

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

**PURIFICAÇÃO DE AREIAS PROVENIENTES DE RESÍDUOS DE PEDREIRA
DE QUARTZITO POR FLOTAÇÃO**

Autora: Rubhia Marianna Maciel de Morais

Orientadora: Prof^ª. Dr.^a. Rosa Malena Fernandes Lima

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

Ouro Preto, maio de 2007.

M827p

Morais, Rubhia Marianna Maciel de.

Purificação de areias provenientes de resíduos de pedreira de quartzito por flotação [manuscrito] / Rubhia Marianna Maciel de Moraes – 2007.

xxviii, 147f.: il., color; tabs.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rosa Malena Fernandes Lima.

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

Área de concentração: Tratamento de minérios.

1. Quartzito - Teses. 2. Resíduos - Teses. 3. Flotação - Teses. 4. Vidro - Teses
I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 552.45

Catálogo: sisbin@sisbin.ufop.br

**PURIFICAÇÃO DE AREIAS PROVENIENTES DE RESÍDUOS DE PEDREIRA
DE QUARTZITO POR FLOTAÇÃO**

AUTORA: RUBHIA MARIANNA MACIEL DE MORAIS

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 29 de maio de 2007,
pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz (Membro / UFOP)

Prof^a. Dr^a. Luana Duarte Santos (Membro / CPRM)

Prof^a. Dr^a Rosa Malena Fernandes Lima (Orientadora / UFOP)

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos especiais à Prof^a Rosa Malena Fernandes Lima por suas preciosas orientações.

Aos professores Antônio Eduardo Clark Peres e José Aurélio Medeiros da Luz pelos conhecimentos passados nas aulas.

Aos Profs. José Aurélio Medeiros da Luz e Carlos Alberto Pereira pelas sugestões na defesa da proposta de dissertação e empréstimo de material bibliográfico.

Ao Sr. Davison da Pedreira, pelo fornecimento das amostras de areia.

À Cytec, na pessoa do Sr. Emiliano Rappeto, pelo fornecimento do reagente Aero Promoter.

À Fosfértil, na pessoa de Elisa Cafaro, pelo fornecimento do reagente óleo de soja.

Ao Prof. Wilfrid Schwabe Keller, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG), pelo importante fornecimento de material de pesquisa.

RESUMO

As areias de quartzito, objeto deste estudo, provêm da região de Ouro Preto e Mariana e constituem o rejeito da lavra da rocha, a qual é extraída principalmente para a produção de rochas ornamentais, na forma de placas de pisos e revestimentos. A lavra e o beneficiamento do quartzito na região geram uma grande quantidade de rejeitos que, ao serem lançados nas encostas dos morros, têm ocasionado elevado impacto ambiental. Por esta razão, este trabalho teve por objetivo purificar as areias provenientes dos entulhos oriundos das frentes de lavra, usando flotação, de forma a se agregar valor ao material. Os ensaios foram efetuados em laboratório, usando flotação em bancada, visando à remoção das impurezas. Para tal, foram utilizados como coletores ácido graxo (óleo de soja) e Aero Promoter[®] 845 (succinamato). Os melhores resultados foram obtidos para a rotação da célula de flotação de 1000 RPM, tempo de condicionamento com coletor 7 minutos, 300 g/t do coletor óleo de soja, porcentagem de sólidos 30 %, com a etapa de atrição e sem a fração menor que 0,037 mm para o coletor ácido graxo. O coletor succinamato, mesmo a dosagens mais baixas, apresentou resultados semelhantes ao ácido graxo, mostrando-se, assim, mais eficiente. A melhor dosagem encontrada foi de 100 g/t para este coletor. A análise granulométrica realizada em um dos ensaios com o óleo de soja para as amostras da frente de lavra e do desmonte hidráulico mostrou que algumas frações do produto afundado apresentaram as especificações requeridas para areia para fabricação de vidro. O produto afundado da maioria dos ensaios de flotação apresentou as especificações exigidas, com exceção dos teores de TiO₂.

ABSTRACT

The sands of quartzite, object of this study come from the region of Ouro Preto and Mariana constitute the mining's waste of the rock, which is extracted mainly to be used in civil construction like ornamental purposes in the form of plates of floors and coatings. The mining and beneficiation of quartz in the region generates a large quantity of waste which are released on the slopes of the hills, have caused large environmental impact. For this reason, this work aimed to purify the sands from the rubble in the front of mine, using froth flotation in order to add value to the material. The tests were performed in laboratory, using flotation on bench, to the removal of impurities. To this, were used as collectors fatty acid (soybean oil) and Aero Promoter® 845 (succinamate). The best results were obtained for the rotation of the flotation cell of 1000 RPM, with collector conditioning time of 7 minutes, 300 g/t collector of soybean oil, solid percentage of 30 %, with the stage of attrition and without the smallest fraction to 0,037 mm for the fatty acid collector. The collector succinamate, even at lower dosages, showed results similar to fatty acid and is therefore more efficient. The best dosage found was 100 g/t for this collector. The analysis in one of the tests with soybean oil in the samples in front of mine and disassemble hydraulic showed that some fractions of the concentrate had the specifications required for the manufacture of glass sand. The concentrate of most tests showed the required specifications, except the levels of TiO_2 .

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XVI
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – OBJETIVO	4
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 – Quartzo.....	5
3.1.1 – Generalidades.....	5
3.1.2 – Quartzo no Brasil.....	6
3.1.3 – Aplicações do quartzo.....	8
3.2 – Quartzitos.....	10
3.2.1 – Reservas e produção nacional de quartzito.....	15
3.2.2 – Depósitos de quartzito da região de Ouro Preto e Mariana / MG.....	18
3.3 – Caracterização Tecnológica dos resíduos de quartzito de Ouro Preto (Lima e colaboradores, 2005).....	20
3.3.1 – Mineralogia.....	22
3.3.2 – Granulometria.....	26
3.3.3 – Composição.....	26
3.4 – Propriedades superficiais de partículas sólidas.....	26
3.4.1 – Carga de superfície de partículas sólidas em meio aquoso.....	26
3.4.2 – A dupla camada elétrica.....	30
3.4.3 – Carga superficial do quartzo.....	33
3.5 – Flotação.....	35
3.5.1 – Reagentes de Flotação.....	36
3.5.1.1 – Coletores.....	36
3.5.1.1.1 – Ácidos graxos.....	40
3.5.1.1.2 – Aero Promoter 845 [®] (Cytec, 2002).....	50
4 – MATERIAIS E METODOLOGIA	51
4.1 – Preparo dos reagentes utilizados nos ensaios de flotação.....	52
4.2 – Procedimento para a realização dos ensaios de flotação.....	53

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
5.1 – Ensaio preliminares de flotação com as areias de quartzito.....	54
5.2 – Ensaio de flotação da Amostra B (desmonte hidráulico).....	63
5.2.1 – Influência da rotação da célula de flotação.....	63
5.2.2 – Influência do tempo de condicionamento com coletor.....	66
5.2.3 – Influência da realização da etapa de atrição.....	69
5.2.4 – Influência da porcentagem de sólidos.....	72
5.2.5 – Influência da dosagem de coletor óleo de soja.....	75
5.2.6 – Influência do descarte da fração menor que 0,037 mm.....	77
5.3 – Estudo da performance do coletor Aero Promoter [®] 845 na flotação da amostra B.....	80
6 – CONCLUSÕES	86
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXO I.....	92
ANEXO II.....	101

LISTA DE SIGLAS

CMC – concentração micelar crítica

DCE – dupla camada elétrica

IDP – íon determinador de potencial

PCZ – ponto de carga zero

PIE – ponto isoelétrico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista geral de uma das unidades de exploração do quartzito da região de Ouro Preto, mostrando a precariedade das vias de acesso, a aleatoriedade do desenvolvimento das frentes de lavra e a deposição descontrolada de rejeitos e estéreis (Lima e colaboradores, 2005).....	20
Figura 2 – Detalhes dos resíduos finos (areias) depositadas nas encostas, soterrando as matas ciliares e assoreando os cursos d'água (Lima e colaboradores, 2005).....	21
Figura 3 – Vista das encostas mostrando a extensão do impacto ambiental decorrente do tipo de exploração e beneficiamento (Lima e colaboradores, 2005).....	21
Figura 4 – Grãos de quartzo orientados sob luz natural e luz polarizada (Lima e colaboradores, 2005).....	22
Figura 5 – Grão de sericita orientados sob luz natural e luz polarizada (Lima e colaboradores, 2005).....	23
Figura 6 – Grão de cianita orientados sob luz natural e polarizada (Lima e colaboradores, 2009).....	23
Figura 7 – Grãos de quartzo de diferentes tamanhos com algumas impregnações de óxidos de ferro e grãos de sericita, orientados sob luz natural e luz polarizada (Lima e colaboradores, 2005).....	24
Figura 8 – Grãos de quartzo com bordas recobertas por óxido de ferro, orientados sob luz natural e luz polarizada, evidenciando a sua textura em mosaico (Lima e colaboradores, 2005).....	24
Figura 9 – Grão de óxido orientado sob luz natural e luz polarizada (Lima e colaboradores, 2005).....	25
Figura 10 – Estrutura da dupla camada elétrica (Leja, 1982; Parks, 1975).....	32
Figura 11 – Esquema de hidrólise superficial do quartzo (Fuerstenau, 1982).....	35
Figura 12 – Potencial zeta do quartzo em função do pH (Fuerstenau, 1982).....	36
Figura 13 – Representação esquemática da adsorção de um coletor aniônico em um sólido de carga positiva, mostrando a adsorção de íons individuais e em seguida a formação de micelas (Fuerstenau e Pradip, 2005).....	41

Figura 14 – Curva de dissociação esquemática de ácidos graxos, sulfatos e sulfonatos (Leja, 1982).....	46
Figura 15 – Distribuição granulométrica do produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	56
Figura 16 – Teor de sílica para as diferentes faixas na análise granulométrica do produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	57
Figura 17 – Teores de Al_2O_3 nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	57
Figura 18 – Teores de Fe_2O_3 nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	58
Figura 19 – Teores de TiO_2 nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	58
Figura 20 – Teores de CaO nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	59
Figura 21 – Teores de K_2O nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	59
Figura 22 – Teores de MgO nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200	

RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	60
Figura 23 – Teores de Na ₂ O nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	60
Figura 24 – P.P.C. (perda por calcinação) nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	61
Figura 25 – Teores de Cr nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	61
Figura 26 – Teores de Co nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	62
Figura 27 – Teores de P nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	62
Figura 28 – Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos e 5 min de condicionamento.....	64
Figura 29 – Teores de Al ₂ O ₃ no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 5 min de condicionamento.....	64
Figura 30 – Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 5 min de condicionamento.....	65

Figura 31 – Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 5 min de condicionamento.....	65
Figura 32 – Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 1300 RPM (3 e 7 min) e 1200 RPM (5 min).....	67
Figura 33 – Teores de Al ₂ O ₃ no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 1300 RPM (3 e 7 min) e 1200 RPM (5 min).....	67
Figura 34 – Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 1300 RPM (3 e 7 min) e 1200 RPM (5 min).....	68
Figura 35 – Teores de impurezas no concentrado no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 1300 RPM (3 e 7 min) e 1200 RPM (5 min).....	68
Figura 36 – Recuperação em massa e teor de sílica do concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 5 min de condicionamento, 1200 RPM e 40 % de sólidos.....	70
Figura 37 – Teores de Al ₂ O ₃ no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 5 min de condicionamento, 1200 RPM e 40 % de sólidos.....	70
Figura 38 – Teores de outras impurezas (teores maiores) no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 5 min de condicionamento, 1200 RPM e 40 % de sólidos.....	71
Figura 39 – Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 5 min de condicionamento, 1200 RPM e 40 % de sólidos.....	71
Figura 40 – Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, 7 min de	

	condicionamento, pH natural com atrição e 1000 RPM (30 e 50 %) e 1300 RPM (40 %)	73
Figura 41	– Teores de Al_2O_3 no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, 7 min de condicionamento, pH natural com atrição e 1000 RPM (30 e 50 %) e 1300 RPM (40 %)	73
Figura 42	– Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, 7 min de condicionamento, pH natural com atrição e 1000 RPM (30 e 50 %) e 1300 RPM (40 %)	74
Figura 43	– Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, 7 min de condicionamento, pH natural com atrição e 1000 RPM (30 e 50 %) e 1300 RPM (40 %)	74
Figura 44	– Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 7 min de condicionamento, 1000 RPM, 40 % de sólidos e pH natural com atrição	75
Figura 45	– Teores de Al_2O_3 no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 7 min de condicionamento, 1000 RPM, 40 % de sólidos e pH natural com atrição	76
Figura 46	– Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 7 min de condicionamento, 1000 RPM, 40 % de sólidos e pH natural com atrição	76
Figura 47	– Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 7 min de condicionamento, 1000 RPM, 40 % de sólidos e pH natural com atrição	77
Figura 48	– Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento sem a fração < 0,037 mm com e sem atrição e com a fração mais atrição (1200 RPM)	78
Figura 49	– Teores de Al_2O_3 no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM	

	e 7 min de condicionamento sem a fração < 0,037 mm com e sem atrição e com a fração mais atrição (1200 RPM).	79
Figura 50 –	Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento sem a fração < 0,037 mm com e sem atrição e com a fração mais atrição (1200 RPM).	79
Figura 51 –	Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento sem a fração < 0,037 mm com e sem atrição e com a fração mais atrição (1200 RPM).....	80
Figura 52 –	Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com o coletor succinamato com atrição.....	81
Figura 53 –	Teores de Al ₂ O ₃ no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: pH natural da polpa, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com o coletor succinamato com atrição.....	82
Figura 54 –	Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: pH natural da polpa, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com o coletor succinamato com atrição.....	82
Figura 55 –	Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com o coletor succinamato com atrição.....	83
Figura 56 –	Recuperação massa em e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com atrição com o óleo de soja (300 g/t) e o succinamato (100 g/t).....	83

- Figura 57 – Teores de Al_2O_3 no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com atrição com o óleo de soja (300 g/t) e o succinamato (100 g/t).....84
- Figura 58 – Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com atrição com o óleo de soja (300 g/t) e o succinamato (100 g/t).....84
- Figura 59 – Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com atrição com o óleo de soja (300 g/t) e o succinamato (100 g/t).....85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das especificações do quartzo para diversos usos (Barbosa e Phorphírio, 1993).....	11
Tabela 2 – Especificações químicas de areias de quartzo para vasilhame de vidro (%) (Luz e Lins, 2005).....	12
Tabela 3 – Composição química de quartzitos (Pirsson, 1952).....	14
Tabela 4 – Reservas nacionais de quartzito ano base 2004 (DNPM, 2005).....	16
Tabela 5 – Domínios geológicos favoráveis para quartzitos no estado de Minas Gerais (Deschamps e colaboradores, 2002).....	17
Tabela 6 – Reservas de quartzito nos municípios de Mariana e Ouro Preto ano base 2000 (DNPM, 2001).....	17
Tabela 7 – Quantidade e valor da produção nacional de quartzito ano base 2004 (DNPM, 2005).....	18
Tabela 8 – Distribuições granulométricas das amostras A, B e C (Lima e colaboradores, 2005).....	27
Tabela 9 – Análise química por faixa granulométrica da amostra A (Lima e colaboradores, 2005).....	28
Tabela 10 – Análise química por faixa granulométrica da amostra B (Lima e colaboradores, 2005).....	29
Tabela 11 – Análise química por faixa granulométrica da amostra C (Lima e colaboradores, 2005).....	30
Tabela 12 – Coletores catiônicos (Leja, 1982; Smith e Akhtar, 1976).....	39
Tabela 13 – Fórmulas estruturais dos sais de sódio dos coletores aniônicos (Fuerstenau e colaboradores, 1985).....	40
Tabela 14 – Ácidos graxos saturados (Leja, 1982).....	44
Tabela 15 – Ácidos graxos insaturados (Leja, 1982).....	45
Tabela 16 – Ácidos graxos freqüentemente empregados como coletores de flotação e suas aplicações típicas (Leja, 1982).....	47
Tabela 17 – Estrutura e solubilidade de alguns ácidos graxos (Fuerstenau e colaboradores, 1985).....	49

Tabela 18 – Ensaio de Flotação em bancada de amostras de areias de quartzito para polpa com 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.....	55
Tabela 19 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra B, peneiramento a seco durante 10 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja.....	92
Tabela 20 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra B, peneiramento a seco durante 15 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja.....	93
Tabela 21 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 1.....	94
Tabela 22 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 2.....	95
Tabela 23 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Média.....	96
Tabela 24 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa,	

tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 1.....	97
Tabela 25 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 2.....	98
Tabela 26 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Média.....	99
Tabela 27 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra C, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja.....	100
Tabela 28 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra da A nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 1.....	102
Tabela 29 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra A nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 2.....	102
Tabela 30 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra A nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Média.....	103
Tabela 31 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH	

	natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 1.....	104
Tabela 32 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 2.....	104
Tabela 33 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Média.....	105
Tabela 34 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra da C nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min.....	106
Tabela 35 –	Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 1.....	107
Tabela 36 –	Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 2.....	108
Tabela 37 –	Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Média.....	109
Tabela 38 –	Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa,	

	tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 1.....	110
Tabela 39	– Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 2.....	111
Tabela 40	– Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Média.....	112
Tabela 41	– Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra C, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja.....	113
Tabela 42	– Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 1.....	114
Tabela 43	– Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 2.....	114
Tabela 44	– Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Média.....	115
Tabela 45	– Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH	

	natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1400 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 1.....	116
Tabela 46 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1400 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 2.....	116
Tabela 47 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1400 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Média.....	117
Tabela 48 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 3 min - Teste 1.....	118
Tabela 49 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 3 min - Teste 2.....	118
Tabela 50 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 3 min - Média.....	119
Tabela 51 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.....	120
Tabela 52 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.....	120
Tabela 53 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH	

	natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.....	121
Tabela 54 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.....	122
Tabela 55 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.....	123
Tabela 56 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.....	124
Tabela 57 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 50 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.....	125
Tabela 58 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 50 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.....	126

Tabela 59 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 50 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.....	127
Tabela 60 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 150 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.....	128
Tabela 61 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 150 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.....	128
Tabela 62 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 150 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.....	129
Tabela 63 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 500 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min.....	130
Tabela 64 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da	

	polpa, 40 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.....	131
Tabela 65 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.....	131
Tabela 66 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.....	132
Tabela 67 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 500 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.....	133
Tabela 68 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 500 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.....	134
Tabela 69 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 500 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula	

1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.....	135
Tabela 70 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra do B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando-se a fração menor que 0,037 mm - Teste 1.....	136
Tabela 71 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando-se a fração menor que 0,037mm - Teste 2.....	136
Tabela 72 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando-se a fração menor que 0,037 mm - Média.....	137
Tabela 73 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando- se a fração menor que 0,037mm - Teste 1.....	138
Tabela 74 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando- se a fração menor que 0,037mm - Teste 2.....	138
Tabela 75 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de	

	sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando- se a fração menor que 0,037mm - Média.....	139
Tabela 76 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.....	140
Tabela 77 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.....	140
Tabela 78 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.....	141
Tabela 79 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 50 g/t de Aero Promoter [®] , pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.....	142
Tabela 80 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 50 g/t de Aero Promoter [®] , pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula	

1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.....	142
Tabela 81 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 50 g/t de Aero Promoter [®] , pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.....	143
Tabela 82 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 75 g/t de Aero Promoter [®] , pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.....	144
Tabela 83 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 75 g/t de Aero Promoter [®] , pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.....	144
Tabela 84 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 75 g/t de Aero Promoter [®] , pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.....	145
Tabela 85 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 100 g/t de Aero Promoter [®] , pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com	

	rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.....	146
Tabela 86 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 100 g/t de Aero Promoter [®] , pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.....	146
Tabela 87 –	Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 100 g/t de Aero Promoter [®] , pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.....	147

1 – INTRODUÇÃO

Estima-se que a produção de quartzitos foliados em Minas Gerais atinja cerca de 250 mil toneladas/ano (Deschamps e colaboradores, 2002).

Nas cercanias de Ouro Preto há ocorrências de quartzito economicamente importantes para a comunidade local, o qual é explorado principalmente para a produção de rochas ornamentais, na forma de placas de pisos e revestimentos.

A lavra de quartzito normalmente é efetuada de modo muito rudimentar e em condições precárias, o que gera uma grande quantidade de rejeitos, como é o caso de São Tomé das Letras, em que 93 % da rocha desmontada constituem resíduos (Deschamps e colaboradores, 2002), os quais são deixados nas encostas dos morros.

A produção de rejeitos na lavra de rochas ornamentais no Brasil é considerável. A produção nacional do ano de 2002 foi de cerca de 3.059 Mil toneladas, ou 1.333 metros cúbicos de rocha. Considerando que a recuperação na lavra é de cerca de 30 %, paralelamente, os rejeitos gerados podem alcançar mais que o dobro da produção nacional, sendo proporcionais à qualidade e dimensão dos impactos ambientais gerados durante a lavra de rochas ornamentais, ou seja, algo em torno de 2.644.444 m³ (ou 7.140 Mil toneladas) (Matta, 2003).

O desenvolvimento sustentável é um compromisso que já está sendo exigido dos setores industriais, sendo certamente necessário para o empreendimento da extração do quartzito. E, comumente, os rejeitos têm um grande volume e baixo valor, logo, o aproveitamento destes resíduos, quer pela purificação dos mesmos, quando possível, para aplicações mais nobres ou o desenvolvimento de outras aplicações, é de fundamental importância para a minimização do impacto ambiental e favorecimento do crescimento da renda *per capita* na zona de influência.

Dentro deste contexto, citam-se os trabalhos de reaproveitamento dos resíduos de pedreira de quartzito de São Tomé das Letras, efetuado por Deschamps e colaboradores (2002) e de Ouro Preto, efetuado por Lima e Colaboradores (2005).

Segundo Deschamps e colaboradores (2002), em São Tomé das Letras, o projeto de aproveitamento racional do quartzito foi subdividido em quatro áreas de atuação: estudo de alternativas de lavra, estudo de alternativas de disposição de estéril e controle de drenagens, estudo de vegetação de pilhas de resíduos e estudo das alternativas de aproveitamento de resíduos.

As medidas ora em implantação (tais como de disposição controlada de estéril, construção de diques de contenção, limitação da localização das lavras e depósitos com relação aos cursos d'água, reabilitação dos depósitos e implantação de sistemas de tratamento de esgotos e óleos e graxas) são ações que promovem diretamente a transição de uma lavra antes artesanal, para uma mineração propriamente dita. Mas a melhor medida de mitigação é o aumento de recuperação na lavra e menor geração relativa de resíduos e, principalmente, a valorização dos resíduos depositados e a depositar.

Os possíveis aproveitamentos dos rejeitos são agrupados a seguir:

- Subproduto 1 – cavaco, degrau, pavê, filete, rodapé e borda de piscina;
- Subproduto 2 – brita e areia para construção civil e estradas;
- Subproduto 3 – areias industriais.

Hoje, vários produtores já comercializam os materiais do subproduto 1, seja com algum beneficiamento ou “in natura”. Os materiais do subproduto 2, oriundos da separação e britagem do estéril, são mais factíveis de aproveitamento em curto prazo. Há uma planta piloto de beneficiamento onde se realizam testes de adequação granulométrica.

Sabe-se que o quartzo é o principal mineral presente nos quartzitos, constituindo mais de 80 % da rocha. O mesmo é empregado nas indústrias automobilística, bélica, eletro-eletrônica, de equipamentos médicos, metalúrgica, ótica, química, relojoaria,

telecomunicações, etc. A aplicabilidade do mesmo para cada finalidade obedece à especificações rígidas tais como o teor mínimo de SiO_2 e teores máximos de impurezas (Winkler, 1977).

Pinheiro (2003) realizou estudos de aproveitamento de resíduos da extração de pedra mineira, denominação comum para os mica quartzitos, utilizados para revestimentos de pisos. Esses estudos confirmaram a viabilidade da utilização desses resíduos como agregado no concreto.

Lima e colaboradores (2005) efetuaram a caracterização mineralógica (Microscopia Ótica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada com Sistema de Espectroscopia de Raios X por Energia Dispersiva (EDS)), granulométrica e química de resíduos de pedreiras de quartzito de Ouro Preto. Os minerais identificados foram o quartzo (85 %), moscovita e cianita (10 %) e sericita (5 %). Os minerais titânio, rutilo, zircão, hematita, goethita, calcopirita e prata constituem cerca de 2 % da composição mineralógica desses quartzitos. Através destes estudos, observaram a possibilidade de aplicação do quartzito da região de Ouro Preto como areia para a indústria de fundição e também como areia fina e média, apenas realizando um corte granulométrico.

Posteriormente, Lima e colaboradores (2006) realizaram estudos preliminares de purificação das areias para a remoção das impurezas, usando separador magnético de alta intensidade e flotação. A purificação das areias usando flotação das impurezas mostrou-se mais eficaz do que a separação magnética na obtenção de teores para níveis aceitáveis de areia para fabricação de vidro.

2 – OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi purificar as areias de quartzito, provenientes dos depósitos de rejeitos de pedreiras de quartzito da região de Ouro Preto para aplicações mais nobres.

Para alcançar o objetivo proposto foram realizados ensaios de flotação em bancada, visando a obter as melhores condições (rotação da célula de flotação, tempo de condicionamento do coletor, porcentagem de sólidos, realização ou não da etapa de atrição, descarte ou não da fração menor que 0,037 mm, dosagem e tipo de coletor).

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – Quartzo

Pelo fato do quartzo ser o principal mineral constituinte de quartzitos, neste tópico são apresentadas as principais características deste mineral, seus usos, os principais depósitos do Brasil e suas aplicações típicas. Também são apresentadas as características dos quartzitos, suas propriedades, reservas, produção brasileira e fundamentos do método de concentração por flotação.

3.1.1 – Generalidades

O oxigênio e o silício são os elementos mais abundantes da crosta terrestre. Combinados, eles constituem minerais silicáticos (feldspatos e piroxênios, entre outros) e os minerais de sílica pura ou quase pura (SiO_2). O composto SiO_2 é o de maior presença na litosfera, correspondendo a 59,85 % do total. O quartzo é a forma de sílica mais abundante, constituindo aproximadamente 12 % da crosta terrestre (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997; Freitas, 1973).

A sílica submetida a diferentes graus de temperatura e pressão dá origem a distintas substâncias polimórficas. O quartzo simplesmente, ou alfa-quartzo, é a forma mais estável da sílica em temperatura abaixo de 573 °C, cristalizada no sistema trigonal. Da sua constituição participam o oxigênio com 53,3 % e o silício com 46,7 % (Arcoverde, 1988; Freitas, 1973).

As principais variedades cristalinas são o quartzo hialino ou cristal de rocha, o quartzo leitoso, o róseo, o esfumado, o negro (mourion), o roxo (ametista), o amarelo (citrino) e o verde (prásio) (Luz e Braz, 2000; Arcoverde e Schobbenhaus, 1997; Arcoverde, 1988).

O quartzo possui dureza 7 na escala de Mohs, alta resistividade elétrica (10^{15} ohm-cm), índice de refração 1,54 a 1,55, ponto de fusão entre 1.710 e 1756 °C e possui baixo coeficiente de dilatação. A densidade varia de 2,60 a 2,66 (2,20 em estado líquido). O único ácido capaz de dissolvê-lo é o ácido fluorídrico. O quartzo apresenta a particularidade de, ao esfriar-se, após fusão, não voltar à forma primitiva, o que o torna de grande utilidade na indústria (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997; Freitas, 1973).

Como cristal de rocha hialino, sua forma nobre de cristalização, o quartzo apresenta a propriedade ótica de girar o plano de polarização da luz, além de ser transparente às porções do espectro ultravioleta ao infravermelho. É dotado também da propriedade piezométrica, que consiste no desenvolvimento de cargas elétricas na superfície do cristal quando são aplicados esforços mecânicos ou, inversamente, há deformação mecânica quando o quartzo é submetido a um campo elétrico (Luz e Braz, 2000; Freitas, 1973).

O quartzo ocorre como importante constituinte das rochas ígneas, que possuem um excesso de sílica, tais como o granito, o riolito e o pegmatito. É extremamente resistente tanto ao ataque químico como ao físico e, assim, a desintegração das rochas ígneas que o contêm produz grãos de quartzo que se podem acumular e formar os arenitos, rochas sedimentares. Ocorre também nas rochas metamórficas, como os gnaisses e xistos, constituindo o principal mineral dos quartzitos. É o mineral mais comum de veio e de ganga. Nas rochas o quartzo está associado principalmente com o feldspato e a muscovita e nos filões com quase toda a série de minerais de veios. Ocorre em grandes quantidades, como areia, nos leitos dos rios e sobre as praias, e como um constituinte dos solos. As principais reservas mundiais de quartzo encontram-se no Brasil e, em volumes menores, em Madagascar (Diniz Filho, 2004; Dana, 1984; Freitas, 1973).

