acum.
1	99,23	29,69	29,6893	26,96	27,26	45,79	26,96	56,52	56,52
2	16,78	5,02	34,71	28,68	26,26	45,06	27,20	9,33	65,84
3	5,19	1,55	36,26	34,74	24,53	40,72	27,53	2,64	68,49
5	5,23	1,57	37,83	47,98	21,42	30,60	28,37	2,12	70,61
8	4,85	1,45	39,28	57,69	19,49	22,82	29,46	1,60	72,21
R	202,96	60,72	100,00	82,44	12,31	5,26			27,79
A	334,24	100,00		61,627					

**Tabela 22.** Ensaio específico de flotação, variando o coletor (Óleo Diesel.) em 1000 g/t, 2000 g/t, 4000 g/t, 5000 g/t, 6000 g/t.mantendo fixo o espumante (MIBC.) em 400 g/t.

**Coletor - 1000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	66,81	20,15	20,15	25,23	27,76	47,01	25,23	40,47	40,47
2	33,52	10,11	30,26	28,34	27,04	44,62	26,27	19,46	59,93
3	8,32	2,51	32,77	32,16	26,00	41,83	26,72	4,57	64,50
8	3,38	1,02	33,79	36,59	24,43	38,98	27,02	1,74	66,24
R	219,56	66,21	100,00	81,02	13,72	5,26			33,76
A	331,58	100,00		62,78					

**Coletor - 2000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	66,78	20,08	20,08	27,96	27,39	44,65	27,96	40,83	40,83
2	34,94	10,51	30,58	30,29	27,00	42,71	28,76	20,67	61,50
3	8,57	2,58	33,16	34,77	25,71	39,52	29,23	4,75	66,25
4	4,57	1,38	34,54	39,92	23,75	36,33	29,65	2,33	68,58
8	4,89	1,47	36,01	46,41	22,88	30,71	30,34	2,22	70,80
R	212,84	63,99	100,00	83,84	12,82	3,34			29,20
A	332,60	100,00		64,57					

**Coletor - 4000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	92,78	27,84	27,84	28,91	27,76	43,33	28,91	55,20	55,20
2	24,02	7,21	35,05	30,59	25,59	43,82	29,25	13,96	69,16
3	6,25	1,87	36,93	42,62	22,92	34,47	29,93	3,00	72,16
5	3,44	1,03	37,96	47,58	21,37	31,05	30,41	1,51	73,67
8	5,03	1,51	39,47	56,31	19,66	24,03	31,40	1,84	75,50
R	201,70	60,53	100,00	85,49	12,74	1,77			24,50
A	333,21	100,00		64,14					

**Continuação Tabela 22.**

**Coletor - 5000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	96,06	28,82	28,82	25,10	43,37	31,53	25,10	57,76	57,76
2	18,71	5,61	34,43	33,72	25,68	40,60	26,51	9,95	67,71
3	7,84	2,35	36,79	38,82	23,66	37,52	27,29	3,85	71,56
5	6,15	1,84	38,63	47,19	21,59	31,22	28,24	2,61	74,17
8	4,94	1,48	40,11	57,09	18,31	24,60	29,31	1,70	75,87
R	199,61	59,89	100,00	84,94	12,12	2,93			24,13
A	333,30	100,00		62,63					

**Coletor - 6000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	87,87	26,51	26,51	30,27	26,41	43,31	30,27	49,69	49,69
2	31,25	9,43	35,94	32,73	25,26	42,01	30,92	17,05	66,74
3	8,43	2,54	38,48	39,29	23,70	37,00	31,47	4,15	70,89
4	5,06	1,53	40,00	47,31	21,91	30,78	32,08	2,16	73,05
8	7,21	2,17	42,18	59,65	18,83	21,52	33,50	2,36	75,41
R	191,68	57,82	100,00	84,18	12,37	3,44			24,59
A	331,49	100,00		62,81					

**Tabela 23.** Ensaio específico de flotação, variando o coletor (Lilafлот.) em 1000 g/t, 2000 g/t, 4000 g/t, 5000 g/t, 6000 g/t. mantendo fixo o espumante (MIBC) em 400 g/t.