3.1.2 – Quartzo no Brasil

Embora o quartzo represente um grande volume da crosta terrestre e esteja presente em quase toda sua extensão, sua exploração torna-se viável somente em rochas compostas quase que exclusivamente desse mineral. A lavra geralmente é executada em rochas que

sejam constituídas inteiramente de quartzo, ou onde blocos deste mineral são obtidos da lavra de outro minério qualquer (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997).

O quartzo do tipo alfa, encontrado em veios de quartzo, é a única fonte da maior parte do cristal de quartzo comercial e de lascas. Depósitos desse tipo são minerados, por ordem de importância, no Brasil, Estados Unidos, Madagascar, ex-URSS, África do Sul, Namíbia e Angola. Os maiores depósitos comerciais de cristais de quartzo de grau eletrônico ocorrem no Brasil (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997).

Os recursos e reservas de quartzo do Brasil estão associados a dois tipos de jazimentos. As principais fontes naturais de quartzo são os depósitos primários: veios hidrotermais, os pegmatitos, os quartzitos, arenitos, areias quartzosas, *cherts*, granitóides e gnaisses graníticos. Outra importante fonte são os depósitos secundários de seixos de quartzo, transportados da fonte primária para aluviões nas margens dos rios (Diniz Filho, 2004; Arcoverde e Schobbenhaus, 1997).

Como cristal hialino grau ótico ou eletrônico, o quartzo é encontrado apenas em depósitos de pegmatitos e veios com condições geológicas raras e peculiares e em reduzida proporção em relação ao todo da jazida. Depósitos com grandes cristais comercializáveis ocorrem quase exclusivamente no Brasil (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997).

Os veios ou filões hidrotermais fornecem normalmente o cristal hialino (cristal de quartzo, cristal de rocha ou, simplesmente, cristal) e fragmentos ou lascas de quartzo ou cristal. Essas rochas são quase que exclusivamente formadas desse mineral, daí também serem conhecidas como “veios de quartzo”. Entretanto, a grande massa desses veios é formada de quartzo leitoso, material de qualidade menor que o quartzo hialino. Os pegmatitos ou veios pegmatíticos, por sua vez, contêm comumente o quartzo leitoso, juntamente com feldspatos, micas e outros minerais (alguns constituindo gemas). Em cavidades existentes dentro dos pegmatitos podem ser encontrados cristais de quartzo hialino ou semi-hialino de alta pureza (cristal de rocha) (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997).

3.1.3 – Aplicações do quartzo

No atual estágio da industrialização mundial, a participação do quartzo é de fundamental importância. Ele constitui matéria-prima básica para as indústrias que vêm consolidando um novo padrão de produção e consumo, onde se destacam, principalmente, a microeletrônica, ótica e telecomunicações (Lemos, 1988).

Devido às suas propriedades dielétricas e piezelétricas, seu baixo coeficiente de dilatação térmica, sua transparência às porções do espectro ultravioleta ao infravermelho, sua alta pureza química, resistência à radiação e à corrosão, sua capacidade de polarização da luz, de emissão e recepção de ultra-sons, além de ser fonte de silício, o quartzo tem se tornado insumo básico de indústrias importantes no atual estágio tecnológico (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997).

Quanto à sua utilização, o mesmo pode ser distinguido como quartzo para as indústrias de alta tecnologia (cristal grau ótico-piezelétrico e lascas de alta pureza), quartzo industrial comum (leitoso com padrões de pureza menos rigorosos) e quartzo ornamental (variedades coloridas, drusas e pontas de cristais hialinos). Seus principais empregos abrangem as indústrias automobilística, bélica, eletro-eletrônica, equipamentos médicos, metalúrgica, ótica, química, relojoaria, telecomunicações, etc. (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997; Freitas, 1973).

Cristais e lascas de quartzo natural constituem matéria-prima básica para a confecção de dispositivos óticos, piezelétricos e de sílica fundida, indispensáveis às indústrias eletrônica, ótica, telecomunicações e informática (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997).

Em decorrência das mudanças nos sistemas de comunicação telefônica, do sistema analógico para digital, o mercado de fibra óptica encontra-se em plena expansão (Luz e Braz, 2000).

O cristal natural ainda é utilizado na confecção de “sementes mães” do processo de crescimento do quartzo cultivado. É utilizado também em sistemas de *lasers*

polarizadores, transdutores de pressão de poços profundos e, em reduzida proporção, em alguns cristais osciladores. As lascas de quartzo de alta pureza são diretamente usadas na produção de quartzo cultivado, quartzo fundido, cerâmica e vidros especiais e *fillers* para microcircuitos de alta integração (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997).

A aplicação do quartzo industrial comum concentra-se na produção de silício grau metalúrgico e de ferroligas à base de silício, sendo consumido também nas indústrias de fundição, cerâmica, vidros, tintas e vernizes, isolantes e abrasivos, que exigem níveis de impurezas menos rigorosos. No Brasil, o quartzo consumido na fabricação de silício apresenta teores de SiO₂ maiores que 99 %. Em outras partes do mundo, são também utilizados de iguais teores. Para as ferroligas são aceitos teores de 98 % de SiO₂ (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997).

O quartzo é adicionado às tintas na indústria de fundição com a função de diminuir a aderência entre o metal e o molde. Nas indústrias de vidro e cerâmica, o quartzo com baixo teor de ferro, é empregado na fabricação de vidros em geral, vidros de laboratórios e na composição da massa de cerâmicas térmicas e elétricas, ladrilhos, fibras cerâmicas e louças sanitárias (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997).

Na indústria de abrasivos, o quartzo é matéria-prima para a fabricação de carbetos de silício e entra diretamente na composição de liga vitrificada. Na indústria de refratários, o quartzo é consumido na produção de tijolos, mantas e placas usadas em fornos. Na indústria de tintas, é utilizado na produção de tintas metálicas, tintas látex, corantes e impermeabilizantes.

Quanto às substituições, nos setores de consumo onde as exigências de pureza não são tão rigorosas, o quartzo é eventualmente substituído por areias e quartzito. Na indústria de quartzo fundido, as lascas de quartzo de veios podem ser substituídas por outras fontes de sílica beneficiada. A sílica sintética, obtida a partir do tetracloreto de silício, poderá substituir lascas naturais na fabricação de tubos para fibras óticas (Arcoverde e Schobbenhaus, 1997).

A aplicabilidade do quartzo para uma dada finalidade obedece a especificações rígidas tais como o teor mínimo de SiO₂ e teores máximos de impurezas. Na Tabela 1 são apresentadas as especificações para diversas aplicações de quartzo.

A sílica é o principal óxido utilizado na formulação do vidro. Para cada tipo de vidro, são estabelecidas diferentes especificações requeridas para as areias de quartzo, sendo algumas muito observadas e que impõem limites de impurezas para tais areias. O teor de óxido de ferro, por exemplo, é bastante crítico na fabricação de um vidro branco ou cristal (Luz e Lins, 2005).

Segundo Zdunczyk e Linkus (1995 apud Luz e Lins, 2005), o ferro, assim como outras impurezas, está presente na maioria das matérias primas usadas na formulação do vidro e requer um controle, de forma a se obter uma cor consistente no produto final. Além do ferro, impurezas como os minerais pesados ilmenita, cianita, leucoxênio e zirconita trazem problemas na formulação do vidro, resultando em partículas na massa vítrea, pelo fato de não se fundirem ou se fundirem parcialmente. Na Tabela 2 estão apresentadas as especificações de areias de quartzo para fabricação de vidro.

3.2 – Quartzitos

Quartzitos são rochas constituídas por mais de 80 % de quartzo. Em geral, são provenientes do metamorfismo de arenitos quartzosos, grauvacas ou de sedimentos autógenos com a composição de sílex (Winkler, 1977; Pirsson, 1952).

A recristalização dessas rochas originárias, imposta pelo metamorfismo, conduz à formação de rochas maciças ou foliadas, nas quais o quartzo se apresenta na forma de grânulos de aparência poligonal, serrilhados, unidos uns aos outros firmemente.

Tabela 1 – Resumo das especificações do quartzo para diversos usos (Barbosa e Phorphório, 1993).

USO / FINALIDADE	TEOR (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Outros	Granul. (mm)
Areia para vidro							
• Ótico	99,5	Var.	0,008	baixo	baixo	Cr<6ppm	0-0,5
• Colorido	99,5	0,1-	0,013	-	-	Co<2ppm	
• Recipientes planos	98,3	0,5 -	-	-	-	TiO ₂ <0,03ppm	
Areia para fundição	88-99						0,840- 0,074
Sílica pulverizada	97-99,9	0,5	0,2	baixo	baixo	-	-0,037
Carbeto de silício	99,5	0,06- 0,25	0,1	ausente	ausente	P<1ppm	+0,149
Silício metálico	98	0,4	0,2	0,2	0,2	P<0,1ppm	25,4- 50,8
Ferrosilício	96	0,4	0,2	baixo	baixo	P<0,1%	25,4- 50,8
Tijolo refratário	96-98	0,1	baixo	baixo	baixo	-	-2,38
Silicato de sódio	99	0,25	0,03	0,5	0,5	-	0,840- 0,149
Fluxo metálico	90	1,5	1,5	0,2	0,2	-	< 50,8
Oscilador de frequência	99,99	0,004	0,001	0,06	-	-	-
Quartzo cultivado	99,5	0,5	0,15	0,03	0,05		0 -100
Tintas	99,8		0,2	-	-	-	-0,074
Eletrodo	98	-	-	-		-	Na
Areia para construção	80	-	-	-	-	-	< 2

Tabela 2 – Especificações químicas de areias de quartzo para vasilhame de vidro (%)
(Luz e Lins, 2005).

Compostos	E.U.A.			França	Reino Unido
	New Jersey	Oklahoma	Califórnia	Fontainebleau	Loch Aline
SiO ₂	99,66	99,73	92,76	99,65	99,73
Fe ₂ O ₃	0,025	0,02	0,127	0,02	0,013
Al ₂ O ₃	0,143	0,09	3,779	0,06	0,057
TiO ₂	0,027	0,012	0,034	Nd	Nd
CaO	0,007	<0,01	0,06	Nd	Nd
MgO	0,004	<0,01	0,017	Nd	Nd
K ₂ O	-	-	2,734	-	-
Na ₂ O	-	-	0,114	-	-
P.F.	0,13	0,14	0,373	0,13	0,04

Nd: não disponível

Dependendo da importância e da seqüência dos processos de reajustamento, os grânulos podem exibir os efeitos de uma trituração ou de uma milonitização parciais. Os bordos entrelaçados dos grãos de quartzo conferem grande resistência à rocha. Os quartzitos metamórficos devem ser distinguidos dos quartzitos metamorfoseados, que são formados por diagênese (Winkler, 1977; Pirsson, 1952).

Há quartzitos constituídos quase que exclusivamente de grãos de quartzo, mas a maioria contém outros minerais em maior ou menor abundância. Estes minerais acessórios ou auxiliares podem ser resíduos de grãos, como feldspato, misturado com grãos de quartzo, ou novos minerais formados pelo metamorfismo do cimento de argila ou calcário, que preenchem os interstícios entre os grãos do arenito de origem. Tais minerais recentemente formados são muscovita, biotita, cianita, e epidoto. Hidróxidos de ferro são convertidos por metamorfismo em magnetita ou hematita, e substâncias carbonáceas são alteradas em grafita. A presença desses minerais fornece, muitas vezes, elementos que permitem informar sobre o grau e o tipo de metamorfismo responsável pelos quartzitos que os contêm. Assim, as micas, o talco, a actinolita, a dolomita, a

calcita, a pirofilita, o cloritóide, o epidoto, a albita, a estilpinomelana e a espessartita sugerem um grau de metamorfismo baixo a moderado; a presença da cianita, da estauroлита, da almandina, da andaluzita e de plagioclásios sugere um processo metamórfico de grau médio; finalmente, a presença de sillimanita, de ortoclásio, de hiperstênio e de coríndon sugere que as condições de metamorfismo foram elevadas (Pirsson, 1952).

A superfície fraturada desta rocha é áspera, estilhaçada ou conchoidal, o brilho é vítreo como o quartzo, e os grãos são imperceptíveis ou próximos a isso. O quartzito é geralmente branco, cinza claro ou amarelado para marrom, mas essas cores são modificadas pela inclusão de materiais que dão diferentes colorações à rocha. Sendo assim, não são raros os quartzitos de outras cores, provocadas pela presença, além do quartzo, de grafita, de óxidos de ferro, de argilas ilita, ou da clorita, que tendem a transmitir aos quartzitos colorações em tons acinzentados, vermelhos, prateados e esverdeados, respectivamente (Pirsson, 1952).

Os minerais metamorfisados podem ser de tamanhos microscópicos a milimétricos e podem conferir à rocha uma coloração distinta: verde, azul, roxa ou preta. Os mais comuns são moscovita e biotita que, à medida que aumentam em quantidade, dão à rocha caráter mais e mais xistoso, através do qual ela atinge uma capacidade de fraturar ao longo dos planos de clivagem da mica. Abundância de mica produz rochas que são transições para mica-xistos. Quartzito, mica-xisto e gnaiss formam então uma série contínua, cuja linha de divisão é puramente arbitrária (Pirsson, 1952).

A composição química do quartzito puro é aproximadamente apenas sílica, mas se mais ou menos argilas ou materiais calcários estiverem misturados com a areia, pequenas quantidades de alumina, ferro, cal (óxido de cálcio) e álcalis aparecem. Este contraste é ilustrado nas duas análises mostradas na Tabela 3 (Pirsson, 1952).

As variedades de quartzito são principalmente aquelas diferenciadas pela presença dos minerais incluídos. Logo, pode-se ter quartzito epidótico, quartzito grafítico, quartzito sillimanítico e muitos outros (Pirsson, 1952).

Tabela 3 – Composição química de quartzitos (Pirsson, 1952).

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	Total
I*	97,71	1,39	1,25		0,13	0,18				100,66
II**	74,22	10,61	7,45	0,85	1,48	0,56	2,12	1,08	1,79	100,16

* I. Quartzito puro, estação Chickies, Pensilvânia.

** II. Quartzito impuro, ponto Pigeon, Minesota, contendo pequenas quantidades de feldspato, mica, clorita e magnetita.

Em muitas sequências de rochas metamórficas de extensões apreciáveis, como, por exemplo, os Supergrupos Minas e Grupo São Roque, em Minas Gerais e São Paulo, ocorrem juntos filitos, xistos, quartzitos, itabiritos, mármore e dolomitos. Algumas vezes, a passagem de uma rocha para outra se faz por meio de uma rocha de natureza intermediária como, por exemplo, o quartzo xisto, que tem as características de um quartzito impuro ou de um xisto.

Além da utilização do quartzito como material de revestimento, existem várias minerações que utilizam depósitos de quartzito como fonte para a produção de areia industrial.

Na aplicação do quartzito como areia industrial, o beneficiamento do material arenoso visa à retirada de impurezas e de frações sem utilização econômica e a classificação das areias em várias faixas granulométricas, adequadas às suas diversas aplicações industriais. Esse beneficiamento representa, em síntese, um processo de seleção granulométrica e mineralógica. O principal material a ser separado corresponde à fração siltico-argilosa, que pode representar até 20 % do minério, indesejável por representar uma fonte de contaminação de alumínio, ferro e álcalis, na fabricação de vidros especiais e de produtos químicos, ou material indesejável na produção de moldes de fundição (Ferreira e Daitx, 1997).

Segundo Ferreira e Daitx (2003), a complexidade do processamento dessas areias é variável, dependendo das especificações de uso requeridas. Em geral, consiste de lavagem e classificação, atrição e peneiramento.

3.2.1 – Reservas e produção nacional de quartzito

O quartzito normalmente é utilizado para fins industriais e como rocha ornamental. Na Tabela 4 estão apresentadas as reservas brasileiras de quartzito. Uma análise desses dados mostra que as maiores reservas de quartzito industrial encontram-se localizadas em São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e Minas Gerais. O estado de Minas Gerais possui também as maiores reservas de quartzito ornamental.

Na Tabela 5 estão apresentados os domínios geológicos favoráveis para quartzito do estado de Minas Gerais.

Para Minas Gerais, onde são muito significativas as atividades extrativas, é oportuna a fixação de bases metodológicas adequadas para pesquisa geológica e lavra de maciços rochosos. Essas bases permitiriam, além de melhorar a seleção de frentes, ampliar a recuperação na lavra, reduzindo-se os custos de produção e os impactos ambientais e também aumentar a competitividade do estado nos mercados interno e externo (Deschamps e colaboradores, 2002).

A Formação São Tomé das Letras tem como principal tipo litológico um quartzito micáceo formado, em sua essência, por quartzo, mica esverdeada, turmalina preta, magnetita, ilmeno-magnetita e hematita (Ribeiro e Heilbron, 1982 apud Deschamps e colaboradores, 2002). Alguns bancos de quartzito mais maciço podem ocorrer subordinadamente quartzito com mica esverdeada.

As reservas de quartzito da região de Mariana e Ouro Preto são listadas na Tabela 6, onde pode-se observar não apenas a ocorrência de reservas de quartzito ornamental, mas também importantes reservas de quartzito industrial.

Tabela 4 – Reservas nacionais de quartzito ano base 2004 (DNPM, 2005).

Unidade da Federação	Tipo	Reserva medida*	Reserva indicada*	Reserva inferida*	Reserva lavrável*
Bahia	industrial	260.684	213.491	-	260.684
	ornamental	10.824.466	201.593.888	182.662.000	18.637.932
Distrito Federal	industrial	604.612	276.000	243.800	604.612
Espírito Santo	industrial	6.969.205	-	-	6.969.205
	ornamental	107.170.555	-	-	107.170.555
Goiás	industrial	1.152.431	15.000	192.980	501.939
	ornamental	29.528.725	678.327	488.100	29.469.595
Minas Gerais	industrial	14.572.063	376.648.653	66.568.667	173.126.404
	ornamental	297.568.856	508.725.586	377.135.997	661.494.966
Pará	industrial	1.576.334	213.829	812.000	1.790.163
Paraíba	ornamental	3.000.000	-	-	900.000
Paraná	industrial	122.363.239	52.441.176	471.533	122.516.039
	ornamental	7.802.448	4.407.798	-	7.802.448
Piauí	ornamental	9.129.962	4.005.225	4.552.800	7.783.871
Rio de Janeiro	industrial	40.080.000	14.640.000	-	40.080.000
Rio Grande do Norte	ornamental	12.520.000	44.370.000	-	45.512.000
Santa Catarina	industrial	3.318.300	4.842.450	172.125	3.318.300
São Paulo	industrial	564.115.541	509.125.822	363.047.653	676.224.332
	ornamental	9.652.182	13.653.130	2.291.470	3.833.144

* As quantidades de quartzito industrial são expressas em t e de quartzito ornamental em m³

A produção nacional de quartzito em 2004 está apresentada na Tabela 7, bem como as divisas geradas pela extração desta rocha. Observa-se que o estado de Minas Gerais foi um dos maiores produtores de quartzito bruto e beneficiado.

Tabela 5 – Domínios geológicos favoráveis para quartzitos no estado de Minas Gerais (Deschamps e colaboradores, 2002).

Procedência	Unidade Geológica Associada	Enquadramento Geocronológico
São Tomé das Letras	Sq. quartzíticas / Gr. Andrealândia	Meso Proteozóico (~ 1400-1700 m. a.)
Alpinópolis	Gr. Canastra	
Diamantina	Gr. Diamantina / Sg. Espinhaço	
Ouro Preto / Mariana	Gr. Caraça / Sg. Minas	Páleo Proteozóico (~ 2400-2600 m. a.)

Abreviaturas: Gr. (Grupo); Sg. (Subgrupo); Sq. (Seqüência)

Tabela 6 – Reservas de quartzito nos municípios de Mariana e Ouro Preto ano base 2000 (DNPM, 2001).

Município	Tipo	Reserva medida (t)	Reserva indicada (t)	Reserva inferida (t)
Mariana	Quartzito ornamental	1.676.373	1.798.026	1.596.532
	Quartzito industrial	56.747.450	1.031.550	-
Ouro Preto	Quartzito industrial	1.108.000	241.000	191.000

Tabela 7 – Quantidade e valor da produção nacional de quartzito ano base 2004 (DNPM, 2005).

Unidade da Fed.	Tipo	Bruta		Beneficiada		Valor Total (R\$)
		Quant.	Valor (R\$)	Quant.	Valor (R\$)	
Bahia	ind.	131 t	26730 ^{.00}	-	-	26730 ^{.00}
	orn.	785 m ³	5.476.628 ^{.00*}	-	-	5.476.628 ^{.00}
Ceará	orn.	223 m ³	1.154 ^{.00}	-	-	1.154 ^{.00}
Goiás	ind.	3.992 t	77.245 ^{.00}	-	-	77.245 ^{.00}
	orn.	26.617 m ³	86.246 ^{.00}	-	-	86.246 ^{.00}
Minas Gerais	ind.	26.377 t	2.169.190 ^{.00}	181.836 t	3.548.299 ^{.00}	5.717.488 ^{.00}
	orn.	79.468 m ³	18.028.350 ^{.00}	6.500 m ³	35.967 ^{.00}	18.064.317 ^{.00}
Paraná	ind.	12.270 t	385.556 ^{.00}	2.357 t	155.089 ^{.00}	540.645,00
Piauí	orn.	7.871 m ³	701.393 ^{.00}	167.377 m ³	5.854.233 ^{.00}	6.555.625 ^{.00}
Santa Catarina	orn.	-	-	13.438 m ³	341.011 ^{.00}	341.011 ^{.00}
São Paulo	ind.	184.380 t	832.044 ^{.00}	11.407 t	740.473 ^{.00}	1.572.517 ^{.00}

* Quantidade e valor da produção vendida, consumida ou transferida para industrialização

3.2.2 – Depósitos de quartzito da região de Ouro Preto e Mariana / MG

Os jazimentos de quartzito ornamental da região de Ouro Preto e Mariana localizam-se na região sudeste do Quadrilátero Ferrífero. Geologicamente, encontram-se situados no domínio do Anticlinal de Mariana, o qual apresenta-se associado a ocorrências econômicas de ouro tradicionalmente conhecidas (Nalini Júnior, 1993).

Estratigraficamente, pertencem à Formação Moeda, na base do Grupo Caraça (o qual é a base do Supergrupo Minas) e é constituído das formações Moeda e Batatal. O quartzito Moeda acha-se assentado sobre o Grupo Maquiné e sotoposto ao filito Batatal.

O contato do Grupo Maquiné com a Formação Moeda é fortemente tectonizado, sendo comum a ocorrência de veios de quartzo e filonitos (Nalini Júnior, 1993).

Os minerais característicos do grupo Caraça são o quartzo e a sericita; o feldspato é muito raro e os minerais detríticos pesados são muito pobres (Lima, 1997).

A Formação Moeda é muito xistosa, passando de quartzito a quartzo-xisto e filito. É composta por quartzitos sericíticos de granulometria fina a grossa e filitos arenosos. Ocorrem duas fácies distintas: conglomerados e quartzitos grosseiros de origem fluvial e quartzitos finos e filitos de origem litorânea ou marinha (Nalini Júnior, 1993; Nalini Júnior, 1993 apud Vilaça, 1981).

A Formação Moeda é constituída de uma seqüência de quartzitos, sericita-quartzitos e cianita-sericita quartzitos branco-acinzentados e amarelados de granulometria fina a média e, subordinadamente, de quartzo xistos, quartzitos ferruginosos e níveis microconglomeráticos (Nalini Júnior, 1993).

O quartzito micáceo está presente na região. É de espessura variável e reduzida e se apresenta como cunhas, entre o mica-xisto e o itabirito (Maia, 1950).

Petrograficamente, os quartzitos da Serra de Ouro Preto possuem textura variando de granuloblástica a granulepdoblástica, dependendo do teor de sericita. O quartzo predomina na rocha, representando de 80 a 90 % do seu teor. Os grãos de quartzo, em geral, apresentam-se estirados e recristalizados, com uma menor parcela porfiroblástica, sugerindo textura protomilonítica ou milonítica. O segundo mineral mais abundante é a sericita (5 a 15 %), seguido da cianita e dos minerais acessórios turmalina, rutilo, zircão e opacos (Nalini Júnior, 1993).

3.3 – Caracterização Tecnológica dos Resíduos de Quartzito de Ouro Preto (Lima e colaboradores, 2005).

Nas figuras 1 a 3, retiradas de Lima e colaboradores (2005), podemos ver fotografias de uma pedreira localizada no morro do Taquaral (localizado a cerca de 3 Km de Ouro Preto, MG), onde foram coletas as amostras de areia estudadas.



Figura 1 – Vista geral de uma das unidades de exploração do quartzito da região de Ouro Preto, mostrando a precariedade das vias de acesso, a aleatoriedade do desenvolvimento das frentes de lavra e a deposição descontrolada de rejeitos e estéreis (Lima e colaboradores, 2005).



Figura 2 – Detalhes dos resíduos finos (areias) depositadas nas encostas, soterrando as matas ciliares e assoreando os cursos d'água (Lima e colaboradores, 2005).



Figura 3 – Vista das encostas mostrando a extensão do impacto ambiental decorrente do tipo de exploração e beneficiamento (Lima e colaboradores, 2005).

3.3.1 – Mineralogia

A determinação da mineralogia das três amostras de quartzito (amostra A – bota fora, amostra B – frente de lavra e amostra C – desmonte hidráulico) foi efetuada por microscopia ótica de luz transmitida para a identificação dos minerais transparentes (quartzo, sericita e cianita). Os minerais opacos (rutilo, hematita, etc.) foram identificados por luz refletida e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada com Sistema de Espectroscopia de Raios X por Energia Dispersiva (EDS). As micrografias identificando os principais minerais encontrados são mostradas nas Figuras 4 a 9.

A rocha apresenta uma xistosidade marcada pelos grãos de sericita e cianita. Os grãos de quartzo apresentam estrutura em mosaico (Figura 4).

O quartzo incolor ocorre na granulometria de 0,5 a 1 mm, sendo o mineral mais abundante, representando cerca de 85 % da rocha.

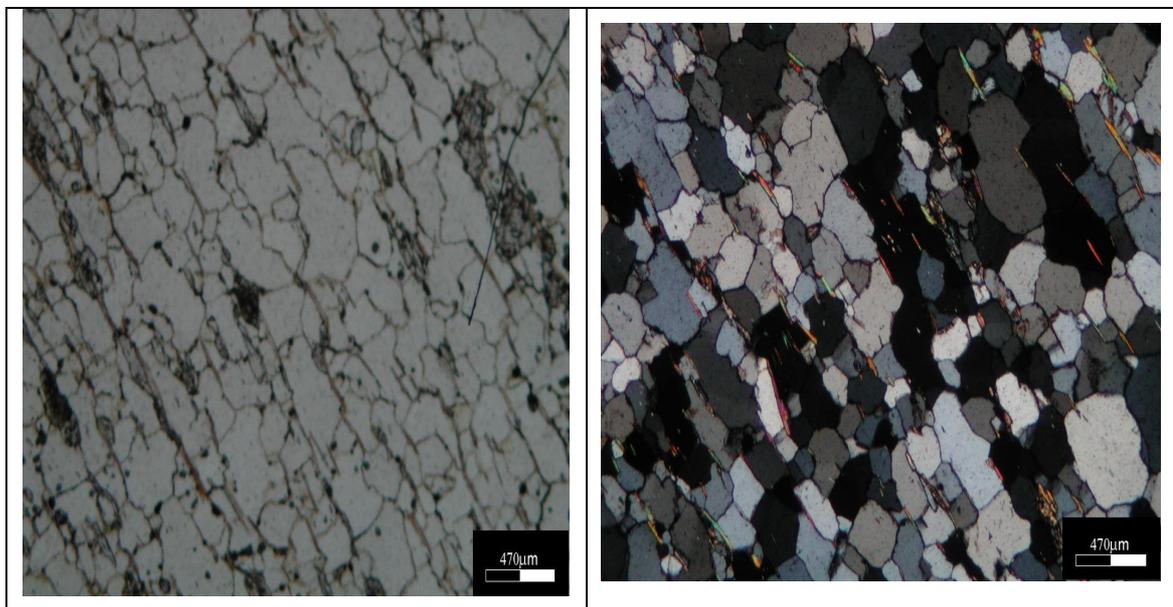


Figura 4 – Grãos de quartzo orientados sob luz natural e luz polarizada (Lima e colaboradores, 2005).

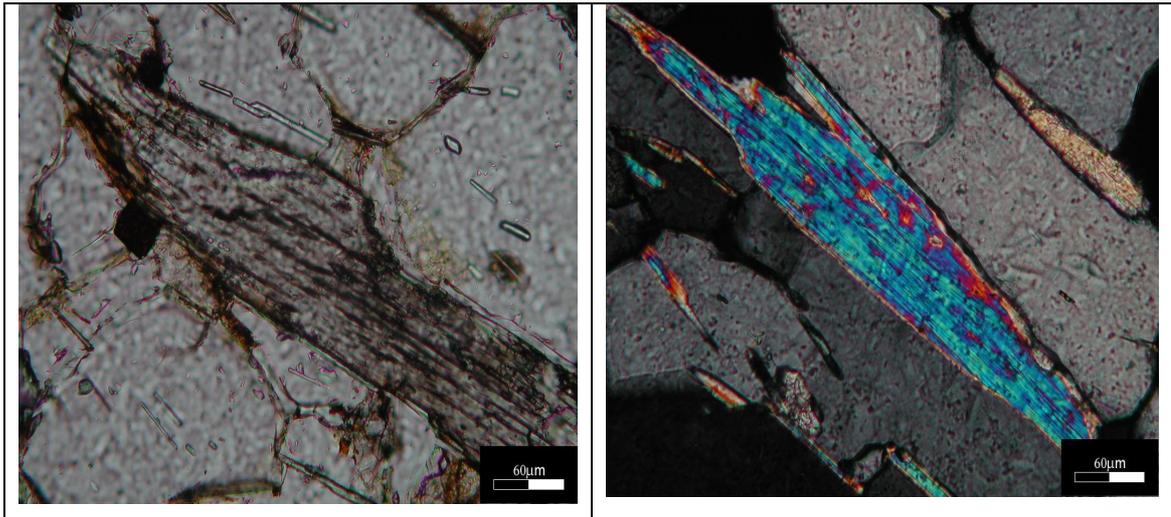


Figura 5 – Grão de sericita orientados sob luz natural e luz polarizada (Lima e colaboradores, 2005).

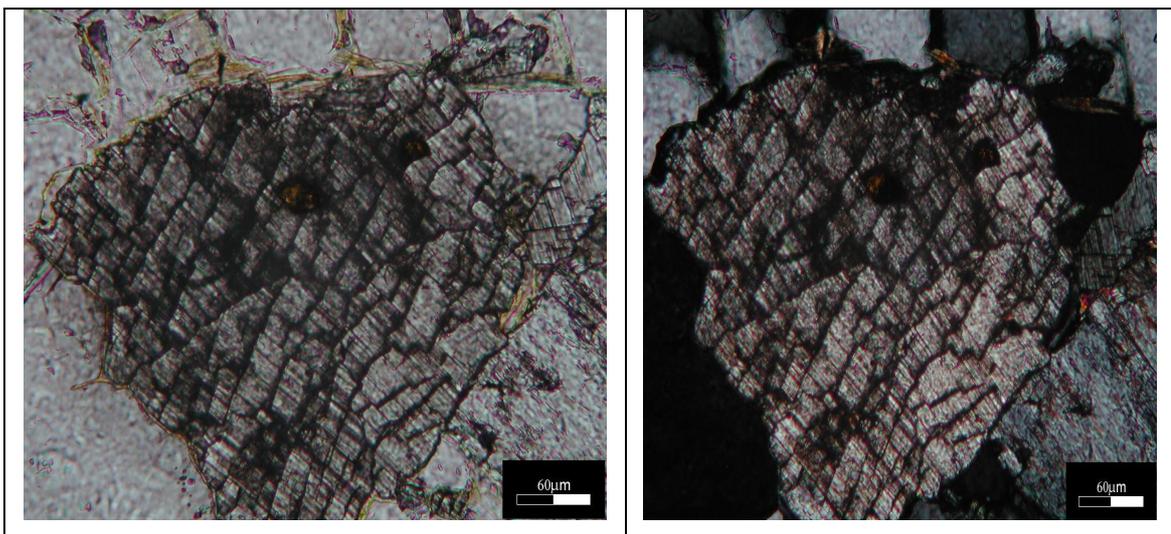


Figura 6 – Grão de cianita orientados sob luz natural e polarizada (Lima e colaboradores, 2009).

A sericita na rocha é incolor (Figura 5). Observa-se nitidamente a orientação dos grãos minerais e representa cerca de 5 % da rocha.

A cianita, embora seja um mineral incolor, apresenta-se com aspecto sujo, devido à concentração de impurezas nos planos de clivagem ou impregnação por limonita (Figura 6). Os grãos minerais são subédricos, onde se percebe claramente grãos com inclusões de quartzo. O mineral apresenta cerca de 10 % da rocha.

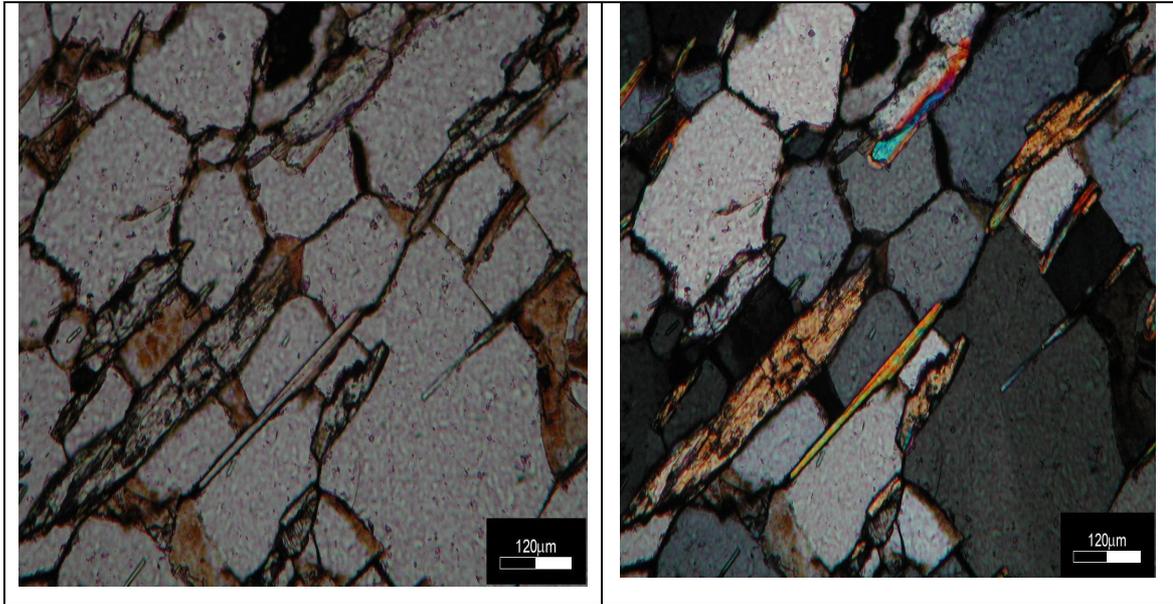


Figura 7 – Grãos de quartzo de diferentes tamanhos com algumas impregnações de óxidos de ferro e grãos de sericita, orientados sob luz natural e luz polarizada (Lima e colaboradores, 2005).

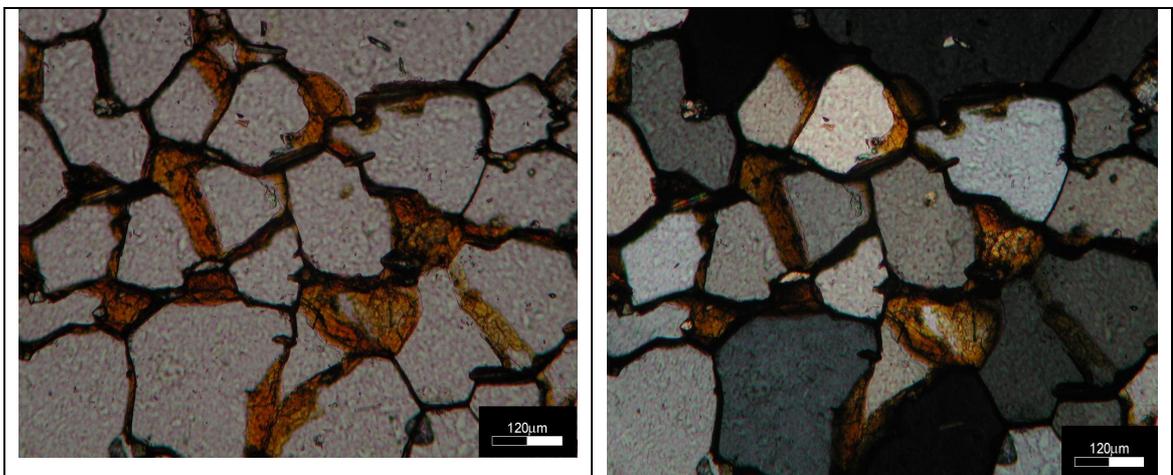


Figura 8 – Grãos de quartzo com bordas recobertas por óxido de ferro, orientados sob luz natural e luz polarizada, evidenciando a sua textura em mosaico (Lima e colaboradores, 2005).

O minerais opacos são constituídos por óxidos de ferro (Figuras 7 a 9). O rutilo é o principal mineral acessório, chegando a 2 % em algumas amostras.

Através de microscopia ótica de luz transmitida, observaram a presença de partículas livres de sericita, mica, cianita e minerais opacos na fração acima de 0,420 mm, existindo nessa fração granulométrica uma maior proporção de partículas mistas de quartzo com minerais opacos e sericita e cianita.

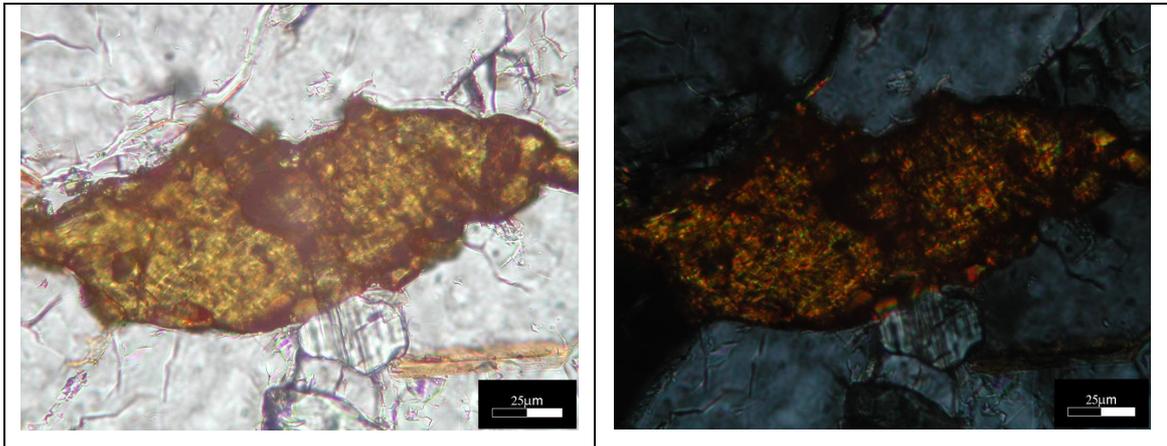


Figura 9 – Grão de óxido orientado sob luz natural e luz polarizada (Lima e colaboradores, 2005)

Na fração compreendida entre 0,420 e 0,297 mm foram observadas maiores proporções de micas, cianita e minerais opacos livres que na fração acima de 0,420 mm para as amostras do bota fora e da frente de lavra. No caso da amostra do desmonte hidráulico, observaram que as partículas de quartzo apresentavam-se mais limpas e as partículas de cianita apresentavam-se com aspecto sujo, denotando recobrimento por óxidos de ferro.

Para a fração granulométrica compreendida entre 0,297 e 0,210 mm, observaram menores quantidades de partículas mistas de quartzo com sericita, sendo maiores as proporções de partículas livres de mica, cianita e minerais opacos.

Um maior grau de liberação do quartzo em relação aos óxidos e demais minerais foi observado na fração entre 0,210 e 0,149 mm, onde as partículas de mica e cianita são também bastante impregnadas com óxidos de ferro.

Assim, de uma maneira geral, a liberação da mica e cianita ocorre em frações granulométricas mais grosseiras e, devido ao menor tamanho dos grãos de sericita, observa-se a presença de partículas mistas deste mineral com o quartzo em frações granulométricas menores.

3.3.2 – Granulometria

Na Tabela 8 são apresentadas as distribuições granulométricas das amostras. Observa-se que apenas 12,0 e 14,8 % das partículas se encontravam na faixa acima de 1 mm (material mais grosseiro), para as amostras A e C, respectivamente. No caso da amostra C, este valor foi ainda menor, representando 5,51 % da amostra. Para as três amostras estudadas, observou-se que a maior parte das partículas se encontravam na faixa entre 0,420 e 105 μ m, enquanto que o percentual de partículas abaixo de 0,074 mm foi menor que 3,5 %.

3.3.3 – Composição

Nas Tabelas 9, 10 e 11 estão apresentados os resultados das análises químicas por faixa granulométrica das amostras A, B e C, onde podemos observar que os teores de SiO₂ nas três amostras encontram-se acima de 72 % nas faixas acima de 0,037 mm. As principais impurezas presentes nas amostras são Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, K₂O, Co, Zr, Cr e Pb. Há que se destacar que os menores teores de SiO₂ foram encontrados na fração menor que 0,037 mm, que corresponde a uma massa menor que 2 %, onde também foram encontrados os maiores teores de impurezas.

3.4 – Propriedades superficiais de partículas sólidas

3.4.1 – Carga de superfície de partículas sólidas em meio aquoso

Independentemente de sua granulometria, partículas sólidas em suspensões aquosas apresentam carga elétrica de superfície. Esta carga influencia o comportamento das

suspensões. As origens da carga elétrica observada na superfície dos sólidos podem ser diversas (Leja, 1982).

Tabela 8 – Distribuições granulométricas das amostras A, B e C (Lima e colaboradores, 2005).

Tamanho (mm)	Amostra A		Amostra B		Amostra C	
	% Retida Simples	% Passante Acumulada	% Retida Simples	% Passante Acumulada	% Retida Simples	% Passante Acumulada
9,520	3,62	96,38	2,40	97,60	5,17	94,83
6,350	1,82	94,56	0,28	97,31	1,84	92,99
5,660	0,20	94,36	0,07	97,25	0,28	92,70
3,360	1,86	92,51	0,47	96,78	2,01	90,70
2,380	0,92	91,59	0,32	96,46	1,32	89,38
1,680	1,17	90,42	0,54	95,92	1,38	88,00
1,110	0,60	89,82	0,32	95,60	0,66	87,34
1,180	0,59	89,23	0,33	95,27	0,68	86,66
1,000	1,22	88,01	0,78	94,49	1,50	85,16
0,810	1,15	86,87	1,17	93,32	1,49	83,67
0,590	3,39	83,48	1,80	91,52	0,77	82,90
0,420	5,43	78,05	14,91	76,61	15,01	67,89
0,297	24,13	53,92	18,26	58,35	15,39	52,50
0,210	19,80	34,12	21,28	37,07	17,26	35,25
0,149	16,92	17,21	20,98	16,10	19,39	15,86
0,105	7,52	9,69	9,06	7,03	6,59	9,28
0,074	4,63	5,06	3,15	3,88	4,08	5,20
0,053	1,97	3,10	1,68	2,21	2,06	3,14
0,044	1,61	1,49	0,58	1,63	0,69	2,44
0,037	0,60	0,88	0,90	0,73	0,89	1,56

Tabela 9 – Análise química por faixa granulométrica da amostra A (Lima e colaboradores, 2005).

Tamanho (mm)	Elementos Maiores (%)										Elementos Menores (ppm)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Li ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	CaO	Ti ₂ O	Co	Cr	Pb	Zr
3,36	91,1	3,7	0,35	0,22	<0,01	0,01	<0,01	0,04	<0,01	0,22	222	3,0	<5,0	75,2
1,41	86,3	6,3	1,7	0,36	<0,01	0,02	<0,01	0,09	0,01	0,31	314	51,7	32,7	122
1,68	85,9	6,1	1,38	0,29	<0,01	0,02	<0,01	0,08	0,03	0,28	246	39,9	<5,0	112
0,589	86,3	5,6	0,74	0,22	<0,01	0,02	<0,01	0,08	0,05	0,24	224	32,8	9,3	92,6
0,417	86,2	6,6	0,39	0,18	<0,01	0,01	<0,01	0,07	0,04	0,2	286	31,9	26,5	79,8
0,295	87,5	4,5	0,27	0,14	<0,01	0,01	<0,01	0,05	0,03	0,15	211	21,7	<5,0	63,3
0,208	93,6	4,1	0,11	0,08	<0,01	0,01	<0,01	0,03	0,01	0,1	379	18,0	13,9	48,8
0,147	91,2	2,4	0,08	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,08	348	11,1	<5,0	36,6
0,104	94,3	1,9	0,09	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,08	303	9,2	<5,0	33,2
0,074	91,1	3,0	0,14	0,07	<0,01	0,01	<0,01	0,02	0,01	0,15	312	15,8	<5,0	43,7
0,037	85,4	5,7	0,25	0,21	<0,01	0,01	<0,01	0,05	0,01	0,34	290	33,3	<5,0	88,0
-0,037	63,6	17,5	1,24	1,41	<0,01	0,06	<0,01	0,3	0,05	1,11	86	117	55,9	406

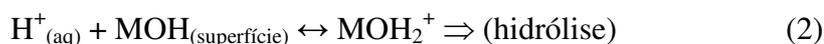
As fraturas provocadas por processos de cominuição, nas etapas de britagem e moagem, causam rompimento de ligações iônicas, covalentes e outras ligações existentes no sólido, conduzindo à ionização dos átomos que tinham seus elétrons compartilhados. Assim, a nova superfície criada tem caráter polar, sendo, portanto, hidrofílica (Parks, 1975).

Os argilo-minerais representam uma classe de minerais que podem possuir uma carga elétrica dita intrínseca à sua estrutura e composição. Outros sólidos adquirem carga elétrica durante a interação da superfície exposta com o meio aquoso, por interação sólido/solução aquosa, ou seja, ionização, adsorção de íons pertencentes à rede cristalina dos minerais (Leja, 1982; Rabockai, 1979).

Tabela 10 – Análise química por faixa granulométrica da amostra B (Lima e colaboradores, 2005).

Tamanho (mm)	Elementos Maiores (%)										Elementos Menores (ppm)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Li ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	CaO	Ti ₂ O	Co	Cr	Pb	Zr
3,36	87,4	4,3	3,70	0,16	<0,01	0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,21	2,283	0,007	2,59	0,13
1,41	86,7	7,2	0,46	0,35	<0,01	0,02	<0,01	0,09	0,03	0,29	3,836	0,023	0,32	0,29
1,68	86,9	7,3	1,14	0,29	<0,01	0,01	0,01	0,1	0,01	0,28	3,874	0,007	0,79	0,24
0,589	88,4	6,7	0,90	0,26	<0,01	0,01	<0,01	0,09	0,01	0,28	3,527	0,007	0,63	0,22
0,417	86,0	7,5	0,49	0,22	<0,01	0,01	<0,01	0,08	0,02	0,23	3,961	0,012	0,34	0,18
0,295	85,5	8,2	0,41	0,19	<0,01	0,01	<0,01	0,08	0,01	0,2	4,36	0,009	0,29	0,16
0,208	87,9	5,8	0,29	0,15	<0,01	0,01	<0,01	0,06	0,01	0,16	3,087	0,006	0,20	0,12
0,147	93,4	4,2	0,12	0,07	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,01	0,09	2,219	0,005	0,09	0,06
0,104	95,4	3,0	0,14	0,06	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,08	1,57	0,004	0,10	0,05
0,074	94,4	2,8	0,23	0,06	<0,01	0,02	<0,01	0,02	0,01	0,15	1,505	0,011	0,16	0,05
0,037	93,0	3,7	0,22	0,11	<0,01	0,01	<0,01	0,03	0,01	0,17	1,933	0,006	0,16	0,09
-0,037	90,3	6,1	0,26	0,29	<0,01	0,01	<0,01	0,07	0,01	0,33	3,212	0,006	0,18	0,24

A origem da carga, em óxidos e hidróxidos, se dá através da interação com hidroxilatos hidratados e as superfícies dos óxidos. A superfície destes sólidos ao entrar em contato com a água sofre reações de hidrólise superficial. Grupos MOH assim formados têm acidez de Bronsted e a carga pode se desenvolver através de dissociação anfotérica ou hidrólise (equivalente à dessorção e adsorção de H⁺), segundo as reações (1) e (2) (Somasundaran e Sivakumar, 1988):



Onde M é o íon metálico

MOH_2^+ é equivalente a um M^+ hidratado

Tabela 11 – Análise química por faixa granulométrica da amostra C (Lima e colaboradores, 2005).

Tamanho (mm)	Elementos Maiores (%)										Elementos Menores (ppm)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Li ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	CaO	Ti ₂ O	Co	Cr	Pb	Zr
3,36	91,4	4,7	0,47	0,22	<0,01	0,01	<0,01	0,07	0,04	0,19	540	27,7	17,0	78,5
1,41	86,1	6,0	0,75	0,28	<0,01	0,01	<0,01	0,13	0,06	0,20	340,1	29,5	20,8	80,0
1,68	88,0	5,7	0,29	0,17	<0,01	0,01	<0,01	0,08	0,05	0,15	289,5	25,7	<5,0	66,0
0,589	91,4	4,0	0,11	0,09	<0,01	0,01	<0,01	0,04	0,03	0,09	352,7	15,5	19,7	47,0
0,417	92,2	1,7	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,02	91,8	2,7	<5,0	12,0
0,295	96,6	2,8	0,05	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,08	331	11,6	<5,0	34,9
0,208	94,0	2,3	0,06	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,08	310,7	10,2	21,7	35,1
0,147	92,7	2,9	0,09	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,16	317,1	14,6	19,3	38,4
0,104	87,6	5,7	0,16	0,14	<0,01	0,01	<0,01	0,04	0,01	0,41	250,4	30,5	<5,0	92,8
0,074	81,2	9,3	0,41	0,46	<0,01	0,02	0,02	0,10	0,02	0,74	125,7	54,5	34,3	267
0,037	72,8	17,7	1,21	0,94	<0,01	0,05	0,09	0,22	0,05	1,91	71,7	109,3	50,2	735
-0,037	51,0	31,1	2,32	1,09	<0,01	0,08	0,17	0,28	0,09	3,28	99,3	188,2	129,7	1166

3.4.2 – A dupla camada elétrica

A imersão do sólido em uma solução aquosa produz uma região de não homogeneidade elétrica na interface sólido/solução. Um excesso positivo ou negativo de carga aparentemente se fixa na superfície do sólido e é balanceado por uma região difusa de carga igual, mas oposta (íons contrários). O conjunto formado pela superfície e camada de íons é chamado de dupla camada elétrica (DCE). A formação da dupla camada elétrica deve ser entendida como uma resposta do meio aquoso, objetivando a manutenção do princípio de eletroneutralidade global das suspensões dos sólidos (Fuerstenau e Pradip, 2005; Leja, 1982).

A Figura 10 apresenta uma estrutura da DCE onde são representados os íons da camada difusa com seus respectivos co-íons (mesma carga de superfície), íons não-hidratados em adsorção específica e íons hidratados em adsorção não específica.

Um dos modos de se caracterizar uma interface é através da medida da adsorção. A adsorção pode ser entendida como sendo a concentração relativa de espécies químicas em uma dada interface. Em resumo, é a medida do excesso, positivo ou negativo, de concentração de uma espécie química na região interfacial em relação a uma das fases (Leja, 1982; Parks, 1975).

A adsorção ocorre como resultado de uma variedade de mecanismos. O mais simples destes é o de atração eletrostática. Entretanto, outros tipos de interação existem entre o adsorvente e o adsorvato. Como outros tipos de interações podemos citar as interações entre as moléculas de adsorvato e seus íons, ligações covalentes, ligações de van der Waals ou ligações de hidrogênio entre o adsorvato e o sólido e interações resultantes de mudanças no estado de hidratação da superfície adsorvente (Parks, 1975).

Segundo Parks (1975), quando a adsorção decorre unicamente de interação de natureza eletrostática entre o radical do surfactante e a superfície do adsorvato, ela é não-específica. Quando quaisquer outras interações concorrem para que haja adsorção, ela é dita específica. Como outros tipos de interações podemos citar ligações covalentes, ligações de hidrogênio e ligações de van der Waals.

A adsorção específica pode aumentar, diminuir, neutralizar ou reverter a carga efetiva no sólido, independentemente da carga original. Espécies adsorvidas especificamente são aquelas que ficam mais próximas à superfície. O plano que passa pelo centro dos íons adsorvidos especificamente corresponde ao plano interno de Helmholtz, veja Figura 10.

O mecanismo de atuação eletrostática é do tipo longo alcance. A adsorção não-específica é rápida e reversível, não revertendo o sinal da carga original do adsorvente e apresenta, através dos íons adsorvidos, equilíbrio dinâmico com a solução. Neste tipo de

adsorção, o plano que passa através dos centros dos íons contrários mais próximos à superfície do sólido caracteriza o plano de Stern.

Uma outra classificação para a adsorção baseia-se na natureza das interações entre adsorvente e adsorvato. A adsorção é dita física quando as ligações entre adsorvente e adsorvato são aquelas envolvendo ligações químicas secundárias (forças de van der Waals e forças coulômbicas) (Rabockai, 1979).

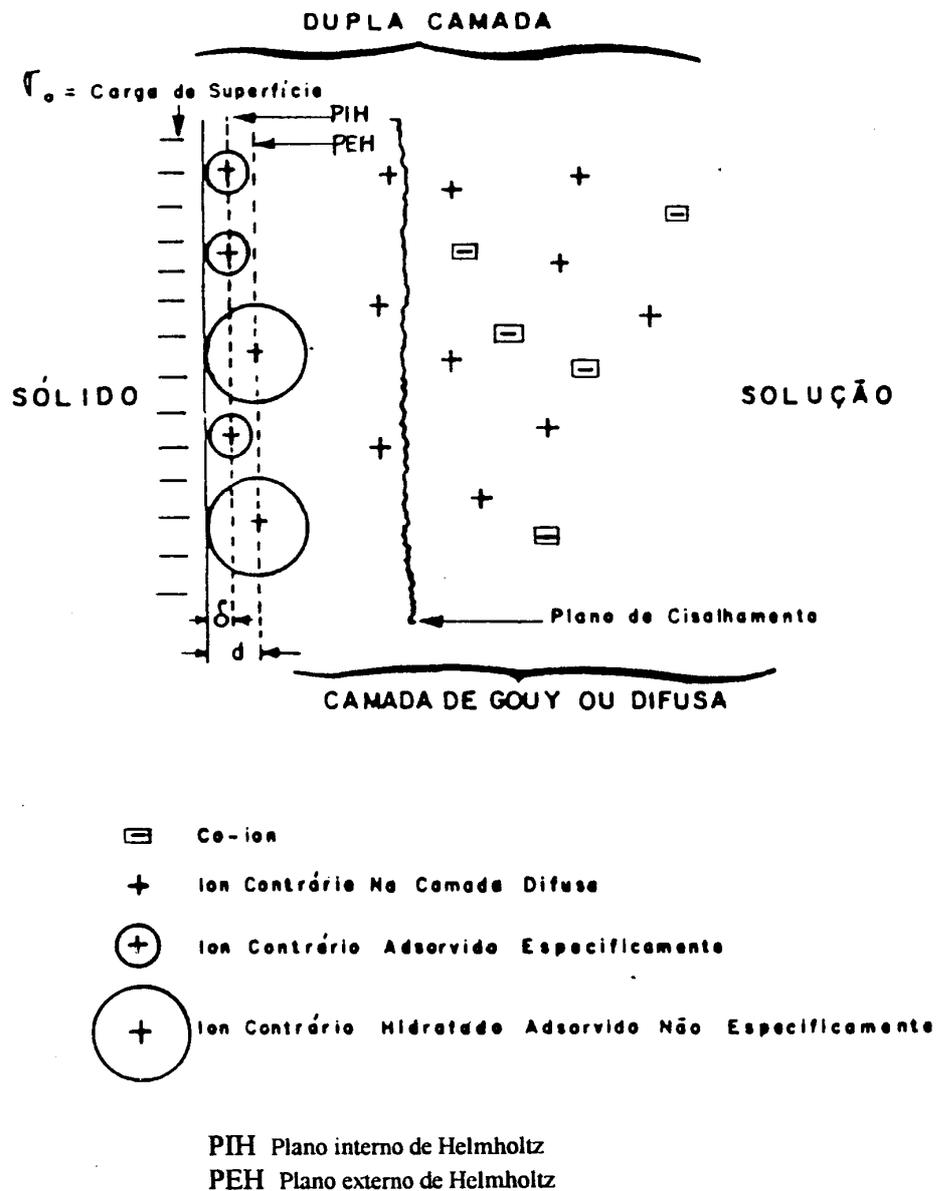


Figura 10 – Estrutura da dupla camada elétrica (Leja, 1982; Parks, 1975).