**Coletor - 1000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	79,40	23,85	23,85	23,53	28,55	47,91	23,53	49,88	49,88
2	16,59	4,98	28,83	28,15	27,36	44,49	24,33	9,79	59,66
3	4,12	1,24	30,07	59,03	25,17	15,80	25,76	1,39	61,05
8	6,00	1,80	31,87	43,14	21,88	34,98	26,74	2,80	63,85
R	226,81	68,13	100,00	80,60	13,09	6,31			36,15
A	332,92	100,00		63,433					

**Coletor - 2000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	68,50	20,74	20,74	25,24	28,07	46,70	25,24	41,80	41,80
2	13,88	4,20	24,94	23,68	26,94	49,38	24,97	8,65	50,45
3	9,30	2,81	27,75	28,92	25,53	45,56	25,37	5,39	55,85
4	4,27	1,29	29,05	34,75	24,39	40,86	25,79	2,27	58,12
8	6,34	1,92	30,97	42,33	22,28	35,40	26,82	2,99	61,10
R	228,05	69,03	100,00	79,10	13,57	7,33			38,90
A	330,34	100,00		62,912					

**Coletor - 4000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	63,65	18,98	18,98	23,29	28,42	48,29	23,29	39,33	39,33
2	29,16	8,70	27,68	33,21	25,32	41,47	26,41	15,69	55,02
3	8,91	2,66	30,34	39,50	23,64	36,86	27,55	4,34	59,36
4	6,55	1,95	32,29	50,70	20,87	28,43	28,95	2,60	61,96
8	8,82	2,63	34,92	53,30	20,29	26,41	30,79	3,32	65,28
R	218,19	65,08	100,00	80,25	13,49	6,27			34,72
A	335,28	100,00		62,976					

**Continuação Tabela 23.**

**Coletor - 5000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	76,32	22,95	22,95	25,19	28,23	46,58	25,19	45,61	45,61
2	16,59	4,99	27,94	27,06	30,03	42,91	25,52	9,66	55,28
3	8,11	2,44	30,38	31,73	25,75	42,52	26,02	4,43	59,70
4	3,66	1,10	31,48	38,44	23,90	37,66	26,46	1,80	61,50
8	6,25	1,88	33,36	46,84	22,53	30,63	27,60	2,65	64,15
R	221,61	66,64	100,00	79,75	13,39	6,85			35,85
A	332,54	100,00		62,357					

**Coletor - 6000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	76,23	22,99	22,99	24,45	28,71	46,84	24,45	45,59	45,59
2	18,23	5,50	28,48	24,68	27,87	47,45	24,49	10,87	56,46
4	7,22	2,18	30,66	49,69	21,65	28,66	26,28	2,87	59,34
8	7,67	2,31	32,97	57,32	19,31	23,37	28,46	2,59	61,93
R	222,28	67,03	100,00	78,36	13,60	8,03			38,07
A	331,62	100,00		61,91					

**Tabela 24.** Ensaio específico de flotação variando o reagente Lilafлот em 1000 g/t, 2000 g/t, 4000 g/t, 5000 g/t e 6000 g/t, sem uso de espumante.

**Coletor - 1000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	66,42	19,98	19,98	23,07	28,53	48,40	23,07	41,28	41,28
2	18,70	5,62	25,61	26,11	27,55	46,33	23,74	11,16	52,43
3	5,19	1,56	27,17	30,90	26,57	42,53	24,15	2,89	55,33
5	5,22	1,57	28,74	37,87	24,41	37,71	24,90	2,62	57,95
8	4,22	1,27	30,01	46,95	22,23	30,82	25,83	1,81	59,76
R	232,65	69,99	100,00	78,58	13,90	7,52			40,24
A	332,40	100,00		62,75					

**Coletor - 2000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	75,89	22,75	22,75	24,45	28,13	47,41	24,45	47,46	47,46
2	16,68	5,00	27,75	27,70	27,18	45,11	25,04	9,98	57,44
4	8,46	2,54	30,29	39,75	23,56	36,69	26,27	4,22	61,66
8	7,32	2,20	32,48	53,95	20,52	25,53	28,14	2,79	64,45
R	225,22	67,52	100,00	80,93	13,56	5,51			35,55
A	333,57	100,00		63,79					

**Coletor - 4000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	78,21	23,57	23,57	24,43	28,32	47,26	24,43	47,81	47,81
2	12,47	3,76	27,33	29,98	26,64	43,38	25,19	7,06	54,87
3	6,76	2,04	29,37	34,03	25,10	40,87	25,80	3,61	58,48
8	9,07	2,73	32,10	43,37	23,03	33,60	27,30	4,15	62,64
R	225,27	67,90	100,00	79,50	13,38	7,12			37,36
A	331,79	100,00		62,74					



**Continuação Tabela 24.**

**Coletor - 5000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	71,94	21,67	21,67	23,90	28,39	47,70	23,90	42,96	42,96
2	16,15	4,87	26,53	27,56	27,38	45,06	24,57	9,18	52,15
4	12,68	3,82	30,35	33,94	24,83	41,23	25,75	6,57	58,72
8	10,43	3,14	33,49	46,90	22,81	30,30	27,73	4,35	63,07
R	220,85	66,51	100,00	78,69	13,58	7,73			36,93
A	332,06	100,00		61,63					

**Coletor - 6000 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	78,63	23,75	23,75	24,44	28,26	47,30	24,44	48,98	48,98
2	15,78	4,77	28,51	28,28	27,04	44,68	25,08	9,33	58,32
4	9,02	2,72	31,24	36,30	24,80	38,91	26,06	4,74	63,05
8	9,49	2,87	34,10	45,63	22,89	31,47	27,70	4,25	67,31
R	218,21	65,90	100,00	81,83	13,26	4,91			32,69
A	331,14	100,00		63,37					

**Tabela 25.** Ensaio mantendo fixo o Coletor (Querosene) em 4.000 g/t, variando o espumante (MIBC.) em 300, 500, e 600 g/t.