A adsorção é dita química quando as ligações entre adsorvente e adsorvato são feitas através de ligações químicas primárias do tipo iônicas, covalentes e ligações de hidrogênio (Rabockai, 1979).

A adsorção química se restringe a monocamadas, uma vez que seu mecanismo básico envolve transferência ou compartilhamento de elétrons. A adsorção física geralmente apresenta a formação de multicamadas.

A determinação da carga superficial de sólidos envolve equações matemáticas complexas, que requerem a determinação de vários parâmetros. Por esta razão, na prática determina-se o potencial no plano de cisalhamento da DCE (Figura 10), provocado pelo movimento relativo do sólido e solução.

É inegável a importância do potencial zeta ou potencial eletrocinético no processamento mineral. O ponto central de grande relevância do conhecimento do potencial zeta nos processos envolvendo minerais suspensos em água relaciona-se aos fenômenos de adsorção e aos fenômenos de dispersão e agregação (Araújo e colaboradores, 1990).

Modificações na hidrofobicidade, adsorção e potencial zeta dos minerais podem ser explicadas através da heterogeneidade mineralógica e química de regiões superficiais ou sub-superficiais das partículas. Heterogeneidades físicas, como grau de cristalinidade e rugosidade superficial, podem também provocar alterações na hidrofobicidade dos minerais (Somasundaran, 1984; Hanna, Somasundaran, 1976).

3.4.3 – Carga superficial do quartzo

Os íons determinadores de potencial (IDP) são os solutos iônicos responsáveis pela carga superficial do sólido. As espécies H^+ e OH^- são os IDP para os silicatos. O H^+ é provavelmente a principal espécie adsorvida que controla a carga superficial de óxidos insolúveis. Portanto, a carga elétrica na superfície do quartzo e, conseqüentemente, a densidade de adsorção de coletor depende do pH do sistema. Em meio ácido, a espécie

H⁺ é responsável pela redução dos sítios negativos na superfície do quartzo. Veja as reações (3) e (4) (Fuerstenau, 1985; Bleier e colaboradores, 1976):



Na superfície do quartzo predominam os grupos silanóis ($\equiv \text{Si} - \text{OH}$), as ligações siloxanas ($\equiv \text{Si} - \text{O} - \text{Si} \equiv$) e moléculas e água adsorvidas fisicamente. Os grupos OH da superfície do quartzo são os principais responsáveis pela adsorção de moléculas de água, através de pontes de hidrogênio. As superfícies com predominância dos grupos silanóis são hidrofílicas.

Conforme visto nas equações (3) e (4), quando o quartzo é moído a úmido, ligações quebradas na superfície reagem com moléculas de água para formar ácido silícico superficial. A ionização desta superfície ácida dá origem à carga na superfície do mesmo. A reação (3) produz sítios negativos, enquanto a reação (4) produz sítios positivos. Na Figura 11 é apresentado o esquema de quebra de ligações na superfície do quartzo e sua posterior ionização.

O valor de pH no qual a carga de superfície é zero é chamado de Ponto de Carga Zero (PCZ). Vários autores reportam diferentes valores de PCZ para um mesmo mineral.

O PIE corresponde à carga líquida nula no plano de cisalhamento na presença de eletrólitos indiferentes. Observa-se muitas vezes na literatura o uso de PCZ e PIE como quaisquer condições de carga zero; contudo, esses conceitos são distintos. Apenas quando não ocorre adsorção específica o PCZ é igual ao PIE. O PIE é bem definido para minerais cujos IDP são H⁺ e OH⁻.

Gaudin e Fuerstenau (1955) situam o PCZ para o quartzo entre 2.3 e 3.7. Como os IDP's são o H⁺ e o OH⁻, o PCZ e o PIE de óxidos são expressos em termos de pH.

Estudos de potencial zeta estabelecem que a superfície do quartzo é negativamente carregada em pH neutro. Isto está de acordo com o fato de que, para valores de pH abaixo do PCZ, a superfície dos óxidos apresenta carga positiva e para valores acima deste pH, apresentam carga negativa (Uwadiale, 1992; Somasundaran e Sivakumar, 1988).

A Figura 12 apresenta a curva de potencial zeta do quartzo em função do pH, indicando a região onde se situa o seu PIE.

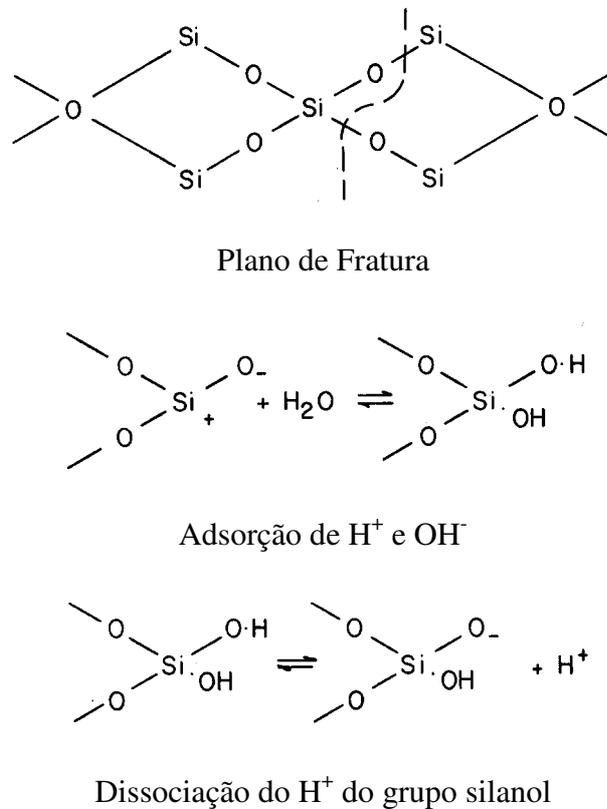


Figura 11 – Esquema de hidrólise superficial do quartzo (Fuerstenau, 1982).

3.5 – Flotação

A flotação é um processo usado para separar ou concentrar minerais e outras espécies químicas. A separação por flotação é resultado de muitos processos físico-químicos complexos ocorrendo nas interfaces formadas entre as fases sólido, líquido e gás.

Depende da ligação das partículas minerais com as bolhas de ar, o que é determinado pela hidrofobicidade da partícula (Somasundaran e Sivakumar, 1988).

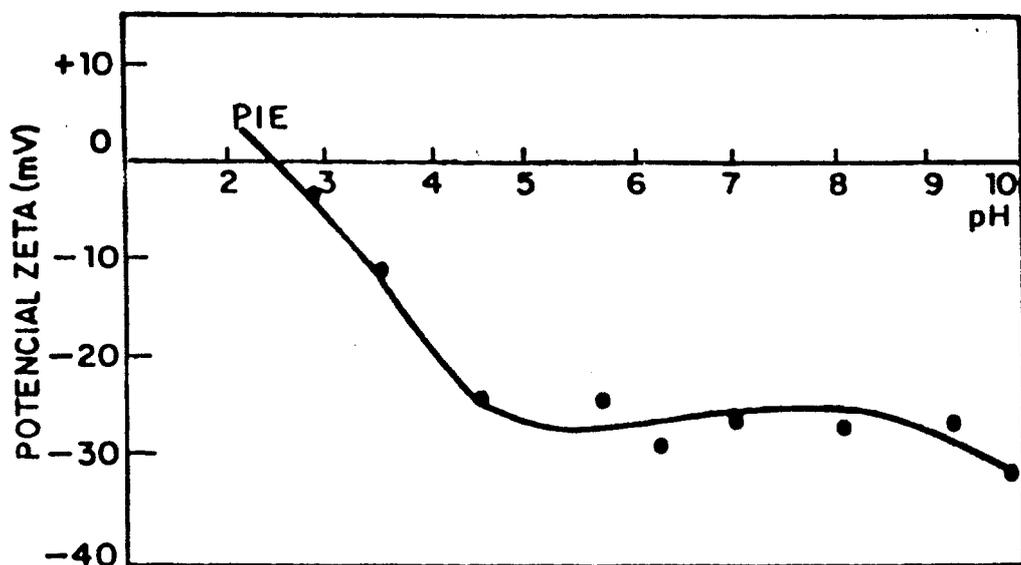


Figura 12 – Potencial zeta do quartzo em função do pH (Fuerstenau, 1982).

3.5.1 – Reagentes de Flotação

Reagentes de flotação são compostos orgânicos ou inorgânicos empregados com o objetivo de controlar as características envolvidas no processo. Qualquer espécie, orgânica ou inorgânica, que apresenta tendência a concentrar-se na interface é um agente ativo na superfície.

Os reagentes utilizados em flotação são classificados de acordo com sua função ou sua química em coletores, espumantes e modificadores.

3.5.1.1 – Coletores

Coletores são surfactantes responsáveis por tornar a superfície dos minerais hidrofóbica. Eles se adsorvem seletivamente na interface sólido/líquido, transformando o caráter hidrofílico destas superfícies em hidrofóbico (Leja, 1982).

Uma partícula hidrofóbica pode ser caracterizada como aquela cuja superfície tem maior afinidade com o ar. O conceito de hidrofobicidade das partículas minerais em uma polpa está relacionado com a molhabilidade das mesmas. Assim sendo, uma partícula hidrofóbica não é ávida por água e é, então, pouco molhável. Em contrapartida, uma partícula hidrofílica é ávida por água, sendo mais molhável.

A hidrofobização é necessária para permitir que as partículas minerais possam aderir à superfície das bolhas de ar durante o processo de flotação (Uwadiale, 1992).

A maioria dos minerais são naturalmente hidrofílicos. Para alcançar uma separação por flotação de um determinado mineral dos demais a ele associados, a superfície deste mineral específico deve tornar-se hidrofóbica. Para isto, é necessária a regulagem da química da solução, seguida pela adição do coletor, que adsorve seletivamente sobre a superfície do mesmo, fornecendo a hidrofobicidade requerida. O ajuste da química da solução pode incluir a adição de reagentes, tanto ativadores, que aumentam a seletividade por acentuar a adsorção do coletor, ou mesmo de depressores, que inibem a adsorção do coletor. Pode incluir também a adição de agentes dispersantes para assegurar que a superfície do mineral esteja livre de partículas finas (Houot, 1983).

Os coletores são compostos heterogêneos, constituídos de uma porção polar que é um grupo funcional inorgânico, associado a uma outra porção de natureza molecular (covalente), que é sempre uma cadeia de hidrocarboneto. Existem vários coletores que são classificados pela composição, podendo existir em solução como cátion, ânion ou molécula (Fuerstenau e colaboradores, 1985).

O grupo inorgânico é a porção da molécula do coletor que adsorve na superfície do mineral, enquanto que a cadeia hidrocarbônica, de natureza não-iônica, confere hidrofobicidade à superfície do mineral, como resultado da adsorção do coletor (Fuerstenau e colaboradores, 1985).

A cadeia orgânica apresenta comprimento variável, podendo ser ramificada e até mesmo cíclica. Geralmente, os coletores possuem cadeia longa, com um mínimo de 10 átomos de carbono presentes na porção hidrocarbônica (Uwadiale, 1992).

Em solução, os coletores têm sua porção polar ionizada. A porção molecular (não-polar) não é ionizável e, devido às características elétricas das ligações covalentes, tem maior afinidade pela fase gasosa que pela fase líquida – é hidrofóbica. Havendo no sistema uma interface sólido-gás (a interface das bolhas de ar sopradas para dentro da célula), a molécula do coletor tenderá a se posicionar nessa interface, orientada de modo que sua porção não-polar esteja em contato com o gás.

A escolha do coletor depende das propriedades elétricas do coletor, da carga elétrica do mineral, do peso molecular do coletor, da solubilidade do mineral e da estabilidade do sal do metal coletor. Dependendo desse fenômeno, pode ocorrer adsorção de superfície (adsorção física) ou interação química específica com espécies da superfície (Fuerstenau e colaboradores, 1985).

Os coletores são classificados de acordo com a carga elétrica associada ao grupo polar em aniônicos, catiônicos e anfotéricos. Os principais coletores aniônicos são sulfatos orgânicos, sulfonatos, hidroxamatos e ácidos carboxílicos; os coletores catiônicos são as aminas e seus derivados.

Os coletores aniônicos quando ionizados adquirem carga negativa. Os catiônicos são coletores que quando ionizados adquirem carga positiva e os coletores anfotéricos são os coletores que contêm grupos funcionais que se ionizam anionicamente e cationicamente, destacando-se os sulfossuccinamatos.

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentados os principais coletores catiônicos e coletores aniônicos, respectivamente.

As características comuns aos coletores não-tio formados por cadeias de hidrocarbonetos são as seguintes (Leja, 1982):

- Propensão à dissociação, ionização e hidrólise, o que é governado pelo pH da solução aquosa.
- Aumento da tensão interfacial ar/água e óleo/água em soluções diluídas (menos de $\sim 10^{-2}$ M).
- Tendência à formação de agregados coloidais (Figura 13), micelas, quando a concentração exceder um certo valor, conhecido como concentração micelar crítica (CMC) e a temperatura exceder um certo nível mínimo, chamado ponto Krafft.
- Solubilização de hidrocarbonetos insolúveis e surfactantes dentro das micelas.

Tabela 12 – Coletores catiônicos (Leja, 1982; Smith e Akhtar, 1976).

Coletor	Fórmula*
Sal de amina primária	$\text{RNH}_3^+\text{Cl}^-$
Sal de amina secundária	$\text{RR}'\text{NH}_2^+\text{Cl}^-$
Sal de amina terciária	$\text{R(R}')_2\text{NH}^+\text{Cl}^-$
Diamina graxa	$\text{R-NH-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$
Éter-diamina	$\text{R-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$
Éter-amina	$\text{R-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$
Sal de eteramina	$[\text{R-O(CH}_2)_3\text{-NH}]^+[\text{CH}_2\text{COO}]^-$
Sal de amônio quaternário	$\text{R(R}')_3\text{NCl}$
Sal de sulfônio	$\text{RS(R}')_2\text{Cl}$
Sal de alquil-piridínio	

* R representa uma cadeia hidrocarbônica, com 10 ou mais átomos de carbono

R' representa uma cadeia alquil curta, geralmente um grupo metil

A formação de micelas possui um importante papel em sistemas de flotação. Micelas são agregados de íons de coletor de dimensões coloidais, que se formam por ligações de van der Waals entre as cadeias de hidrocarboneto dos coletores. Essas micelas se formam devido à incompatibilidade entre as moléculas de água, de natureza polar, e a

cadeia de hidrocarboneto, de natureza apolar. À medida que se aumenta a cadeia do coletor, a CMC (concentração micelar crítica) ocorre em concentrações menores (Fuerstenau e colaboradores, 1985).

Tabela 13 – Fórmulas estruturais dos sais de sódio dos coletores aniônicos (Fuerstenau e colaboradores, 1985).

Coletor	Fórmula Estrutural
Carboxilato	$\text{R}-\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{O}^- \\ \diagdown \text{O} \end{array} \quad \dots\dots \text{Na}^+$
Sulfonato	$\text{R}-\text{S} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}^- \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \quad \dots\dots \text{Na}^+$
Alquil-sulfato	$\text{R}-\text{O}-\text{S} \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}^- \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \quad \dots\dots \text{Na}^+$
Hidroxamato	$\text{R}-\text{C} \begin{array}{c} \parallel \\ \text{O} \end{array} - \text{N} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{O}^- \end{array} \quad \dots\dots \text{Na}^+$

3.5.1.1.1 – Ácidos graxos

Os ácidos graxos e seus sais são largamente usados na flotação, como coletores-espumantes, principalmente na flotação de não sulfetos, como no processamento de oximinerais, minerais salinos e outros minerais levemente solúveis. No Brasil, são

amplamente empregados na flotação de fosfatos e fluorita (Chaves e Leal Filho, 2004; Leja, 1982).

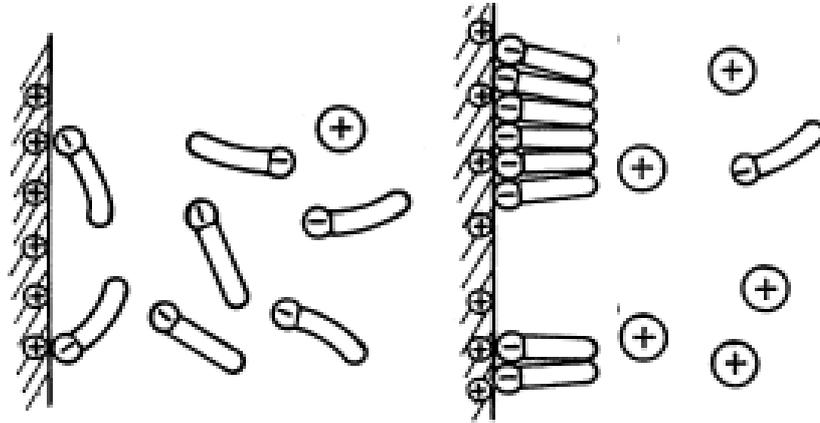


Figura 13 – Representação esquemática da adsorção de um coletor aniônico em um sólido de carga positiva, mostrando a adsorção de íons individuais e em seguida a formação de micelas (Fuerstenau e Pradip, 2005).

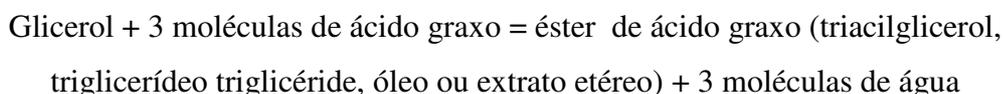
Os sabões de ácidos graxos apresentam poder espumante, que tende a aumentar com o comprimento da cadeia não-polar. O caráter espumante pode parecer benéfico pela economia de um reagente mas, em muitos casos, ele elimina a possibilidade de se controlar a espuma independentemente (Chaves e Leal Filho, 2004).

Os ácidos graxos e seus sais (os carboxilatos) têm grande poder coletor, baixo custo e grande disponibilidade para sua utilização industrial. Entretanto, apresentam baixa seletividade e, geralmente, requerem o uso de agentes modificadores para sua boa utilização. A eficiência dos ácidos graxos como coletores é influenciada pelas características da cadeia hidrocarbônica, tais como número de átomos de carbono, grau de insaturação e configuração estérica (Caires, 1992). Estes coletores trabalham em meio alcalino, ou então saponificados. A temperatura tem que ser elevada ou a solubilidade diminui muito. Na estação fria é necessário usar aquecedores ou emulsionar o coletor (Chaves e Leal Filho, 2004).

Os ácidos graxos comerciais são derivados de gorduras e de óleos vegetais e animais e de frações de petróleo por hidrólise, destilação, hidrogenação, etc. A maioria dos ácidos graxos usados em flotação são de origem vegetal. Os ácidos graxos comerciais puros, C₈, C₁₀, C₁₂, C₁₄, C₁₆ e C₁₈ contêm de 90 a 92 % de seu principal componente, sendo o restante de sua composição de homólogos vizinhos. Em adição a esses ácidos puros, há várias misturas de ácidos, como, por exemplo, láurico 70-mirístico 30, caprílico 55-cáprico 45 (Prasad, 1992; Leja, 1982).

Em geral, os ácidos graxos obtidos a partir de óleos vegetais (arroz, soja e até mesmo caroço de uva) correspondem realmente a uma mistura de ácidos graxos, cuja composição depende da origem, bem como da variedade de culturas vegetais. Os óleos de gorduras naturais são constituídos, essencialmente de triacilgliceróis, ou seja, ésteres de ácidos graxos de glicerol (Caires e Brandão, 1992).

Os óleos são produzidos na natureza a partir de uma reação de esterificação do glicerol com três moléculas de um ácido graxo (Peres, 1996):



Através de um processo de cisão, envolvendo altas temperaturas, pressões elevadas e alcalinidade, o óleo se transforma em ácido graxo livre. O ácido graxo, para ser utilizado como coletor, passa por uma saponificação com soda cáustica que gera os sabões solúveis de sódio (Peres, 1996).

Os ácidos graxos, RCOOH, e seus sabões de sódio (RCOO⁻Na⁺) ou potássio (RCOO⁻K⁺) são alquil carboxilatos derivados de ácidos carboxílicos. Em sua maioria são ácidos monocarboxílicos, de fórmula geral (Caires, 1992; Leja, 1982):



Os ácidos graxos são encontrados em uma variedade de pesos moleculares e configurações. A maioria dos ácidos graxos naturais têm cadeias não ramificadas e, por serem sintetizados a partir de unidades com dois carbonos, têm número par de átomos de carbono. A cadeia hidrocarbônica pode ser linear e saturada ou linear com 1, 2 ou 3 ligações duplas; raramente ocorrem triplas ligações. Em outros casos, o ácido graxo pode incluir estruturas de anéis hexagonais em que outras cadeias alquil estão ligadas. Os ácidos graxos insaturados têm as duplas ligações em cis. As cadeias carbônicas dos ácidos graxos saturados podem ter muitas conformações, mas tendem a estar completamente estendidas. Os ácidos graxos saturados organizam-se em cristais e são intensas as ligações de van der Waals. A configuração cis da dupla ligação dos ácidos graxos insaturados impõe vínculo rígido na cadeia carbônica, o que interfere com a organização cristalina e provoca diminuição das atrações de van der Waals entre as moléculas (Fuerstenau e colaboradores, 1985; Solomons, 1976).

Nas Tabelas 14 e 15 são apresentados, respectivamente, os ácidos graxos saturados e insaturados.

Na Tabela 16 são apresentados os principais ácidos graxos empregados como coletores e suas principais aplicações em sistemas de flotação, condensados de Leja (1982).

Os ácidos graxos saturados com até 18 átomos de carbonos são líquidos, os demais são resínicos.

Os ácidos graxos correspondem a uma função orgânica caracterizada pela presença do radical carboxila, tendo então caráter ácido. São ácidos fracos, cujo pKa médio é igual a $4,7 \pm 0,5$. Assim, em solução, se dissociam em ânions carboxilato, de acordo com a equação (Fuerstenau e colaboradores, 1985):



Uma vez que os ácidos graxos são ácidos fracos, as concentrações do ânion carboxilato e as espécies moleculares, $\text{RCOOH}_{(\text{aq.})}$, são dependentes do pH da solução; em pH ácido, predomina a forma molecular, e em pH básico predomina a forma iônica (Fuerstenau e colaboradores, 1985).

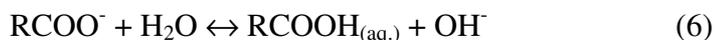
Configurações da cadeia hidrocarbônica e solubilidade da molécula não dissociada, $\text{RCOOH}_{(\text{aq.})}$, podem ser vistas na Tabela 17.

As constantes de dissociação de ácidos graxos encontram-se entre $1,8$ a $1,1 \times 10^{-5}$ para ácidos acéticos a nonanóicos. Esses valores indicam que em pH 5 se encontram 50 % dissociados e 99 % de dissociação ocorre em pH aproximadamente 7 (Leja, 1982).

Tabela 14 – Ácidos graxos saturados (Leja, 1982).

Número de átomos de carbono	Nome sistemático	Nome comum	Fórmula molecular
1	metanóico	fórmico	CH_2O_2
2	etanóico	acético	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$
3	propanóico	propiónico	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$
4	butanóico	butírico, valérico	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$
6	hexanóico	capróico	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$
8	octanóico	caprílico	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$
10	decanóico	cáprico	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$
12	dodecanóico	láurico	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$
14	tetradecanóico	mirístico	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$
16	hexadecanóico	palmítico	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$
18	octadecanóico	esteárico	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$
20	eicosanóico	araquídico	$\text{C}_{20}\text{H}_{40}\text{O}_2$
22	docosanóico	beênico	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$

Quando os sais de ácidos graxos são adicionados à água, os íons carboxilato podem sofrer hidrólise (Fuerstenau e colaboradores, 1985):



A Figura 14 mostra esquematicamente a faixa de pH de dissociação (ionização) dos ácidos graxos. No caso dos carboxilatos pode ser visto que em pH próximo de 4 a espécie predominante em solução é a espécie não dissociada da molécula de ácido graxo, enquanto que em pH acima de aproximadamente 10 as moléculas de carboxilato são completamente dissociadas na forma de íons (Leja, 1982):



Tabela 15 – Ácidos graxos insaturados (Leja, 1982).

Número de átomos de carbono	Nome sistemático	Nome comum	Fórmula molecular
10	9 decenóico	caproléico	$\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$
12	9 dodecenóico	lauroléico	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_2$
14	9 tetradecenóico	miristoléico	$\text{C}_{14}\text{H}_{26}\text{O}_2$
16	cis-9 hexadecenóico	palmitoléico	$\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}_2$
18	cis-9 octadecenóico	oléico	$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$
18	trans-9 octadecenóico	eláidico	$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$
18	cis cis-9-12 octadecadienóico	linoléico	$\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_2$
18	cis cis cis-9-12-15 octadecatrienóico	linolênico	$\text{C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_2$
18	12hidroxi cis-9 octadecenóico	ricinolênico	$\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_3$
20	cis cis cis cis-5-8-11-14 icosatetraenóico	araquidônico	$\text{C}_{20}\text{H}_{32}\text{O}_2$

Os limites de acidez na flotação com ácidos graxos são determinados por precipitação da forma molecular do coletor. Assim, este limite não é determinado pela superfície do mineral, mas pela química coloidal do coletor em solução (Laskowski e colaboradores, 1988).

O caráter hidrofóbico e a atividade superficial dos carboxilatos de uma mesma série homóloga aumentam à medida que aumenta o número de átomos de carbono na cadeia hidrocarbônica. Conseqüentemente, a quantidade de carboxilato necessária para se obter a mesma flotabilidade ou recuperação diminui com o aumento do comprimento da cadeia.

Os reagentes empregados em flotação apresentam de 6 a 18 carbonos na cadeia, homólogos mais curtos que C_6 não apresentam suficiente atividade superficial, enquanto aqueles superiores a C_{18} tornam-se excessivamente insolúveis para o propósito da flotação (Leja, 1982).

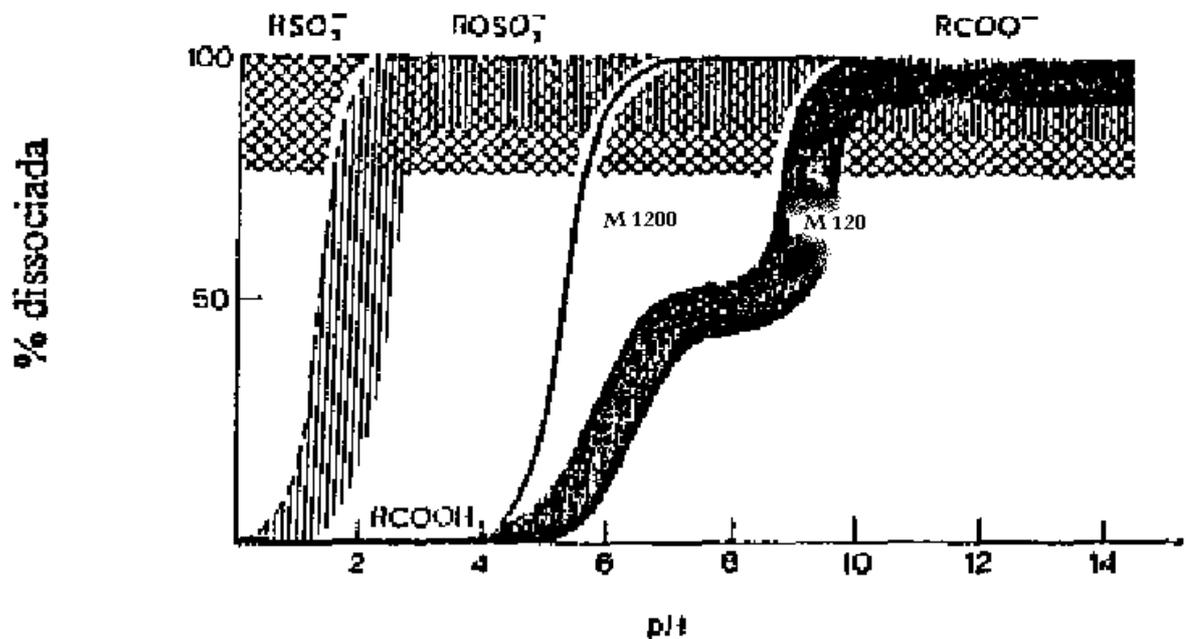


Figura 14 – Curva de dissociação esquemática de ácidos graxos, sulfatos e sulfonatos (Leja, 1982).

Os ácidos graxos de menor número de átomos de carbono são bastante solúveis em água, devido à formação de ligações de hidrogênio com as moléculas de água (e não mais entre as moléculas de ácido) facilitando a solubilização. À medida que a cadeia hidrocarbônica aumenta, seja ela ramificada ou não, as suas propriedades apolares hidrofóbicas passam a predominar e as ligações de hidrogênio tornam-se menos significativas, de modo que os ácidos graxos tornam-se pouco solúveis em água e mais solúveis em solventes apolares (Caires, 1992).

Ácido caprício (C₆) é o homólogo mais curto empregado, enquanto que os ácidos octadecanóicos insaturados (C₁₈), como oléico, linoléico e linolênico e seus sabões são os ácidos com maiores cadeias hidrocarbônicas que são suficientemente solúveis em água para serem usados em flotação (Leja, 1982).

Tabela 16 – Ácidos graxos freqüentemente empregados como coletores de flotação e suas aplicações típicas (Leja, 1982).

Classificação e composição	Forma usual de adições	Algumas propriedades e aplicações típicas
Tall oil (principalmente ácido oléico)	emulsão líquida	Coletores para feldspato, óxidos de ferro, cromita, scheelita, CaCO ₃ , MgCO ₃ , apatita, ilmenita
Ácido oléico refinado	emulsão líquida	Coletores para feldspato, óxidos de ferro, cromita, scheelita, CaCO ₃ , MgCO ₃ , apatita, ilmenita
Sabão de sódio de ácido graxo	solução de 5 a 20 %	Coletores para feldspato, óxidos de ferro, cromita, scheelita, CaCO ₃ , MgCO ₃ , apatita, ilmenita

A seleção de um ácido graxo para um sistema de flotação depende da granulometria, densidade e características superficiais do mineral, assim como as condições de operação (Prasad, 1992).

Industrialmente usam-se óleos naturais, como por exemplo, *tall oil* (que é um subproduto da fabricação do papel), óleo de arroz, óleo de soja, óleo de mamona e óleos comestíveis brutos (Chaves e Leal Filho, 2004).

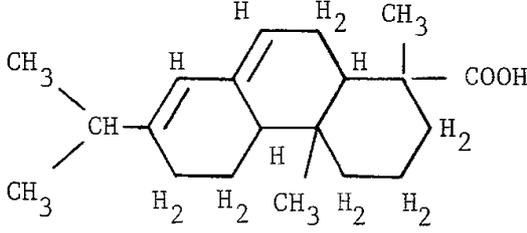
Na prática comercial, os dois ácidos graxos que são mais freqüentemente usados são o ácido oléico impuro e tall oil, que consiste principalmente de ácido abiético (Fuerstenau e colaboradores, 1985).

Além do aumento do poder de coleta dos carboxilatos com o aumento da cadeia hidrocarbônica, observa-se, também, que os ácidos graxos e seus sabões insaturados são coletores mais eficientes que os saturados de mesmo número de átomos de carbono. Um fator importante a ser considerado na adsorção dos ácidos graxos é a interação entre as cadeias hidrocarbônicas dos ácidos (sabões) insaturados adsorvidos, devido à reatividade das duplas ligações com o oxigênio. A oxidação das duplas ligações de cadeia hidrocarbônica explicaria a superioridade dos ácidos graxos insaturados como coletores, visto que os ácidos graxos saturados não são capazes de formar filmes adsorvidos parcialmente polimerizados, haveria apenas forças de van der Waals entre as cadeias hidrocarbônicas vizinhas (Caires, 1992).

É importante considerar o número de duplas ligações presentes na cadeia hidrocarbônica dos carboxilatos. Geralmente, uma maior insaturação leva a uma maior recuperação. A tendência para a maior seletividade e em direção a uma maior recuperação é o ácido esteárico – ácido palmítico – ácido palmitoléico – ácido oléico – ácido linoléico – ácido linolênico (Caires, 1992; Prasad, 1992).

A melhoria na seletividade e recuperação pode ser alcançada equilibrando o limite de solubilidade para afetar a hidrofobicidade controlada a um dado pH, pelo uso do comprimento de cadeia e insaturações apropriado (Prasad, 1992).

Tabela 17 – Estrutura e solubilidade de alguns ácidos graxos (Fuerstenau e colaboradores, 1985).

Ácido graxo	Estrutura	Solubilidade da molécula não dissociada, 20° C
cáprico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	$3,0 \times 10^{-4}$
láurico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	$1,2 \times 10^{-5}$
mirístico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	$1,0 \times 10^{-6}$
palmítico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	$6,0 \times 10^{-7}$
esteárico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	$3,0 \times 10^{-7}$
eláídico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
oléico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
linoléico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
linolênico	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
abiético		

Caires (1992) realizou estudos de microflotação utilizando sais de sódio de ácidos graxos saturados (palmítico e esteárico) e insaturados (oléico, linoléico e linolênico) como coletores para fluorita e apatita, comprovando a superioridade destes últimos. Os testes mostraram, ainda, que o poder de coleta dos ácidos graxos insaturados com 18 átomos de carbono, para fluorita decresce com o aumento da insaturação da cadeia, ou seja, linolênico < linoléico < oléico. No caso da apatita, foi obtida a seguinte ordem de eficiência como coletor: linoléico > linolênico > oléico.

3.5.1.1.2 – Aero Promoter[®] 845 (Cytec, 2002)

O Aero Promoter[®] 845 é um coletor aniônico, um alquil-succinamato. Este coletor foi desenvolvido para promover maior seletividade que os ácidos graxos ou sulfonatos de petróleo nos processos de flotação em que tais reagentes são comumente empregados. Quando usado como coletor principal, é excelente para a flotação da barita, celestita e sheelita em circuitos alcalinos e para cassiterita em circuito ácido.

São também usados como coletores secundários com ácidos graxos e sulfonatos de petróleo, usualmente na concentração de 5 a 20 % da dosagem total do coletor, para promover maior desempenho metalúrgico e melhor controle de circuito. Logo, o mesmo tem tido aceitação no tratamento de fosfato, fluorita, sheelita, feldspato e areia para vidro. Particularmente, quando usados com ácidos graxos, o ponto de adição tem tido uma importante influência no resultado metalúrgico. Quando utilizados como coletor principal, tendem a produzir mais espuma que os ácidos graxos e os sulfonatos de petróleo.

4 – MATERIAIS E METODOLOGIA

Para purificação das três amostras de areia, denominadas de amostra da frente de lavra (Amostra A), amostra do desmonte hidráulico (Amostra B) e amostra do bota fora (Amostra C), previamente caracterizadas por Lima e colaboradores (2005) foi utilizada a flotação inversa das impurezas, utilizando como coletores o óleo de soja hidrogenado (marca fantasia Hidrocol, fabricado pela Hidrovex) e o Aero Promoter[®] 845, fabricado pela Cytec.

Em uma primeira fase, foram investigadas as variáveis operacionais rotação da célula, porcentagem de sólidos, ensaio com atrição prévia e tempo de condicionamento com óleo de soja. Posteriormente, foi investigada a influência da dosagem dos reagentes na flotação da amostra B (desmonte hidráulico).

Após os ensaios de flotação foram efetuadas análises químicas de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, TiO₂, K₂O, Na₂O, Cr, Co, P e H₂O, para efetuar os balanços de massas e metalúrgicos dos diversos ensaios e para verificar o nível de impurezas, especialmente dos concentrados.

Foi efetuado um ensaio preliminar em duplicata para as três amostras utilizando uma polpa com 40 % de sólidos, pH natural, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja e tempo de condicionamento de 5 minutos. Após esse ensaio, foram efetuadas análises granulométricas por peneiramento a seco, utilizando a série Tyler de peneiras (0,037 a 0,590 mm). O tempo de peneiramento ideal encontrado foi de 20 minutos (determinado experimentalmente após análises de tempos crescentes de 10, 15 e 20 min) para frequência do vibrador igual a 30 RPM e amplitude igual a 50, para a amostra B (desmonte hidráulico).

A classificação granulométrica foi efetuada para as amostras A, B e C. Os resultados encontram-se no Anexo I. Posteriormente, foram efetuadas análises granuloquímicas dos concentrados obtidos e analisados os teores de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, TiO₂, K₂O, Na₂O, Cr, Co, P e P.P.C. (perda por calcinação) para verificar os teores por

faixa granulométrica, usando um Espectrômetro de Emissão Óptica Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) marca SPECTRO / modelo Ciros CCD do Laboratório de Geoquímica Ambiental do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto.

4.1 – Preparo dos reagentes utilizados nos ensaios de flotação

Para obtenção da solução 5 % p/v de óleo de soja saponificado (200 mL), procedeu-se da seguinte forma:

- Pesar em um béquer 10 g de óleo de soja;
- caso o óleo de soja esteja solidificado ou apresentando grumos, aquecê-lo a 35 °C para liquefazê-lo;
- adicionar 20 mL de água destilada ao óleo, misturando bem com um bastão de vidro;
- transferir 3 mL de uma solução de hidróxido de sódio 50 % p/v para o béquer contendo o óleo de soja diluído com a água até saponificá-lo;
- transferir o óleo de soja hidrogenado para um balão volumétrico de 200 mL e completar o volume com água destilada.

A solução de hidróxido de sódio a 50 % p/v (100 mL) foi preparada da seguinte forma:

- Pesar em um béquer 50 g de hidróxido de sódio;
- acrescentar, aos poucos, água destilada (esta etapa deve ser realizada em uma capela), não excedendo o volume de 100 mL;
- transferir a solução para um balão volumétrico de 100 mL e completar o volume com água destilada.

A solução do Aero Promoter[®] 845 a 5 % p/v (100 mL) foi preparada da seguinte forma:

- Pesar em um béquer 5 g do coletor sintético;

- transferir o coletor para um balão volumétrico de 100 mL e completar o volume com água destilada.

Cabe ressaltar que as soluções de óleo de soja e Aero Promoter foram preparadas imediatamente antes de serem utilizadas e descartadas ao final dos experimentos. Por outro lado, as soluções de hidróxido de sódio não foram preparadas diariamente.

4.2 – Procedimento para a realização dos ensaios de flotação

O procedimento para realização do ensaio de flotação sem a etapa de escrubagem consistiu em:

- Colocar na cuba de 1,5 L a massa de areia;
- adicionar o volume de água necessário para atingir a % de sólidos em peso desejada;
- ajustar a rotação da célula;
- adicionar a solução de coletor;
- deixar condicionar pelo tempo desejado;
- abrir a torneira de ar e remover o produto flotado;
- filtrar e secar o flotado e o afundado, quarterar e preparar amostras para análise química.

Visando a limpar as superfícies das partículas da areia estudada, foram efetuados alguns ensaios de flotação precedidos por escrubagem, que foi efetuada com a polpa a 58 % de sólidos, rotação da célula de 2000 RPM por um período de 5,5 minutos. A célula foi desligada, deixando o material se sedimentar por 8 minutos. Em seguida, foi feito o sifonamento do sobrenadante e o ensaio de flotação foi feito como descrito no parágrafo anterior.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentadas as médias dos resultados dos ensaios de flotação que foram efetuados em duplicata. Para uma melhor visualização dos resultados, os mesmos estão apresentados sob a forma de gráficos que, vale ressaltar, não apresentam relação de proporcionalidade entre si.

Os resultados obtidos foram comparados com as especificações químicas exigidas de areia para a fabricação de vasilhame de vidro da Califórnia segundo Luz e Lins (2005). A maior dificuldade encontrada foi a diminuição dos teores de TiO_2 , possivelmente devido ao baixo grau de liberação do mineral rutilo nas amostras, em função dos trabalhos preliminares de Lima e colaboradores (2005).

5.1 – Ensaios preliminares de flotação com as areias de quartzito

Como observado na Tabela 18, a recuperação em massa dos ensaios de flotação inversa com as amostras de resíduos de quartzito, denominadas de amostras A, B e C foram de 95,1; 97,7 e 93,5%, respectivamente, que são valores bem altos. Observa-se também uma redução apreciável dos teores das principais impurezas nos produtos afundados, que nesse caso são os concentrados.

Os concentrados das amostras A, B e C possuem baixo percentual de partículas menores que 0,037 mm, variando de 2 a 3 % e cerca de 90% das partículas encontram-se na fração granulométrica compreendida entre 0,074 e 0,500 mm, veja a Figura 15.

Os teores de SiO_2 dos concentrados das amostras A, B e C na fração abaixo de 0,037 mm foram muito inferiores que para as demais frações, veja Figura 16. O inverso ocorreu para os teores das impurezas, como mostram as Figuras 17 a 27.

Essas tendências também podem ser observadas nas amostras caracterizadas por Lima e colaboradores (2005).

Os maiores teores de sílica, assim como menores teores de impurezas encontram-se nas frações entre 0,149 e 0,500 mm.

Os teores de SiO₂ dos concentrados das amostras A, B e C na fração abaixo de 0,037 mm foram muito inferiores que para as demais frações, veja Figura 16. O inverso ocorreu para os teores das impurezas, como mostram as Figuras 17 a 27.

Essas tendências também podem ser observadas nas amostras caracterizadas por Lima e colaboradores (2005).

Os maiores teores de sílica, assim como menores teores de impurezas encontram-se nas frações entre 0,149 e 0,500 mm.

Para as três amostras, já num primeiro ensaio, houve uma pequena elevação no teor de sílica do concentrado, sendo que a amostra B foi a que sofreu um maior aumento em relação ao teor de sílica da alimentação. Houve uma considerável diminuição nos teores de Al₂O₃ e outras impurezas.

Tabela 18 – Ensaio de Flotação em bancada de amostras de areias de quartzito para polpa com 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento

Amostra	Produto	Massa		Teores (%)								
		(g)	(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P.P.C.
A	Flotado	38,9	4,9	78,90	14,350	1,225	0,06	0,006	0,760	1,440	0,380	2,765
	Afundado	755,0	95,1	97,30	1,930	0,215	-	0,005	0,120	0,130	0,040	0,310
	Alim. Recalc.	793,9	100,0	96,40	2,539	0,264	-	0,005	0,151	0,194	0,057	0,430
B	Flotado	18,2	2,3	76,60	16,850	1,390	0,08	0,050	1,795	0,895	0,205	2,085
	Afundado	770,0	97,7	98,20	1,270	0,090	-	0,004	0,090	0,060	0,020	0,225
	Alim. Recalc.	788,2	100,0	97,70	1,628	0,120	-	0,005	0,129	0,079	0,024	0,267
C	Flotado	50,7	6,5	82,72	11,510	1,150	0,05	0,064	1,070	1,024	0,241	2,119
	Afundado	730,0	93,5	98,16	1,246	0,126	-	0,002	0,091	0,094	0,026	0,250
	Alim. Recalc.	780,7	100,0	97,19	1,920	0,193	-	0,006	0,155	0,154	0,040	0,371

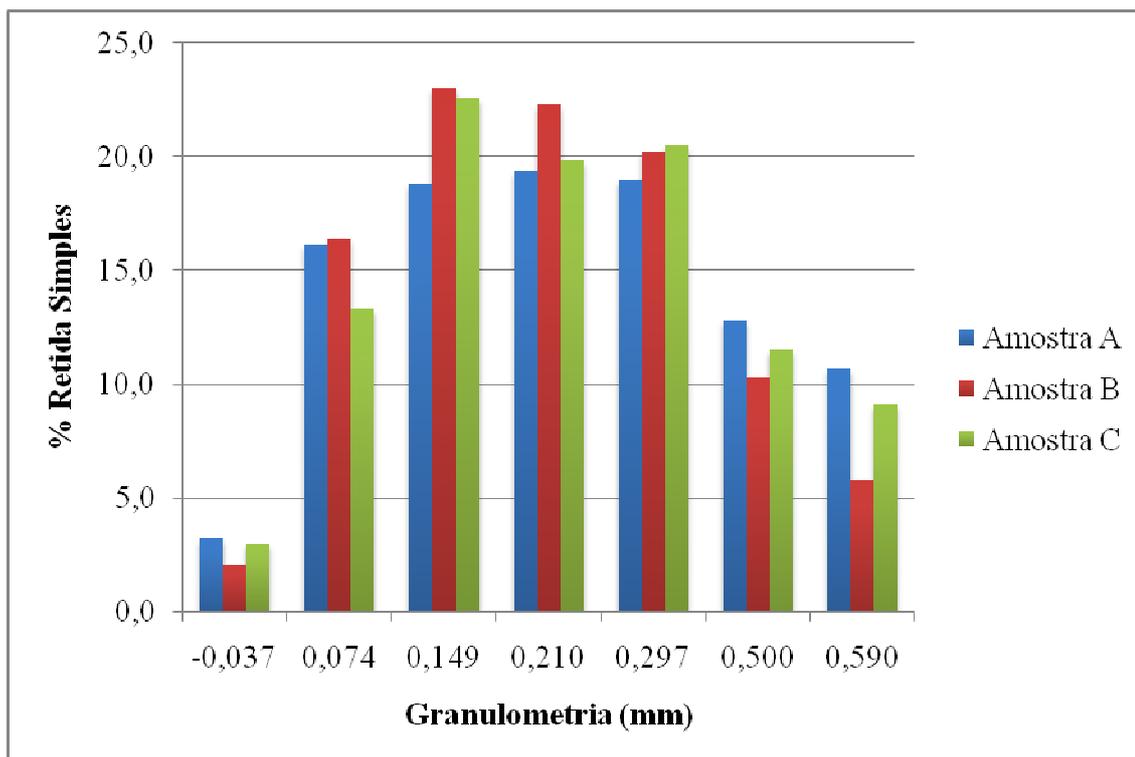


Figura 15 – Distribuição granulométrica do produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

As frações 0,297 e 0,210 mm desses ensaios de flotação para a amostra A apresentaram os teores exigidos de areia para fabricação de vidro: (SiO_2 : 98,57 %; Al_2O_3 : 1,169 %; Fe_2O_3 : 0,083; TiO_2 : 0,010 %; *P.P.C.*: 0,160 %) e (SiO_2 : 98,73 %; Al_2O_3 : 1,077 %; Fe_2O_3 : 0,079 %; TiO_2 : 0,018 %; *P.P.C.*: 0,090 %), respectivamente.

As frações 0,500, 0,297 e 0,210 mm desses ensaios de flotação para a amostra B também apresentaram todos os teores exigidos: (SiO_2 : 97,69 %; Al_2O_3 : 2,063 %; Fe_2O_3 : 0,054 %; MgO : 0,001 %; TiO_2 : 0,020 %; *P.P.C.*: 0,170 %); (SiO_2 : 98,76 %; Al_2O_3 : 1,144 %; Fe_2O_3 : 0,058 %; TiO_2 : 0,009 %; *P.P.C.*: 0,030 %) e (SiO_2 : 98,95 %; Al_2O_3 : 0,958 %; Fe_2O_3 : 0,077 %; TiO_2 : 0,012 %), respectivamente.

O ensaio de flotação da amostra da C apresentou os teores exigidos, com exceção dos teores de TiO_2 : (SiO_2 : 98,16 %; Al_2O_3 : 1,246 %; Fe_2O_3 : 0,126 %; MgO : 0,002 %; K_2O : 0,094 %; Na_2O : 0,026 %; *P.P.C.*: 0,250 %; TiO_2 : 0,091 %).

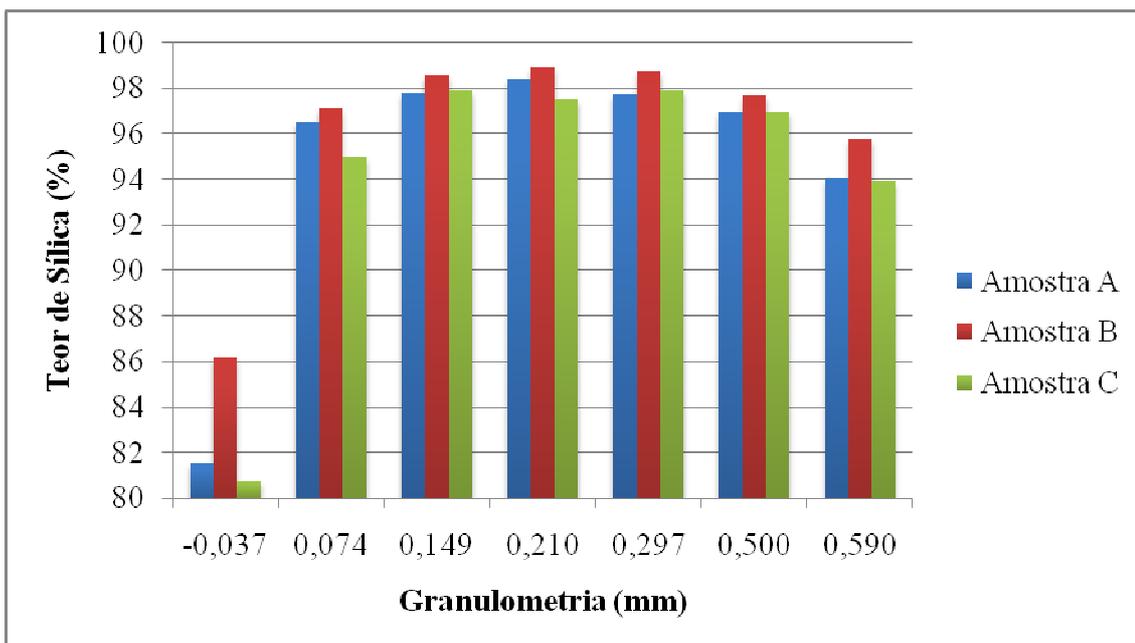


Figura 16 – Teor de sílica para as diferentes faixas na análise granulométrica do produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

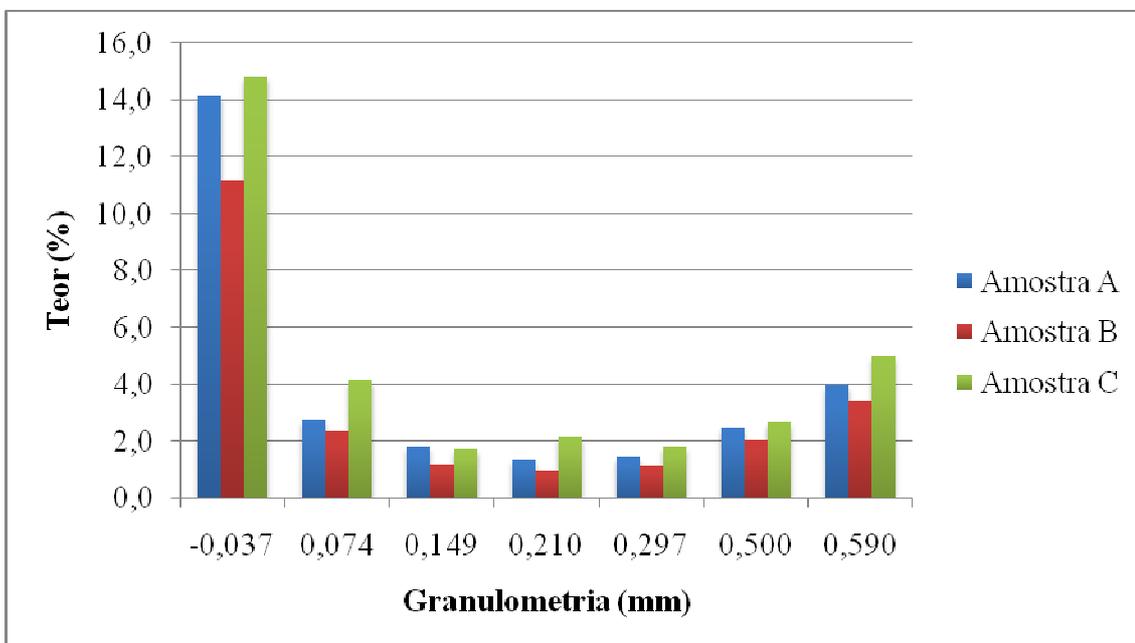


Figura 17 – Teores de Al_2O_3 nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

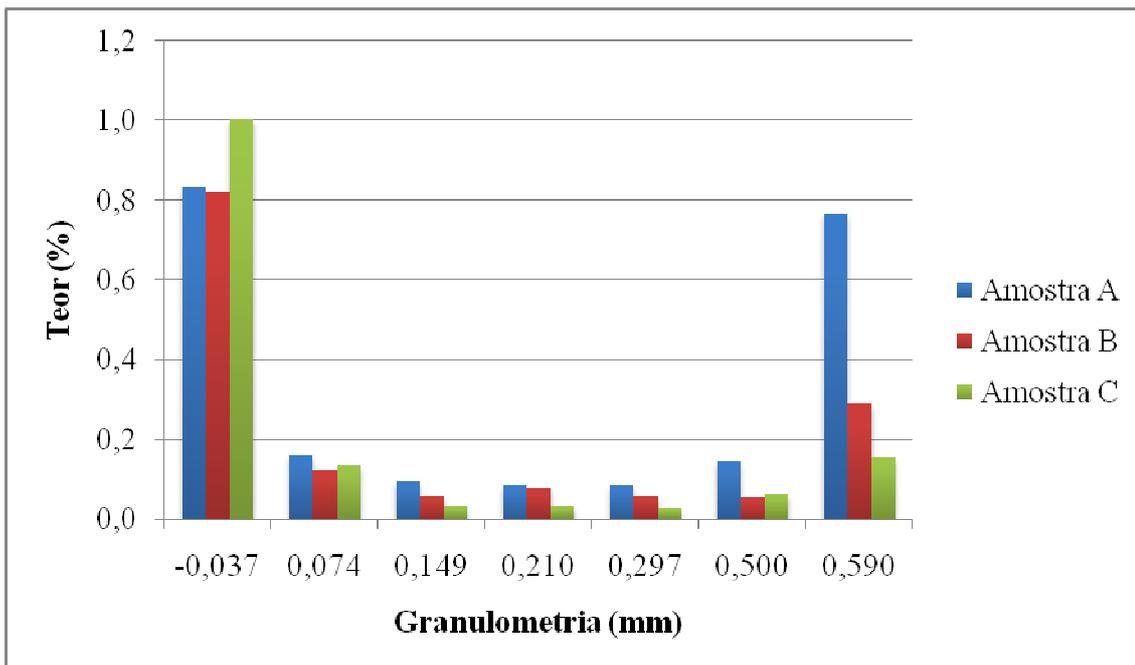


Figura 18 – Teores de Fe_2O_3 nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

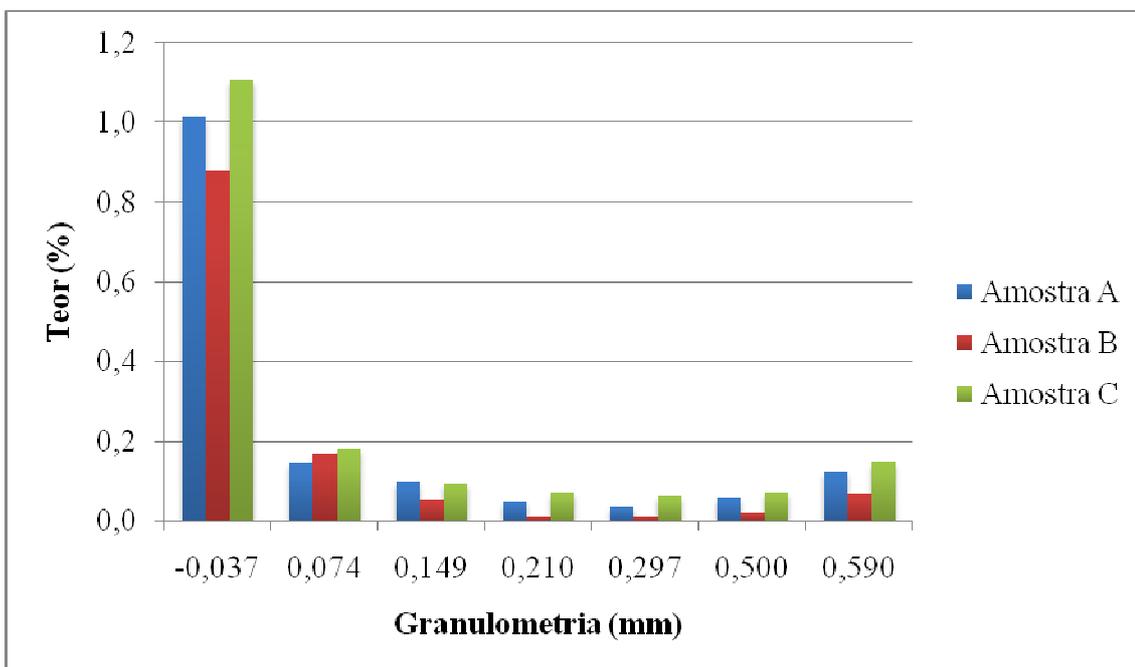


Figura 19 – Teores de TiO_2 nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