**Espumante - 300 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	87,57	26,46	26,46	25,44	28,10	46,46	25,44	53,60	53,60
2	11,73	3,54	30,00	23,32	27,89	48,79	25,19	7,38	60,99
4	6,16	1,86	31,86	32,81	25,05	42,15	25,64	3,40	64,38
8	4,31	1,30	33,16	52,55	20,43	27,02	26,69	1,68	66,06
R	221,22	66,84	100,00	81,31	12,77	5,91			33,94
A	330,98	100,00		63,2					

**Espumante - 500 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	83,89	25,21	25,2101	24,37	28,55	47,09	24,37	53,04	53,04
2	10,31	3,10	28,31	26,76	27,64	45,60	24,63	6,31	59,36
4	6,55	1,97	30,28	36,77	24,46	38,77	25,42	3,46	62,82
8	5,73	1,72	32,00	51,02	21,25	27,73	26,80	2,35	65,17
R	226,29	68,00	100,00	81,59	13,19	5,23			34,83
A	332,78	100,00		64,05					

**Espumante - 600 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	86,55	26,11	26,11	25,79	27,83	46,38	25,79	53,13	53,13
2	13,10	3,95	30,06	24,81	27,12	48,07	25,66	8,15	61,28
4	6,54	1,97	32,04	36,34	23,64	40,03	26,32	3,45	64,72
8	5,91	1,78	33,82	52,06	20,48	27,46	27,68	2,35	67,07
R	219,36	66,18	100,00	81,85	13,02	5,13			32,93
A	331,47	100,00		63,53					

**Tabela 26.** Ensaio mantendo fixo o Coletor (Óleo Diesel) em 4.000 g/t, variando o espumante (MIBC.) em 300, 500 e 600 g/t.

**Espumante - 300 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	94,35	28,28	28,28	27,97	26,90	45,13	27,97	55,45	55,45
2	20,24	6,07	34,35	32,59	25,37	42,05	28,78	11,13	66,58
3	8,38	2,51	36,86	39,23	23,42	37,35	29,50	4,15	70,74
8	9,83	2,95	39,80	57,32	18,99	23,69	31,56	3,42	74,16
R	200,84	60,20	100,00	84,23	11,92	3,85			25,84
A	333,63	100,00		63,27					

**Espumante - 500 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	93,80	28,17	28,17	28,92	27,04	44,03	28,92	55,24	55,24
2	16,64	5,00	33,17	33,50	25,24	41,26	29,61	9,17	64,40
4	8,16	2,45	35,62	45,02	22,00	32,97	30,67	3,72	68,12
8	7,08	2,13	37,75	60,17	19,11	20,72	32,33	2,33	70,46
R	207,28	62,25	100,00	82,80	12,86	4,34			29,54
A	332,96	100,00		63,75					

**Espumante - 600 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	92,78	27,98	27,98	29,30	27,40	43,30	29,30	54,33	54,33
2	25,47	7,68	35,66	31,02	25,68	43,29	29,67	14,55	68,88
4	8,07	2,43	38,10	43,29	23,35	33,36	30,54	3,79	72,67
8	6,26	1,89	39,99	61,01	19,02	19,96	31,98	2,02	74,69
R	198,98	60,01	100,00	84,64	12,78	2,58			25,31
A	331,55	100,00		63,59					

**Tabela 27.** Ensaio mantendo fixo o coletor (Lilafлот) em 2.000 g/t, variando o espumante (MIBC.) em 300, 500 e 600 g/t.