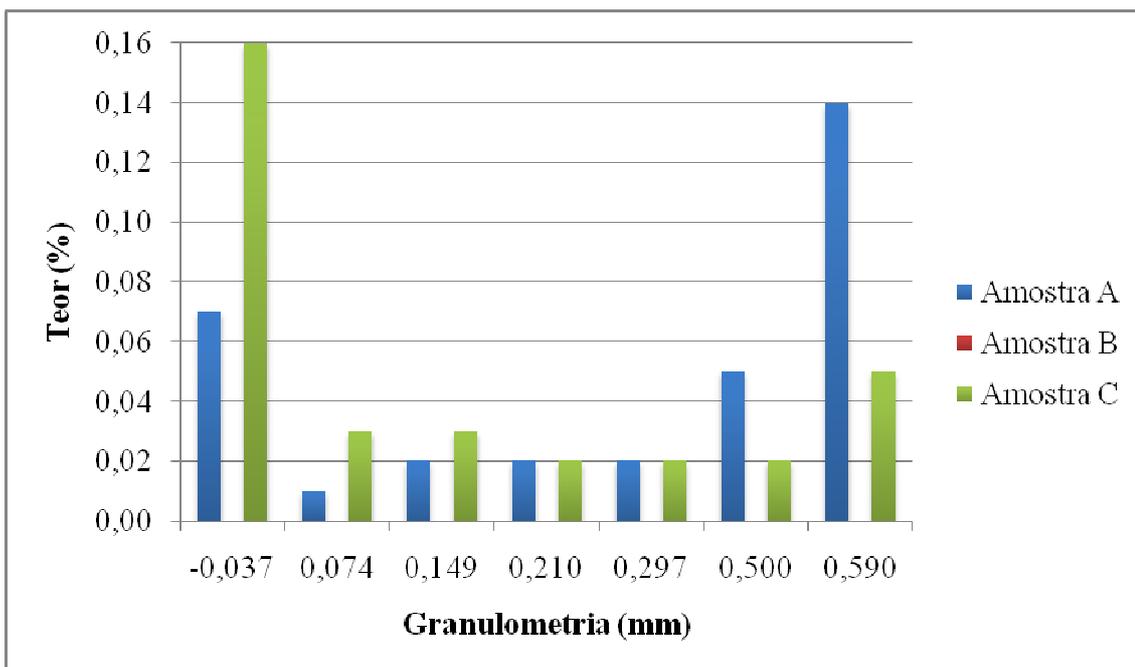


Figura 20 – Teores de CaO nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

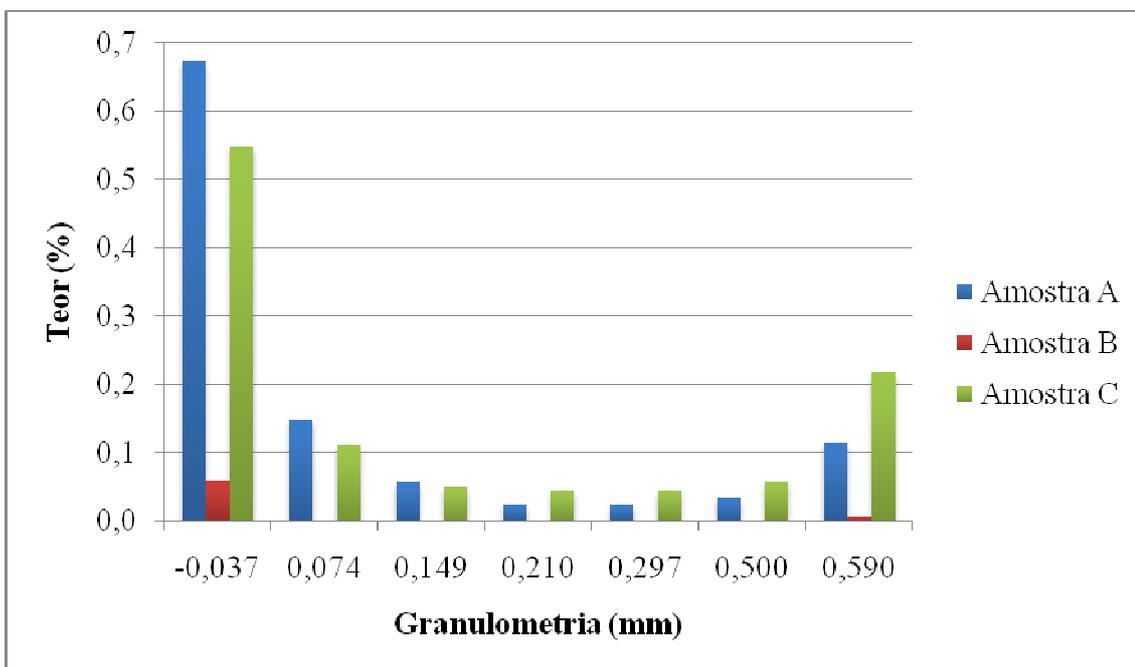


Figura 21 – Teores de K₂O nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

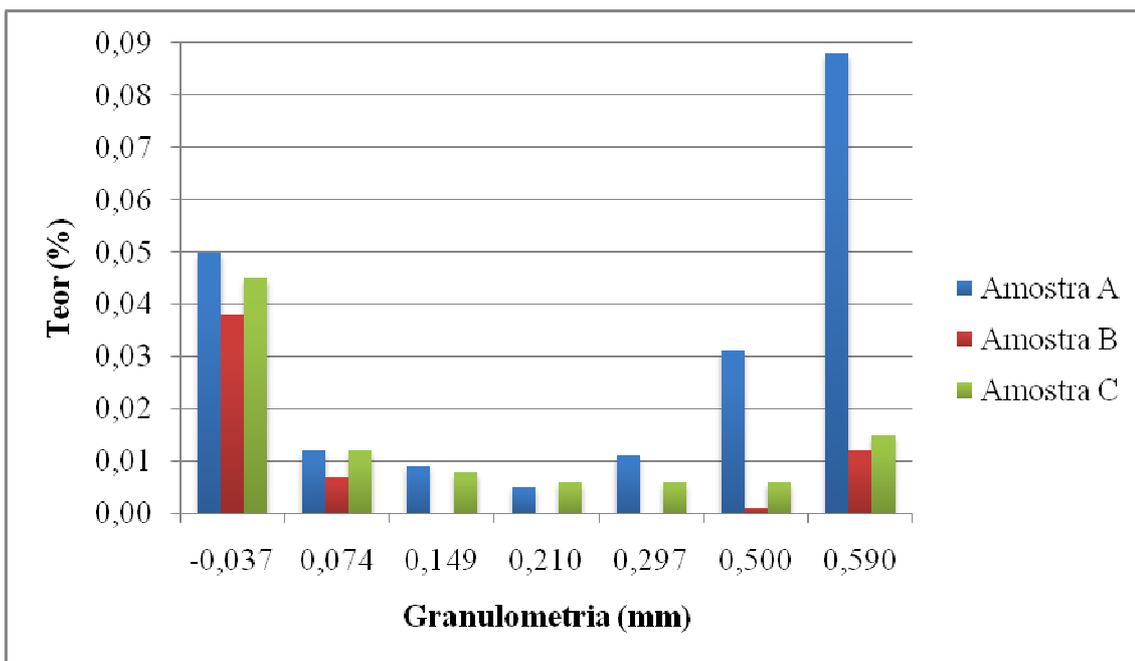


Figura 22 – Teores de MgO nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

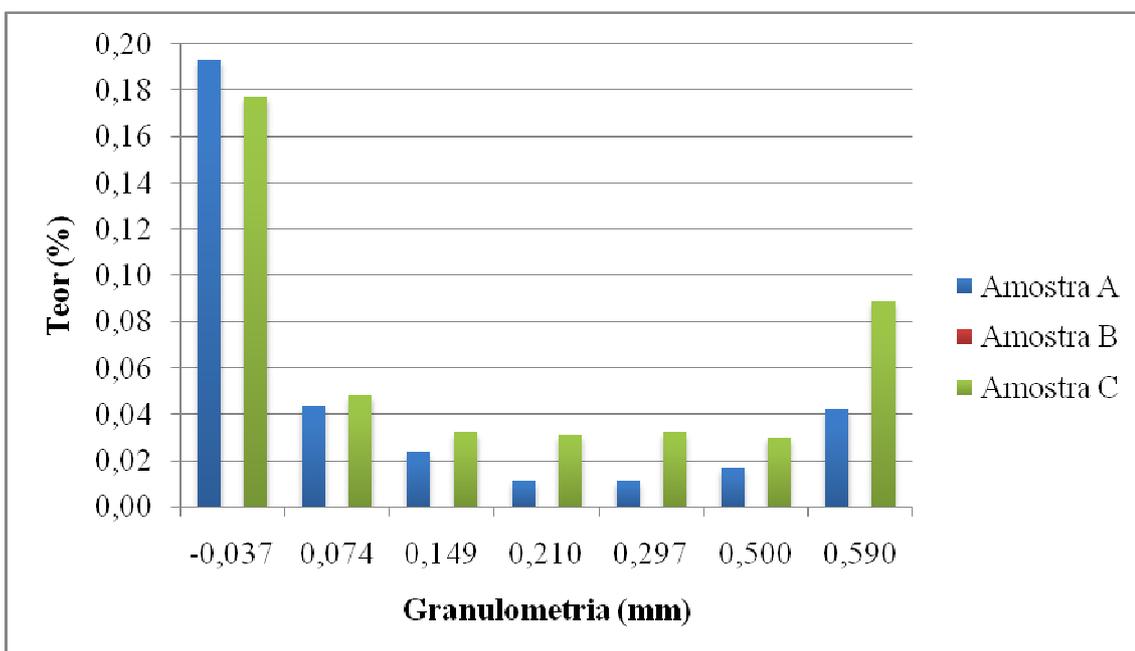


Figura 23 – Teores de Na₂O nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

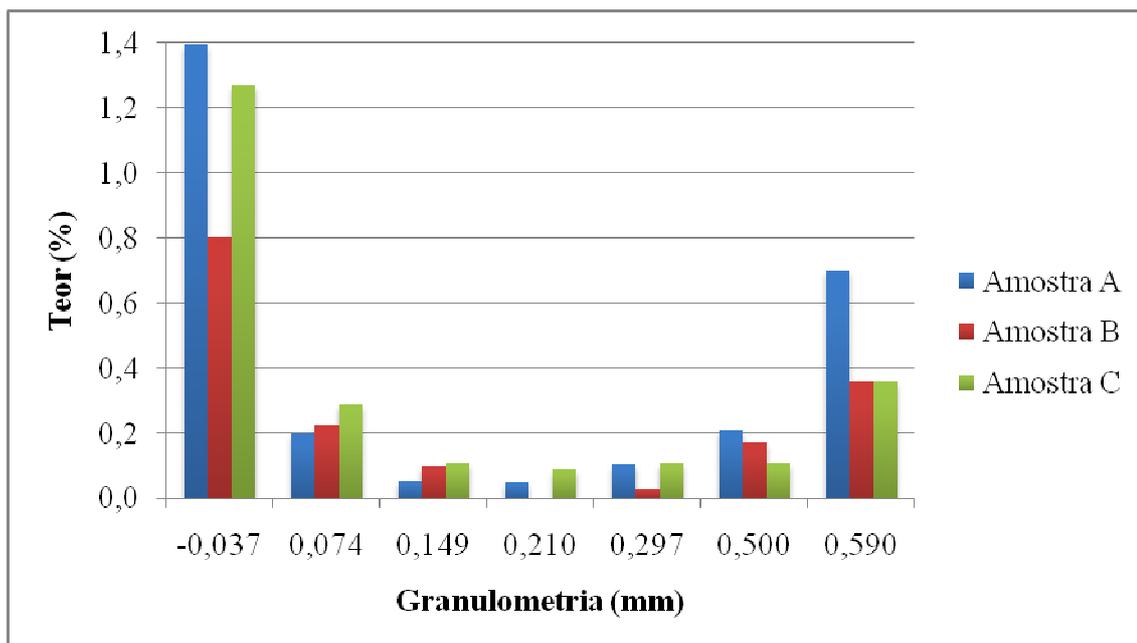


Figura 24 – P.P.C. (perda por calcinação) nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

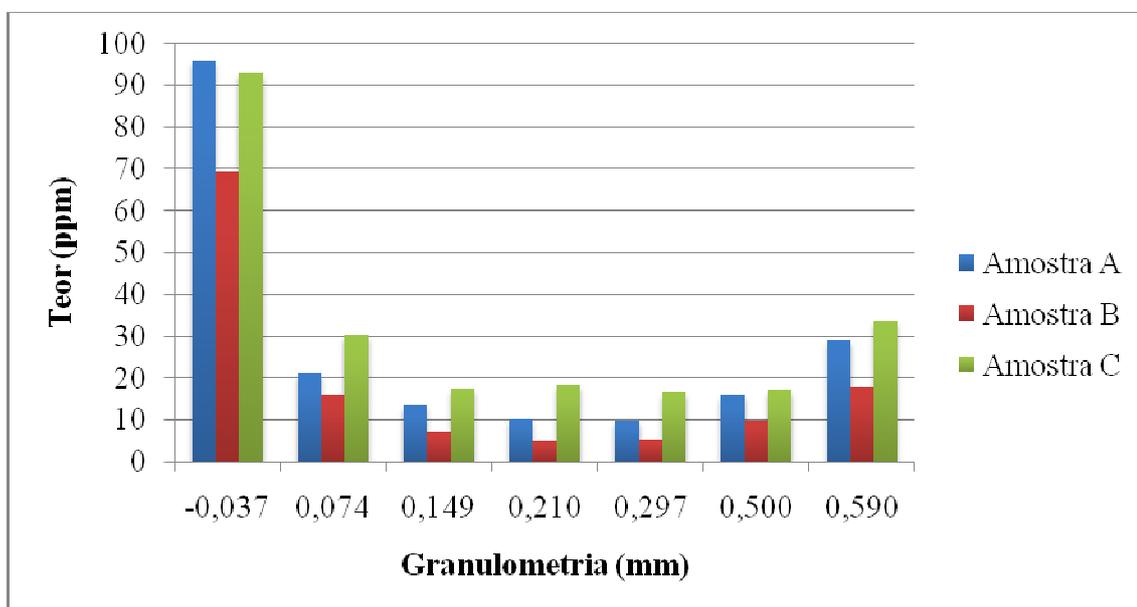


Figura 25 – Teores de Cr nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

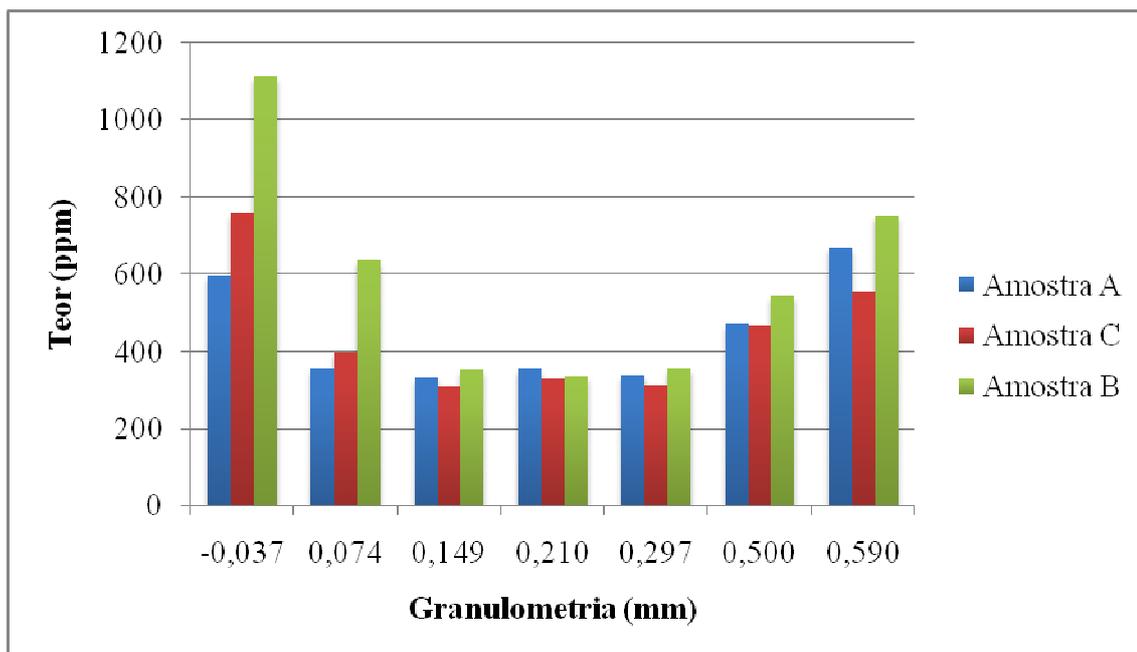


Figura 26 – Teores de Co nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

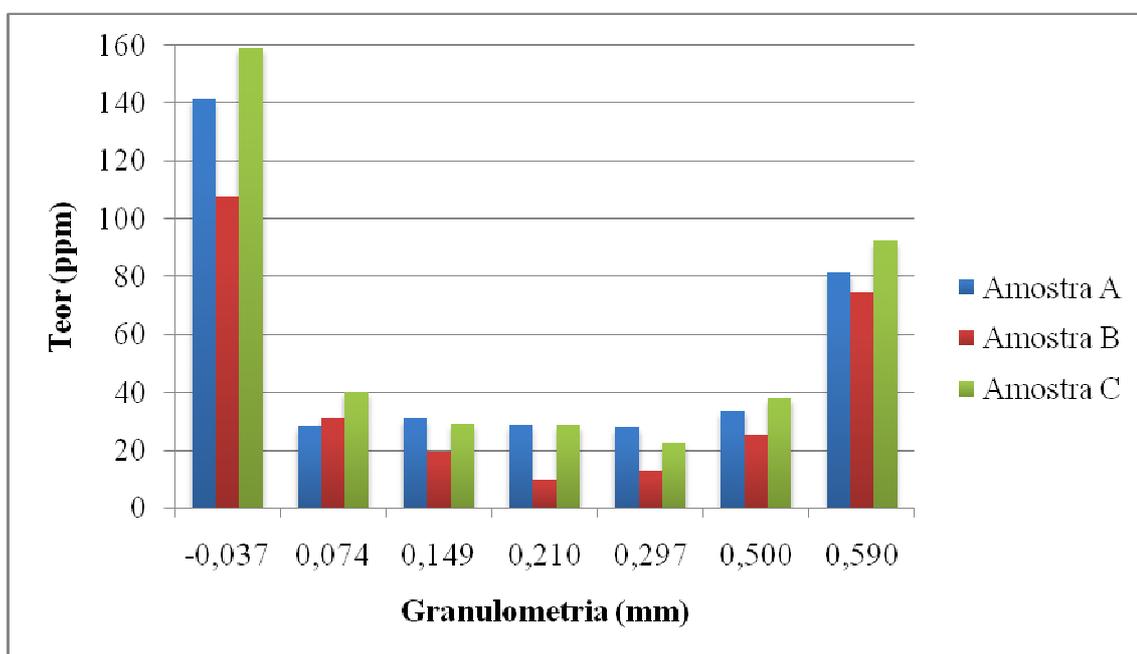


Figura 27 – Teores de P nas diferentes frações para o produto afundado dos ensaios de flotação das amostras A, B e C nas condições: 40 % de sólidos, 1200 RPM, 300 g/t de óleo de soja, pH natural e 5 min de condicionamento.

5.2 – Ensaio de flotação da amostra B (desmonte hidráulico)

5.2.1 – Influência da rotação da célula de flotação

Nas Figuras 28 a 31 está apresentada a influência da rotação da célula de flotação na recuperação em massa, nos teores de sílica e de impurezas nos concentrados obtidos na flotação da amostra B.

Os valores da recuperação em massa foram de 94,9 e 97,7 % para as rotações de 1000 e 1200 RPM, respectivamente. Já a rotação de 1400 RPM apresentou uma diminuição na recuperação em massa, que foi de 66,6 %. Os maiores teores de sílica foram encontrados para a rotação de 1000 RPM, como mostra a Figura 28, assim como os menores teores de Al_2O_3 (veja Figura 29). Os teores das demais impurezas também foram menores para a rotação de 1000 RPM, como pode ser observado nas Figuras 30 e 31.

Os três ensaios de flotação apresentaram as especificações exigidas da areia para fabricação de vidro, com exceção dos teores de TiO_2 .

Para a rotação da célula de 1000 RPM os teores foram: (SiO_2 : 98,70 %; Al_2O_3 : 0,932 %; Fe_2O_3 : 0,110 %; *P.P.C.*: 0,180 %; TiO_2 : 0,074 %). A rotação de 1200 RPM apresentou os valores (SiO_2 : 98,20 %; Al_2O_3 : 1,27 %; Fe_2O_3 : 0,084 %; MgO : 0,004 %; K_2O : 0,059 %; Na_2O : 0,020 %; *P.P.C.*: 0,225 %; TiO_2 : 0,105 %) e a rotação de 1400 RPM (teste 2): (SiO_2 : 98,69 %; Al_2O_3 : 0,870 %; Fe_2O_3 : 0,079 %; *P.P.C.*: 0,280 %; TiO_2 : 0,076 %).

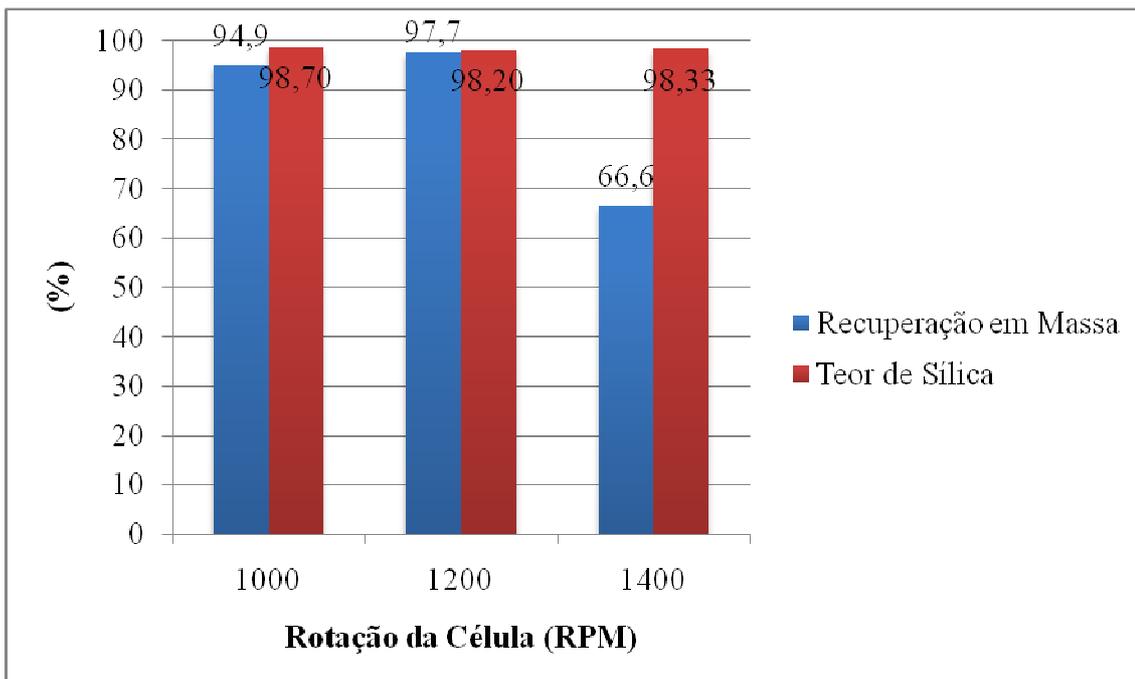


Figura 28 – Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos e 5 min de condicionamento.

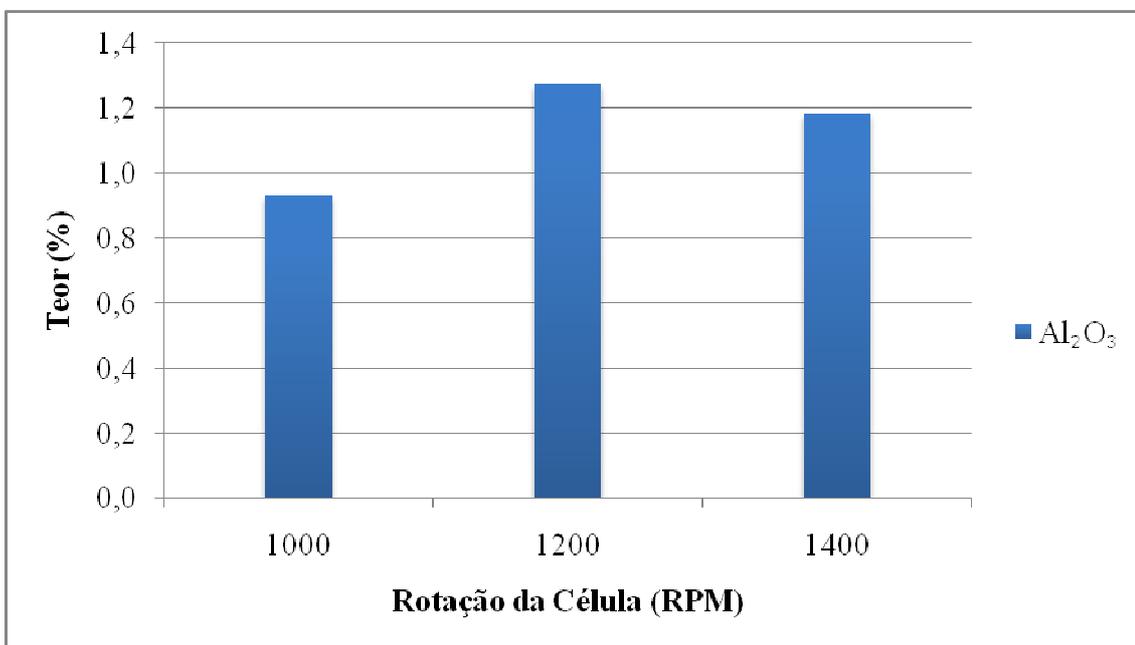


Figura 29 – Teores de Al₂O₃ no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 5 min de condicionamento.

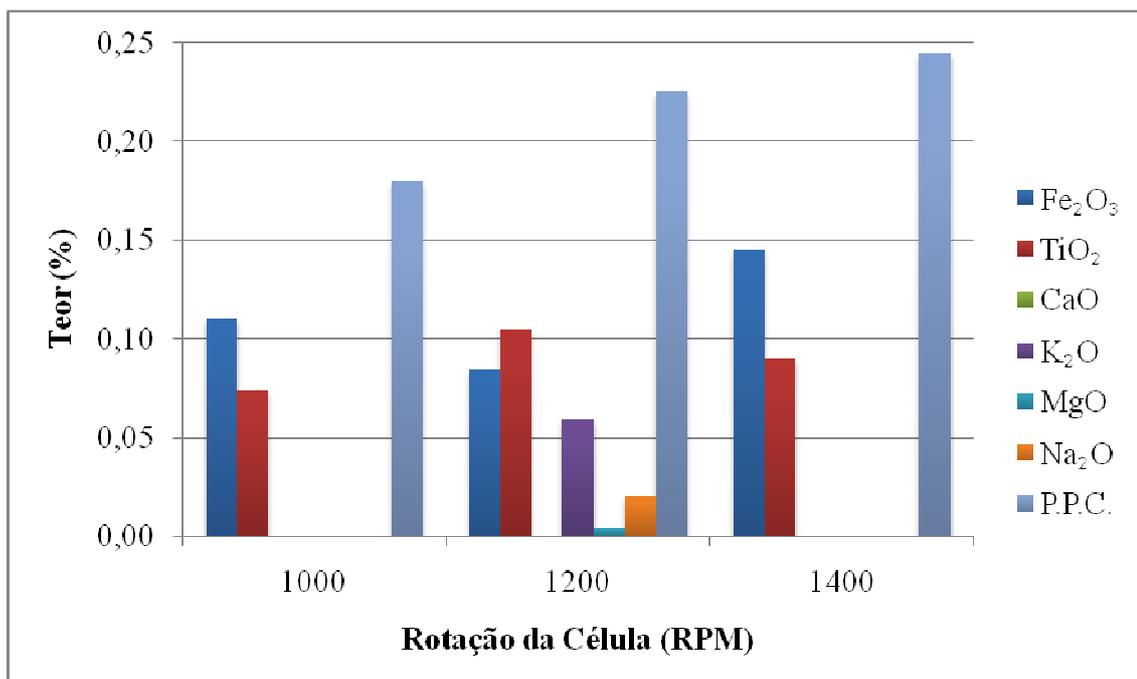


Figura 30 – Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 5 min de condicionamento.

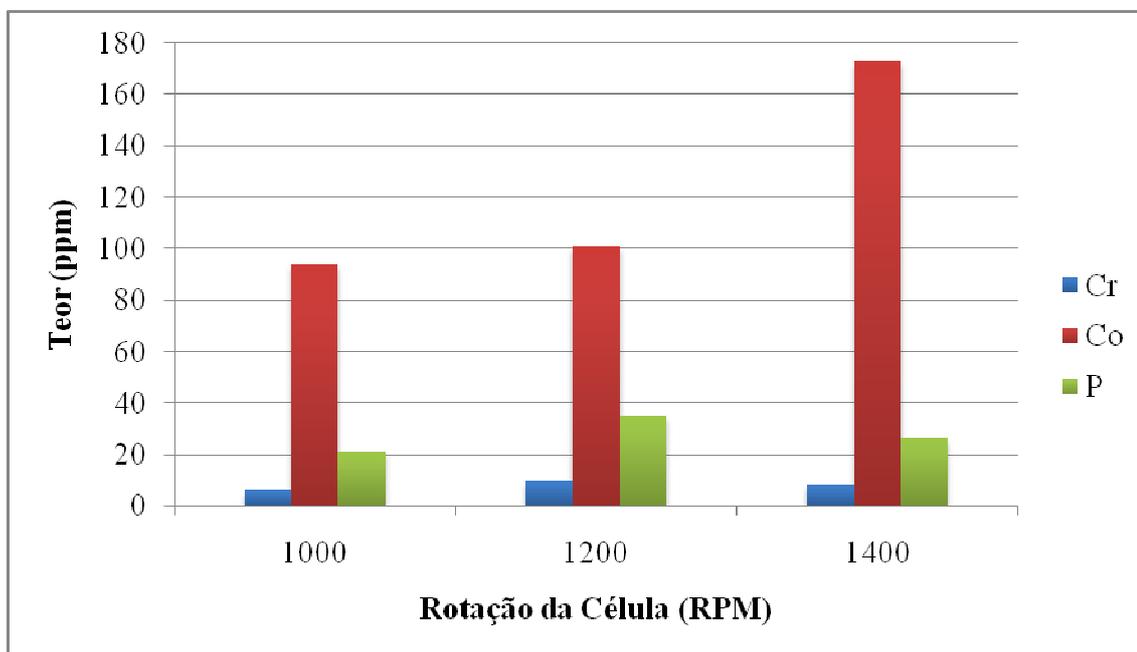


Figura 31 – Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 5 min de condicionamento.

5.2.2 – Influência do tempo de condicionamento com coletor

Nas Figuras 32 a 35 está apresentada a influência do tempo de condicionamento com o coletor óleo de soja na recuperação em massa, nos teores de sílica e de impurezas nos concentrados obtidos na flotação da amostra B.

Os tempos de condicionamento de 5 e 7 minutos apresentaram os valores de recuperação em massa de 97,7 e 90,9 %, respectivamente. Já o tempo de condicionamento de 3 minutos apresentou uma considerável diminuição na recuperação em massa, que foi de 76,7 %.

Os teores de sílica para os três tempos de condicionamento apresentaram valores próximos, sendo o maior valor alcançado para o tempo de condicionamento de 7 minutos, de 98,98 %, como pode ser visto na Figura 32, sendo este o maior teor de sílica alcançado em todos os ensaios de flotação. O tempo de condicionamento de 7 minutos também foi o que resultou em menores teores de impurezas de Al_2O_3 , como visto na Figura 33. O teores para as demais impurezas também foram menores para este tempo de condicionamento (Figuras 34 e 35).

Os três ensaios de flotação apresentaram as especificações exigidas da areia para fabricação de vidro, com exceção dos teores de TiO_2 . Para o tempo de condicionamento de 3 minutos: (SiO_2 : 98,54 %; Al_2O_3 : 0,955 %; Fe_2O_3 : 0,092 %; K_2O : 0,030 %; *P.P.C.*: 0,295 %; TiO_2 : 0,080 %); 5 minutos de condicionamento: (SiO_2 : 98,20 %; Al_2O_3 : 1,27 %; Fe_2O_3 : 0,084 %; MgO : 0,004 %; K_2O : 0,059 %; Na_2O : 0,020 %; *P.P.C.*: 0,225 %; TiO_2 : 0,105 %) e para o tempo de 7 minutos: (SiO_2 : 98,98 %; Al_2O_3 : 0,755 %; Fe_2O_3 : 0,074 %; *P.P.C.*: 0,125 %; TiO_2 : 0,060 %).

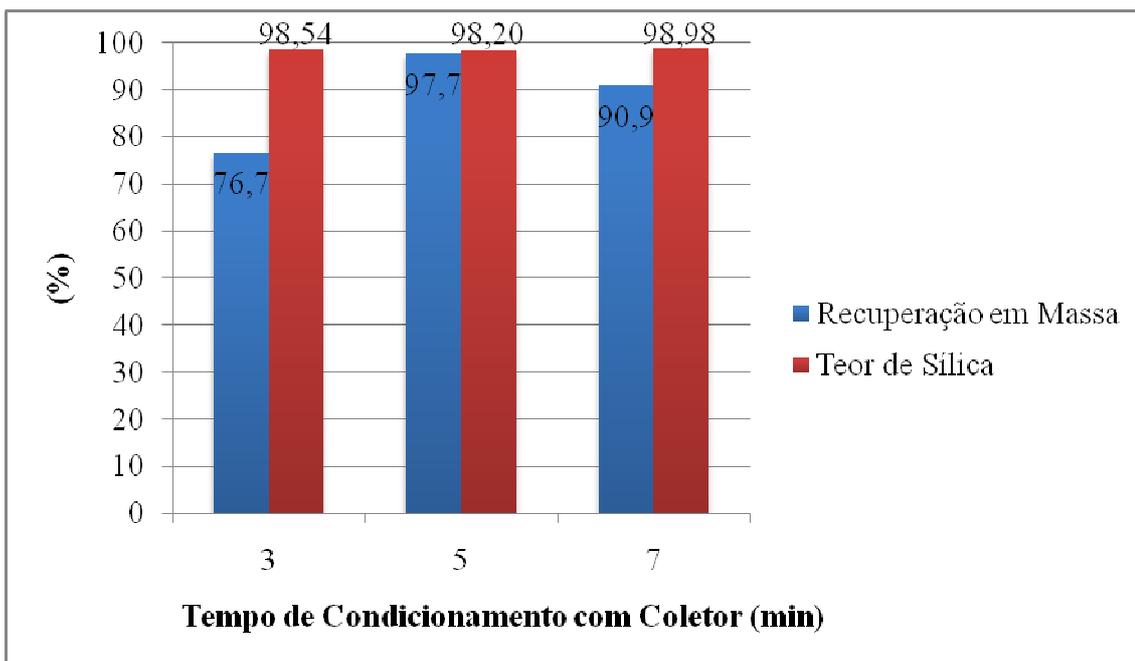


Figura 32 – Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 1300 RPM (3 e 7 min) e 1200 RPM (5 min).

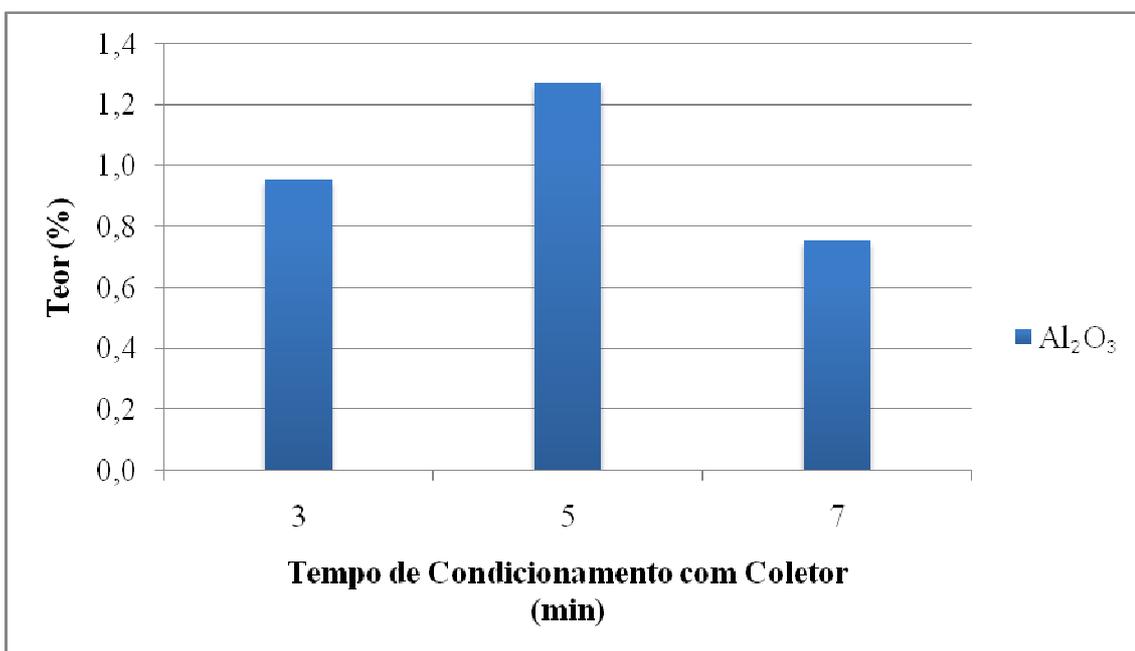


Figura 33 – Teores de Al₂O₃ no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 1300 RPM (3 e 7 min) e 1200 RPM (5 min).

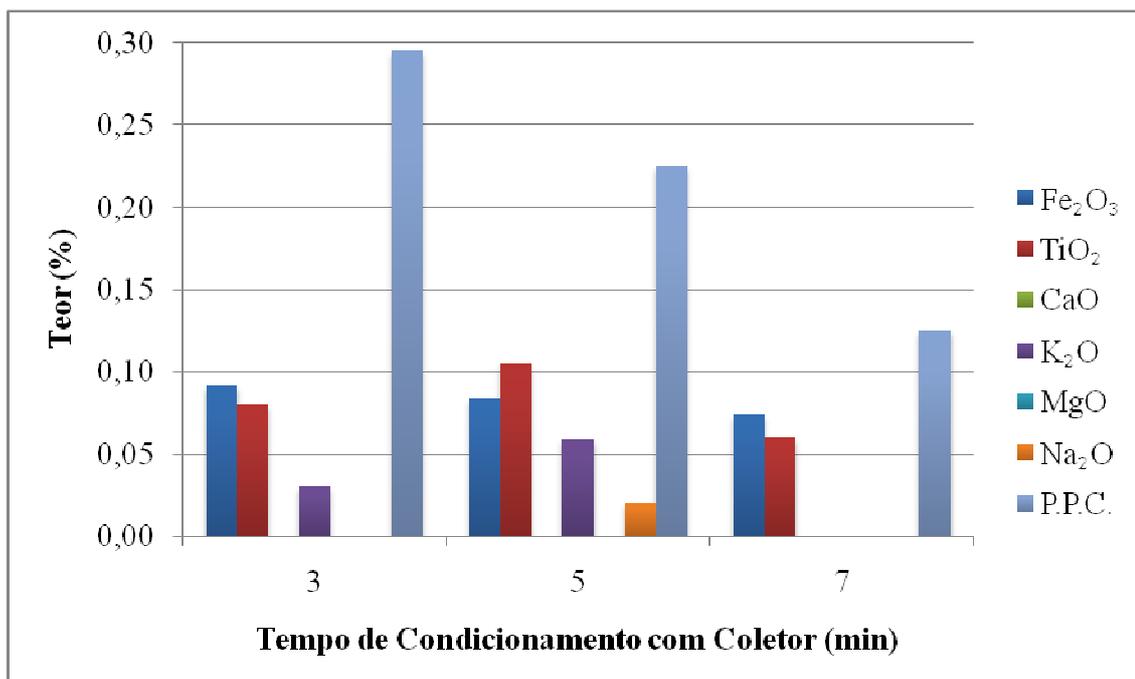


Figura 34 – Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 1300 RPM (3 e 7 min) e 1200 RPM (5 min).

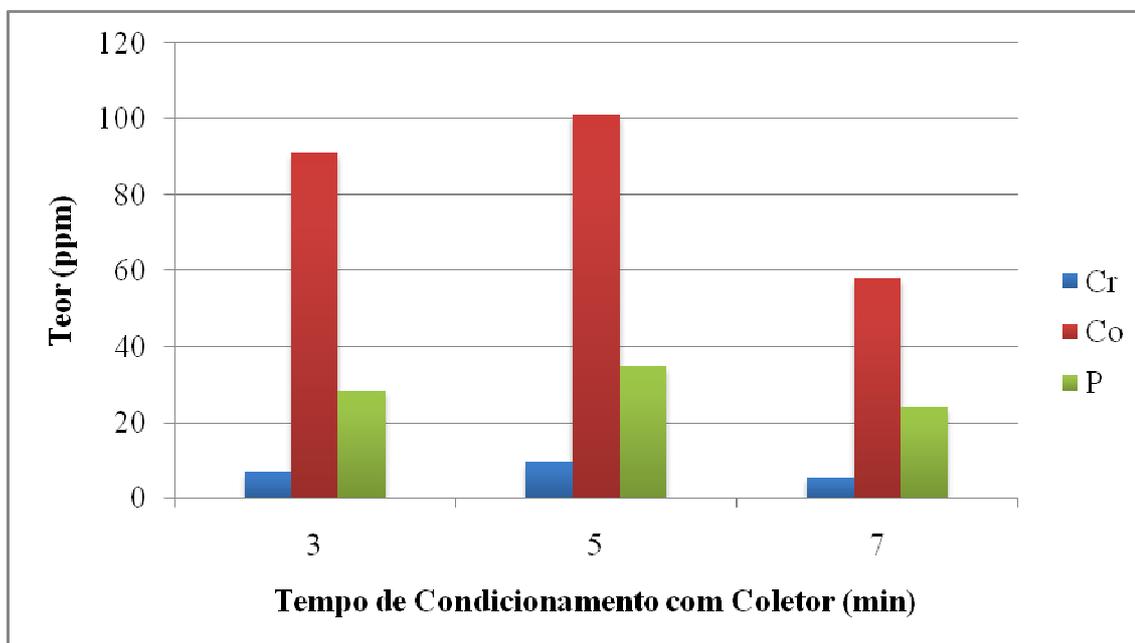


Figura 35 – Teores de impurezas no concentrado no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 40 % de sólidos e 1300 RPM (3 e 7 min) e 1200 RPM (5 min).

5.2.3 – Influência da realização da etapa de atrição

Nas Figuras 36 a 39 está apresentada a influência realização da etapa preliminar de atrição na recuperação em massa, nos teores de sílica e de impurezas nos concentrados obtidos na flotação da amostra B.

A atrição prévia, como pode ser visto na Figura 36, apresentou uma pequena diminuição no teor de sílica, de 98,20 para 98,06 %. Os valores de recuperação em massa também apresentaram uma pequena diminuição. Além disso, como visto na Figura 37, os teores de Al_2O_3 sofreram um pequeno aumento mas, apesar disso, essa etapa promoveu uma maior diminuição nos teores de outras impurezas, de mais difícil remoção, com exceção de CaO , como mostram as Figuras 38 e 39.

Ambos os ensaios apresentaram os teores de exigidos de areia para fabricação de vidro, com exceção dos teores de TiO_2 . Para o ensaio com atrição, os resultados foram: (SiO_2 : 98,06 %; Al_2O_3 : 1,580 %; Fe_2O_3 : 0,080 %; CaO : 0,01 %; MgO : 0,003 %; K_2O : 0,056 %; Na_2O : 0,018 %; $P.P.C.$: 0,105 %; TiO_2 : 0,080 %).

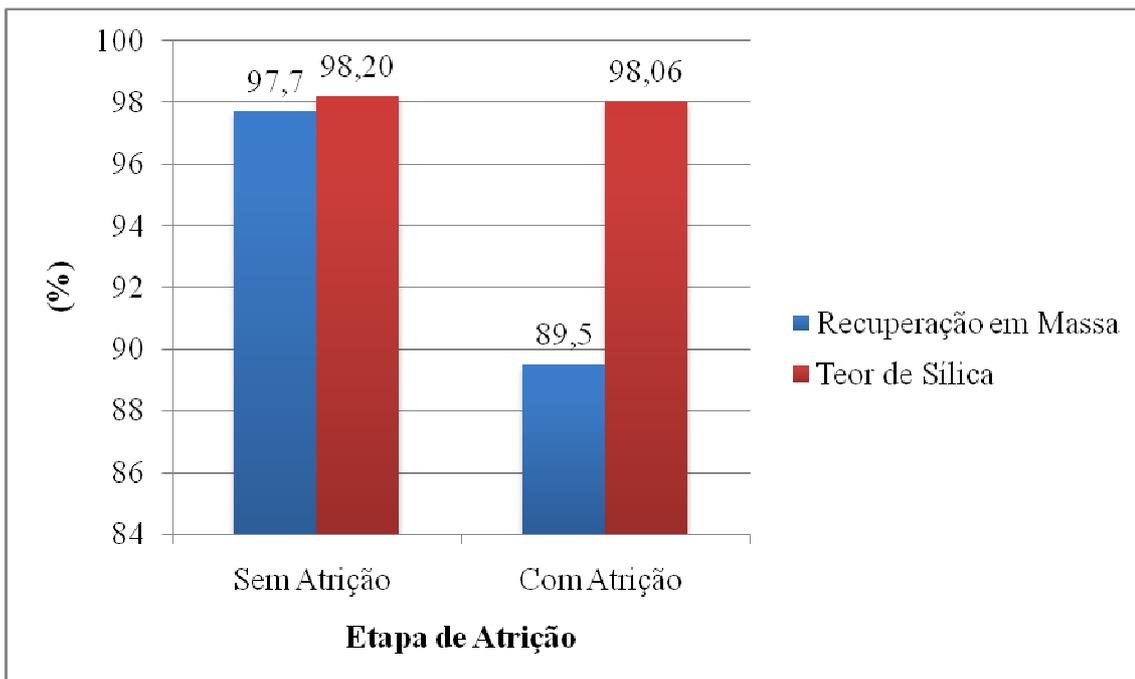


Figura 36 – Recuperação em massa e teor de sílica do concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 5 min de condicionamento, 1200 RPM e 40 % de sólidos.

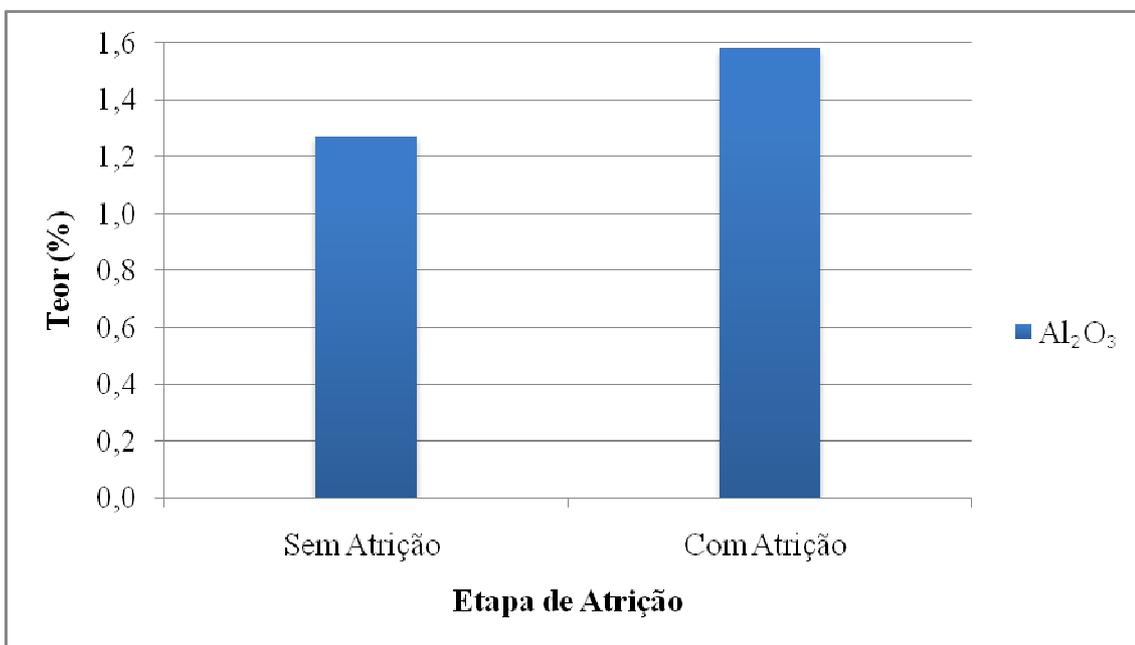


Figura 37 – Teores de Al₂O₃ no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 5 min de condicionamento, 1200 RPM e 40 % de sólidos.

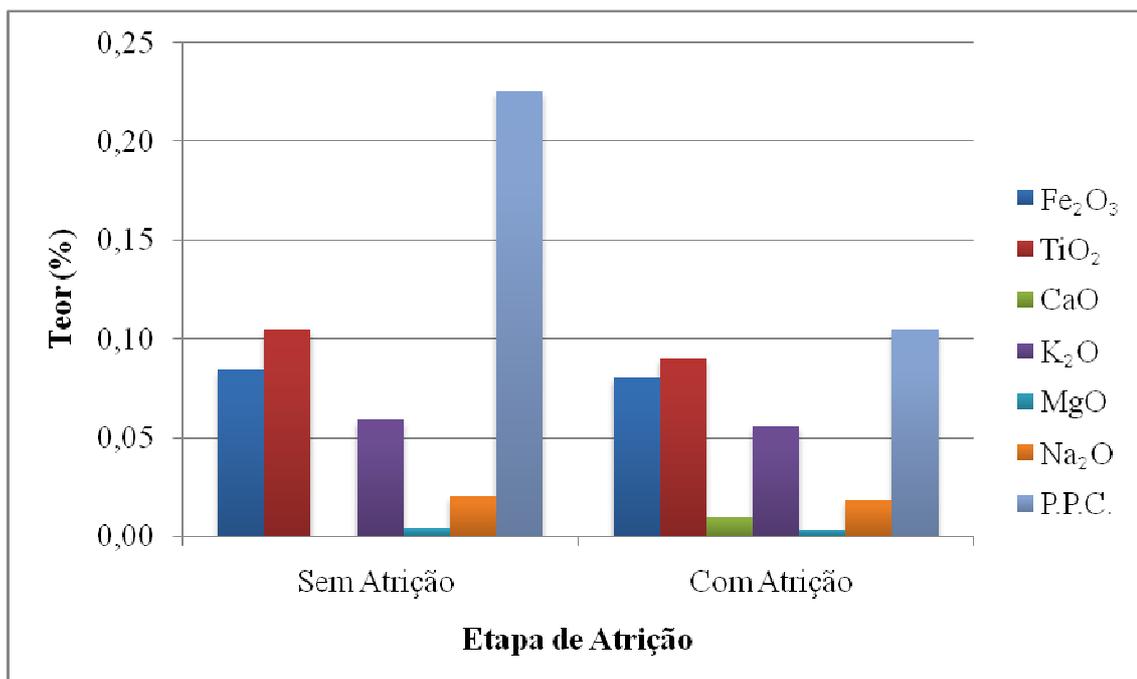


Figura 38 – Teores de outras impurezas (teores maiores) no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 5 min de condicionamento, 1200 RPM e 40 % de sólidos.

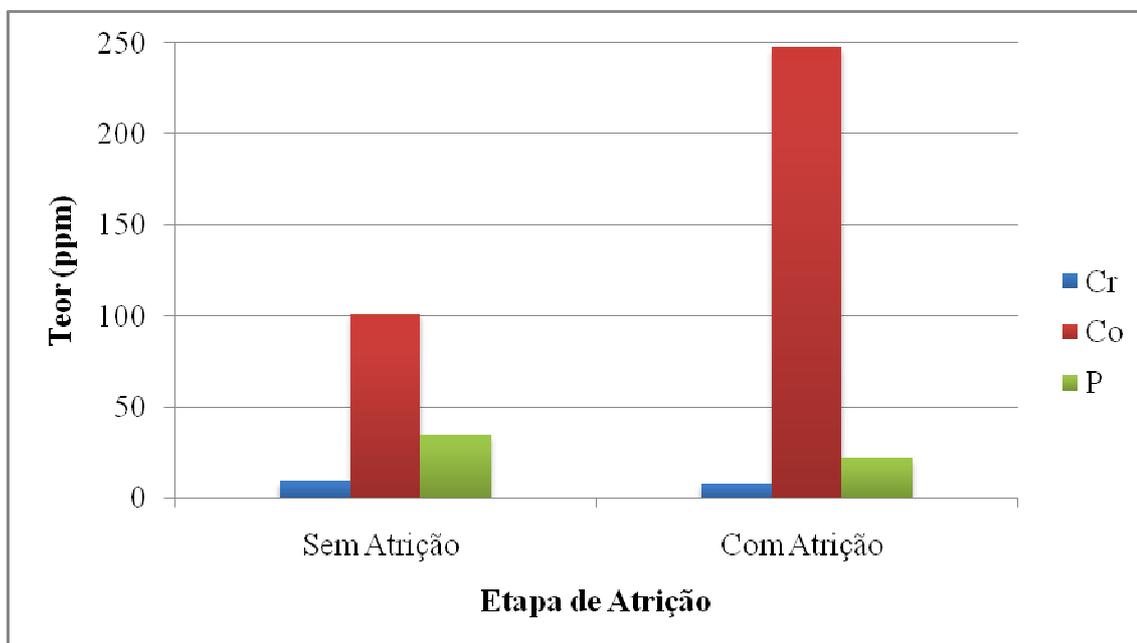


Figura 39 – Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 5 min de condicionamento, 1200 RPM e 40 % de sólidos.

5.2.4 – Influência da porcentagem de sólidos

Nas Figuras 40 a 43 está apresentada a influência da porcentagem de sólidos na recuperação em massa, nos teores de sílica e de impurezas nos concentrados obtidos na flotação da amostra B.

Como pode ser observado na Figura 40, as três porcentagens de sólidos estudadas apresentaram valores de recuperação em massa bastante próximos, sendo a porcentagem de 30 % a que apresentou o menor valor, que foi de 89,5 %. Os teores de sílica para as porcentagens de sólidos de 30 e 40 % ficaram acima dos 98,0 %, ao passo que a porcentagem de 50 % apresentou um menor teor de sílica.

Os menores teores de impurezas de mais difícil remoção (Figura 42), como TiO_2 , por exemplo, foram alcançados para a dosagem de 30 % de sólidos, apesar dos teores de Al_2O_3 terem sido ligeiramente maiores nessa porcentagem empregada (Figura 41). As demais impurezas alcançaram valores próximos para as porcentagens de 30 e 40 %, sendo a porcentagem de 50 % a que apresentou uma menor diminuição dessas impurezas no concentrado.

Os ensaios para as porcentagens de sólidos de 30 % e 40 % apresentaram os teores exigidos de areia para fabricação de vidro, com exceção dos teores de TiO_2 : (SiO_2 : 98,06 %; Al_2O_3 : 1,580 %; Fe_2O_3 : 0,080 %; CaO : 0,01 %; MgO : 0,003 %; K_2O : 0,056 %; Na_2O : 0,018 %; $P.P.C.$: 0,105 %; TiO_2 : 0,080 %) para 30 % de sólidos e (SiO_2 : 98,98 %; Al_2O_3 : 0,755 %; Fe_2O_3 : 0,074 %; $P.P.C.$: 0,125 %; TiO_2 : 0,060 %) para a porcentagem de sólidos de 40 %.