**Espumante - 300 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Analises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	91,09	27,57	27,57	25,67	28,27	46,06	25,67	57,61	57,61
2	10,78	3,26	30,84	32,42	25,85	41,73	26,38	6,20	63,81
4	6,50	1,97	32,80	50,95	17,10	31,94	27,86	2,71	66,52
8	8,38	2,54	35,34	63,19	18,74	18,07	30,39	2,62	69,14
R	213,60	64,66	100,00	83,02	13,16	3,82			30,86
A	330,35	100,00		64,422					

**Espumante - 500 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Analises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	86,57	26,13	26,1304	25,73	27,67	46,60	25,73	55,06	55,06
2	12,06	3,64	29,77	28,64	26,49	44,88	26,09	7,37	62,44
4	5,61	1,69	31,46	41,25	22,88	35,87	26,91	2,82	65,26
8	4,56	1,38	32,84	54,30	20,17	25,53	28,05	1,78	67,04
R	222,50	67,16	100,00	82,71	13,02	4,28			32,96
A	331,30	100,00		64,76					

**Espumante - 600 (g/t)**

Ensaio	Recuperação Massa			Analises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	98,84	29,82	29,82	24,59	27,96	47,46	24,59	61,60	61,60
2	11,74	3,54	33,36	43,16	22,82	34,02	26,56	5,51	67,12
3	7,85	2,37	35,73	59,55	19,49	20,95	28,74	2,62	69,74
4	3,95	1,19	36,92	68,86	15,98	15,16	30,04	1,02	70,76
8	8,78	2,65	39,57	71,67	14,82	13,51	32,82	2,05	72,81
R	200,30	60,43	100,00	83,58	9,93	6,49			27,19
A	331,45	100,00		63,49					

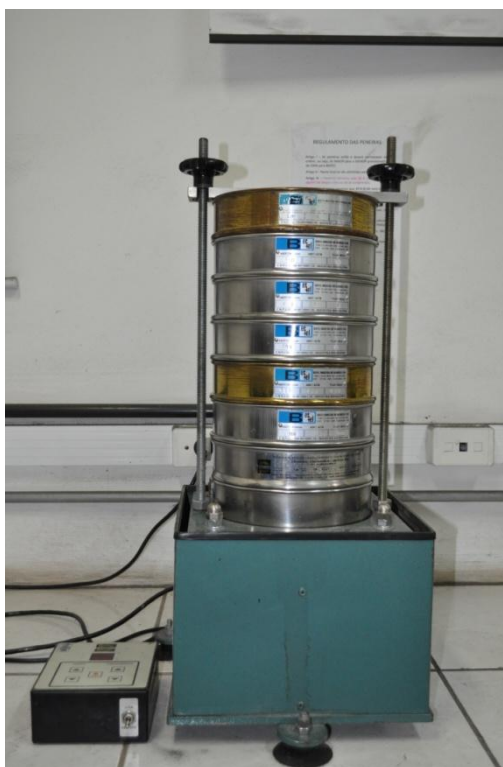
**Tabela 28.** Ensaio específico de flotação com Óleo Diesel 4.000 (g/t) e MIBC 400 (g/t), deslamado a 0,074 mm.

Ensaio	Recuperação Massa			Análises. Imediatas			Teor Cz.	Rec. Orgânica	
	Massa.	%	% Acum.	Czas	Vol.	C. fixo	% Acum.	%	% Acum.
1	116,61	34,83	34,83	35,76	25,71	38,53	35,76	55,76	55,76
2	39,98	11,94	46,78	41,12	24,12	34,76	37,13	17,52	73,28
3	12,88	3,85	50,62	42,37	23,82	33,81	37,53	5,53	78,81
4	6,77	2,02	52,65	41,04	24,24	34,72	37,66	2,97	81,78
8	10,17	3,04	55,69	64,00	18,40	17,60	39,10	2,72	84,51
R	148,35	44,31	100,00	85,73	11,22	3,05			15,49
A	334,77	100,00		59,87	19,23	20,9			

**ADENDO – I: FOTOGRAFIAS**



**Figura 82.** Amostras de polpa do “lodo” de rejeito da Carbonífera Criciúma, devidamente acondicionadas em toneis de 50 litros, listas para seu armazenamento.  
Fonte: Autoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS



**Figura 83.** Vibrador elétrico para peneiras BRONZINOX – BERTEL com série de peneiras.

Fonte: Autoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS



**Figura 84.** Balança analítica SHIMADZU AY220, C. Máx. 220g, C mín. 0,01 g.  
Fonte: Aatoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS



**Figura 85.** Forno Mufla Jung, modelo 5463.  
Fonte: Aatoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS





**Figura 86.** Geração de bolhas dentro da célula de flotação.  
Fonte: Autoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS



**Figura 87.** Geração da espuma rica em matéria carbonosa.  
Fonte: Autoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS



**Figura 88.** Espuma sem matéria carbonosa, no oitavo minuto de flotação.  
Fonte: Autoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS



**Figura 89.** Bomba calorimétrica.  
Fonte: Autoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS



**Figura 90.** Equipamento para análises elementar CHSNO.  
Fonte: Autoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS



**Figura 91.** Espectrômetro de raios-X RAY NY EDX-720 SHIMADZU.  
Fonte: Autoria própria, (2013) – LAPROM/UFRGS