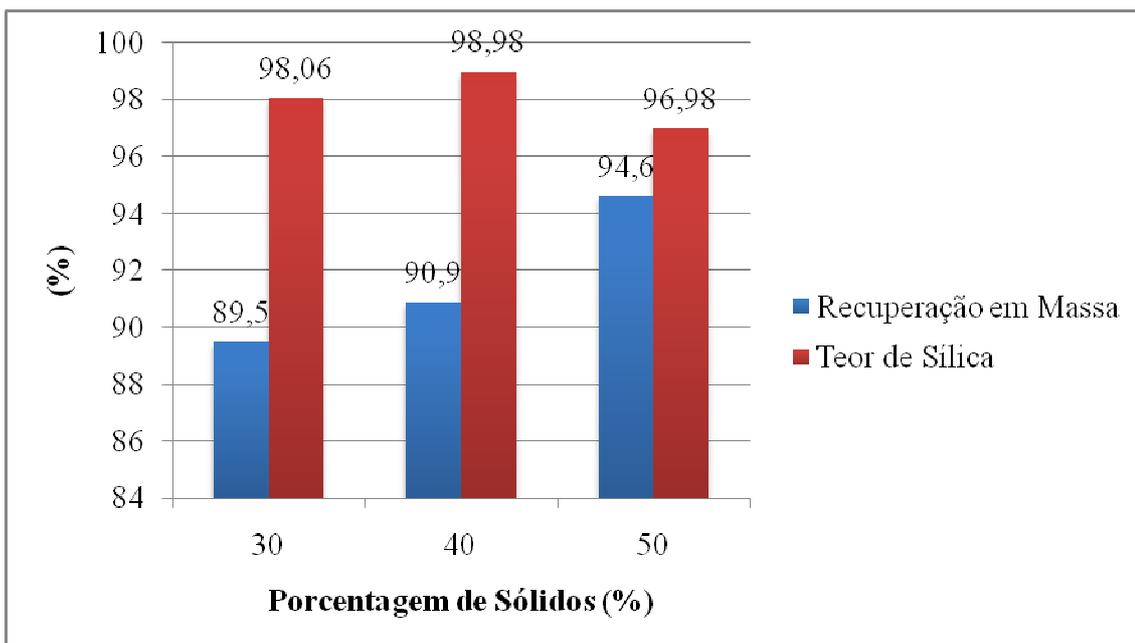


Figura 40 – Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, 7 min de condicionamento, pH natural com atrição e 1000 RPM (30 e 50 %) e 1300 RPM (40 %).

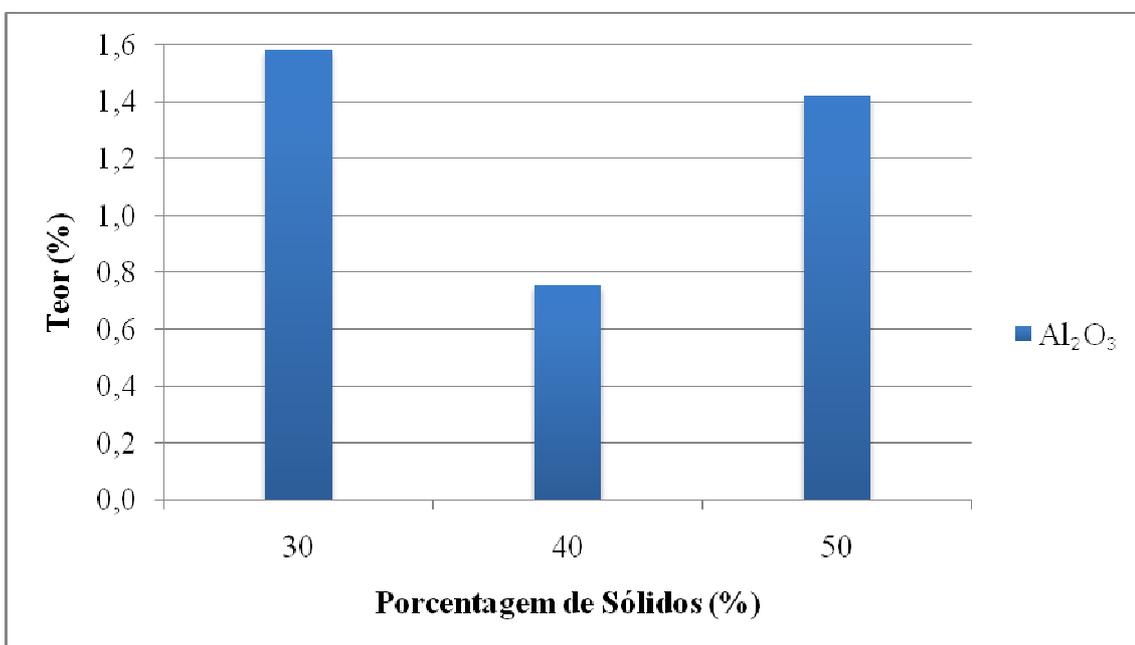


Figura 41 – Teores de Al₂O₃ no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, 7 min de condicionamento, pH natural com atrição e 1000 RPM (30 e 50 %) e 1300 RPM (40 %).

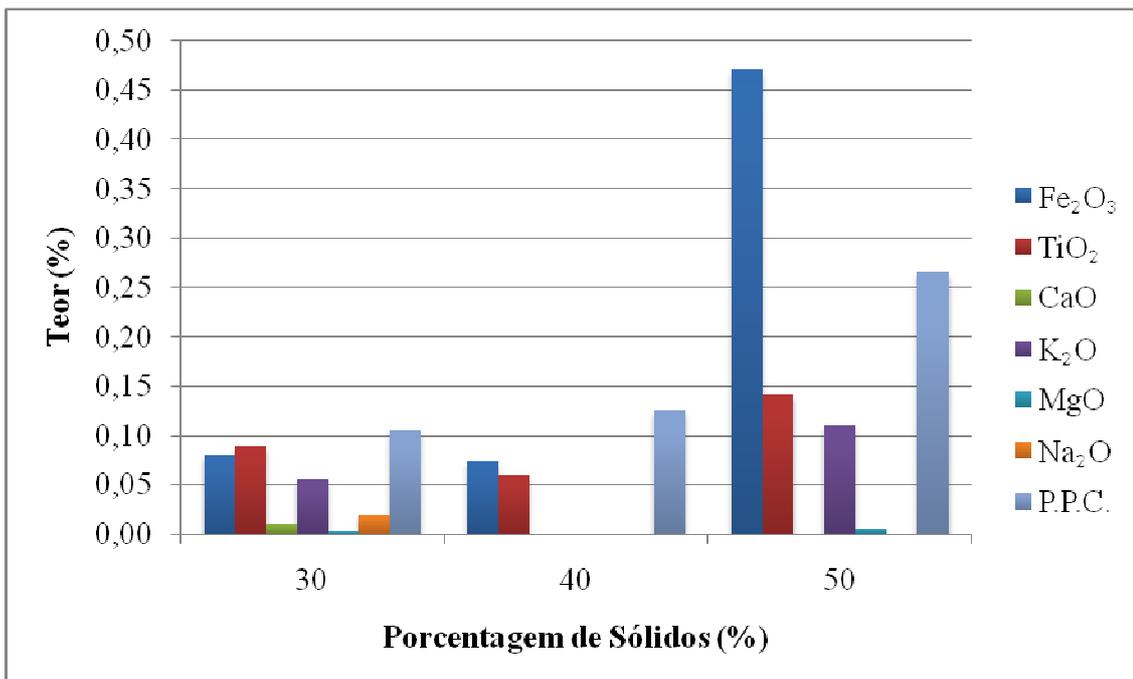


Figura 42 – Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, 7 min de condicionamento, pH natural com atrição e 1000 RPM (30 e 50 %) e 1300 RPM (40 %).

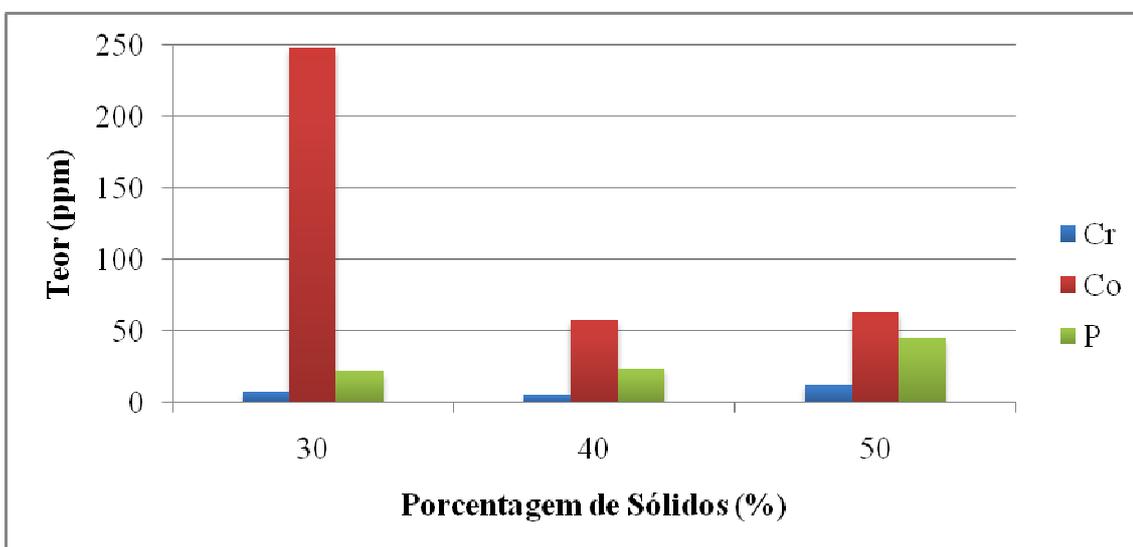


Figura 43 – Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, 7 min de condicionamento, pH natural com atrição e 1000 RPM (30 e 50 %) e 1300 RPM (40 %).

5.2.5 – Influência da dosagem de coletor óleo de soja

Nas Figuras 44 a 47 está apresentada a influência da dosagem do coletor óleo de soja na recuperação em massa, nos teores de sílica e de impurezas nos concentrados obtidos na flotação da amostra B.

A dosagem de 75 g/t foi testada, mas esta não foi suficiente para promover a flotação. A dosagem de 150 g/t resultou em uma diminuição na recuperação em massa. A maior dosagem de coletor (500 g/t) não resultou em grande diminuição nos teores de impurezas, bem como no aumento no teor de sílica. Os maiores teores de sílica foram alcançados com a dosagem de 300 g/t de coletor, como pode ser observado na Figura 44. A dosagem de 300 g/t também foi a que apresentou os melhores resultados com relação aos teores de Al_2O_3 e demais impurezas, ou seja, menores teores no concentrado, como pode ser visto nas Figuras 45 a 47.

Os ensaios realizados com a dosagem de 300 g/t apresentaram as especificações exigidas de areia para fabricação de vidro, com exceção dos teores de TiO_2 : (SiO_2 : 98,06 %; Al_2O_3 : 1,580 %; Fe_2O_3 : 0,080 %; CaO : 0,01 %; MgO : 0,003 %; K_2O : 0,056 %; Na_2O : 0,018 %; $P.P.C.$: 0,105 %; TiO_2 : 0,080 %).

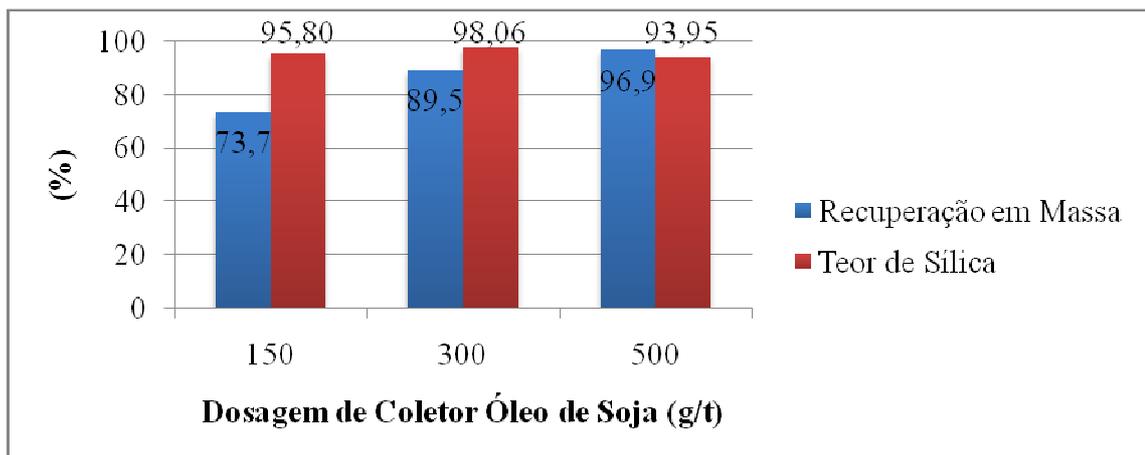


Figura 44 – Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 7 min de condicionamento, 1000 RPM, 40 % de sólidos e pH natural com atrição.

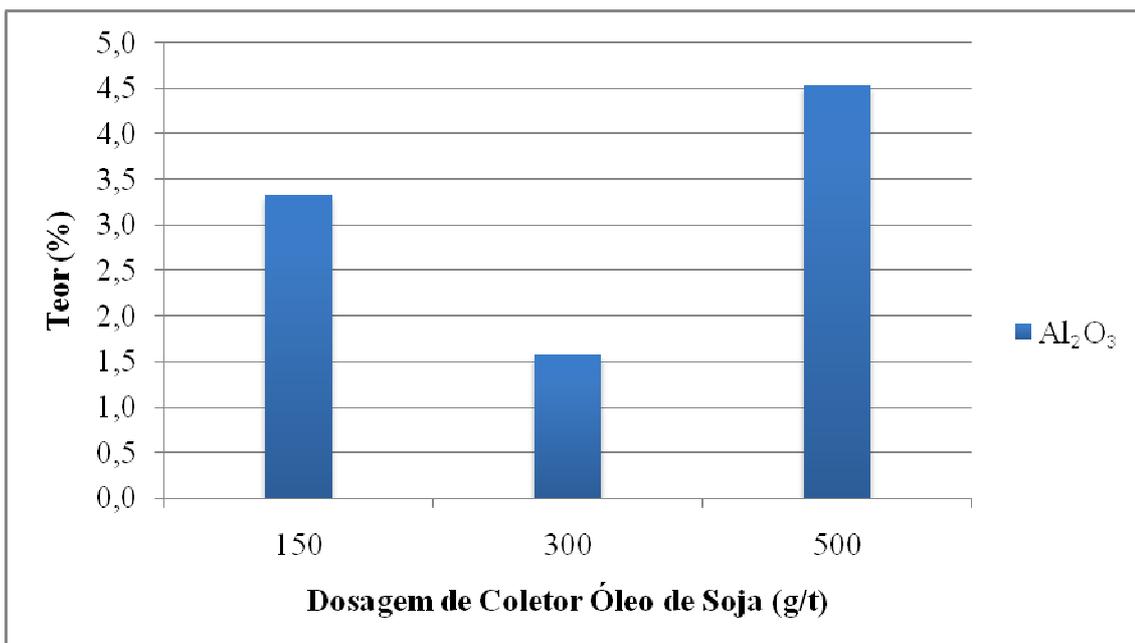


Figura 45 – Teores de Al_2O_3 no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 7 min de condicionamento, 1000 RPM, 40 % de sólidos e pH natural com atrição.

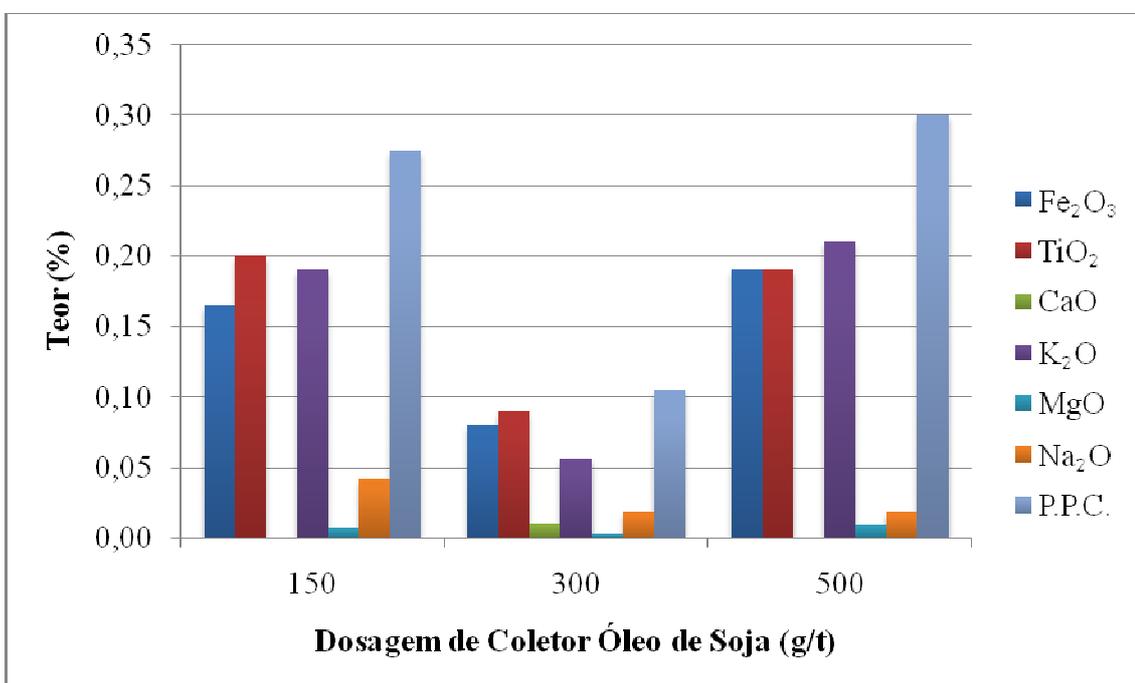


Figura 46 – Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 7 min de condicionamento, 1000 RPM, 40 % de sólidos e pH natural com atrição.

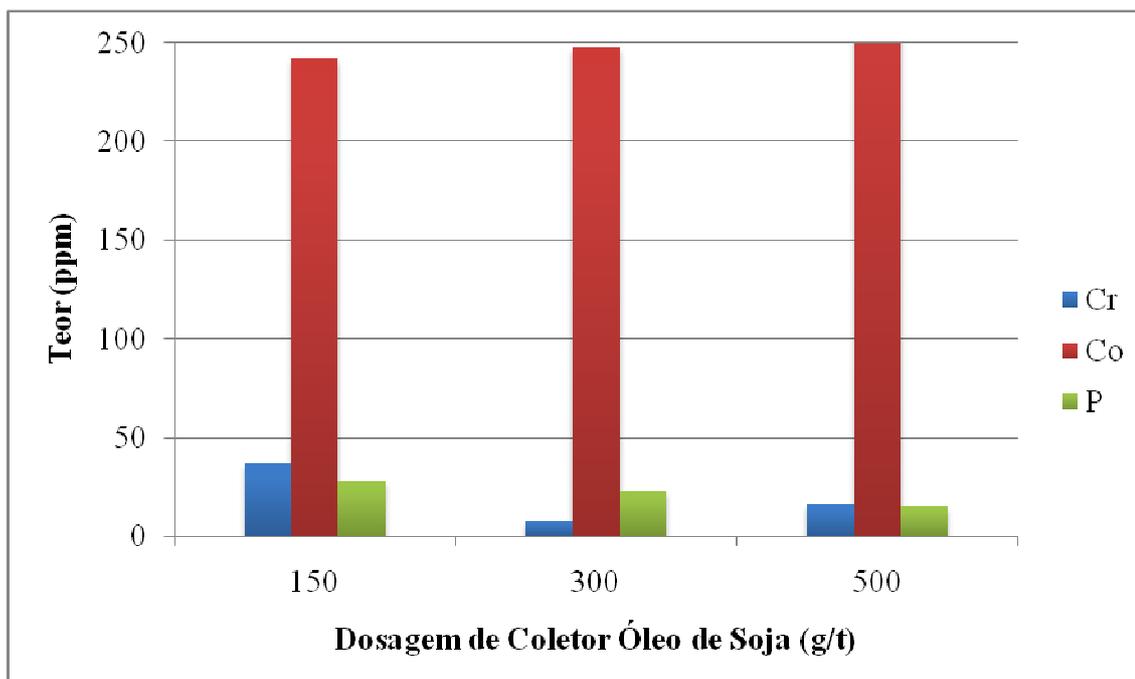


Figura 47 – Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 7 min de condicionamento, 1000 RPM, 40 % de sólidos e pH natural com atrição.

5.2.6 – Influência do descarte da fração menor que 0,037 mm

Foi feito um corte granulométrico a úmido, descartando-se a fração menor que 0,037 mm. O ensaio de flotação foi realizado com e sem a realização da preliminar etapa de atrição. Quando se descarta a fração menor que 0,037 mm, a flotação das impurezas ocorre principalmente no início do recolhimento da espuma. A espuma se apresenta com aspecto de coloração muito mais escura e muito mais abundante do que todos os demais ensaios de flotação realizados sob as outras condições.

Nas Figuras 48 a 51 está apresentada a influência do descarte da fração menor que 0,037 mm na recuperação em massa, nos teores de sílica e de impurezas nos concentrados obtidos na flotação da amostra B.

Como pode ser observado na Figura 48, sem a atrição prévia, a recuperação em massa do afundado, cujo valor é 31,9 %, é muito menor que a do flotado. O mesmo não ocorre

quando se realiza a etapa de atrição, embora ainda haja uma grande diminuição na recuperação em massa. A atrição também promove os maiores teores de sílica e os menores teores de impurezas no concentrado, como mostram as Figuras 49 a 51 mas, ainda assim, os melhores resultados são encontrados quando não se realiza o descarte da fração menor que 0,037 mm.

O descarte dessa fração diminui muito a recuperação em massa e não promove um aumento nos teores de sílica, como se poderia esperar, uma vez que é nessa fração onde se encontram os menores teores de sílica, como pôde ser observado nas análises químicas por faixa granulométrica, efetuadas por Lima e colaboradores (2005) e confirmadas pelos resultados obtidos para os concentrados dos ensaios preliminares de flotação da amostra B apresentados no item 5.1. Esse descarte também não diminui os teores de impurezas no concentrado.

Os ensaios de flotação sem a fração < 0,037 com atrição e com a fração mais atrição apresentaram as especificações exigidas de areia para fabricação de vidro: (SiO_2 : 97,45 %; Al_2O_3 : 1,965 %; Fe_2O_3 : 0,110 %; MgO : 0,005 %; K_2O : 0,120 %; Na_2O : 0,021 %; *P.P.C.*: 0,175 %; TiO_2 : 0,110 %) e (SiO_2 : 98,06 %; Al_2O_3 : 1,580 %; Fe_2O_3 : 0,080 %; CaO : 0,01 %; MgO : 0,003 %; K_2O : 0,056 %; Na_2O : 0,018 %; *P.P.C.*: 0,105 %; TiO_2 : 0,080 %), respectivamente.

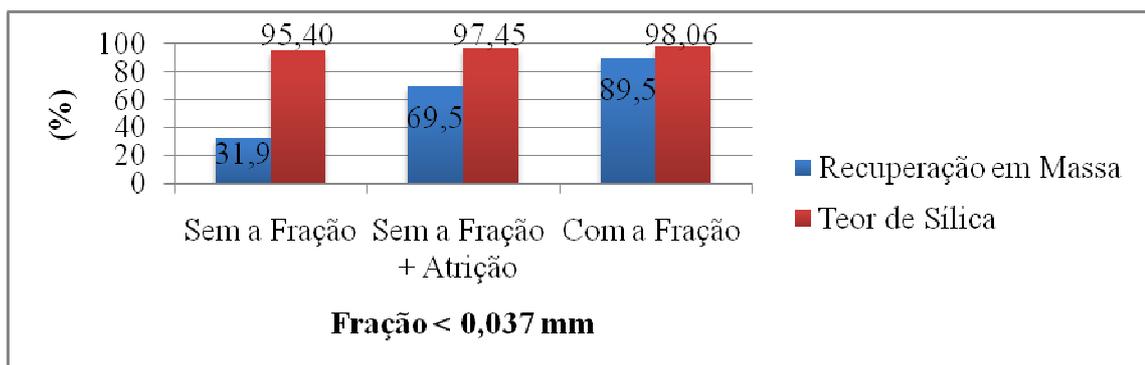


Figura 48 – Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento sem a fração < 0,037 mm com e sem atrição e com a fração mais atrição (1200 RPM).

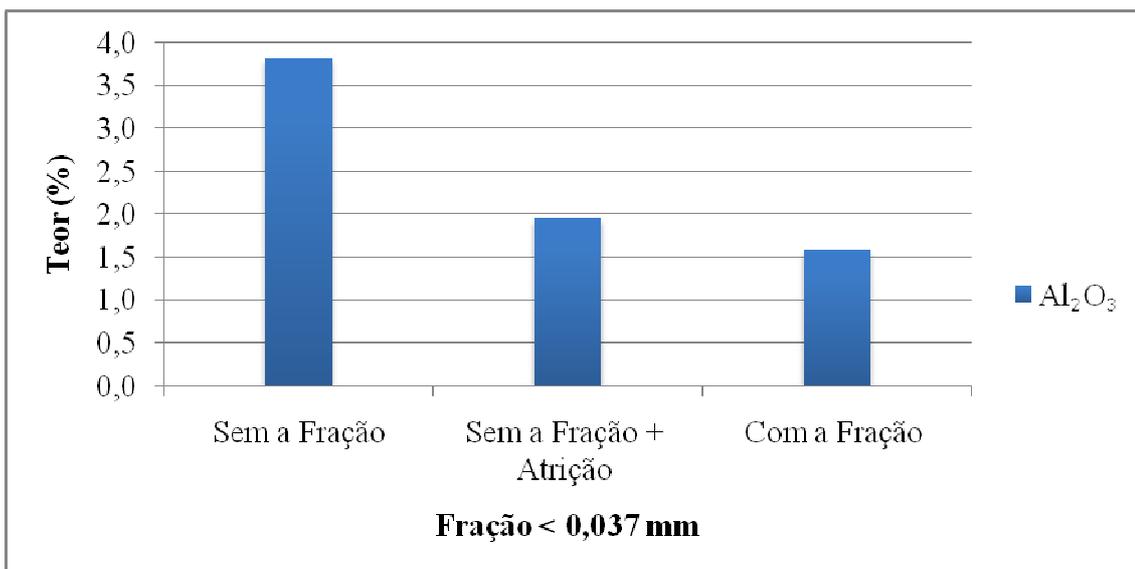


Figura 49 – Teores de Al_2O_3 no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento sem a fração < 0,037 mm com e sem atrição e com a fração mais atrição (1200 RPM).

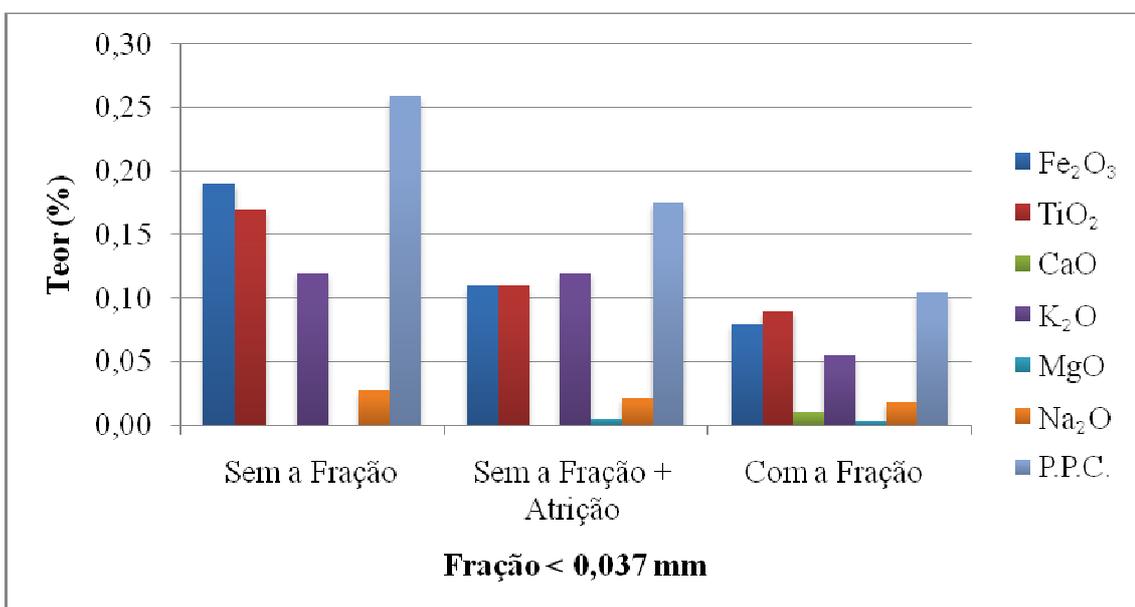


Figura 50 – Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento sem a fração < 0,037 mm com e sem atrição e com a fração mais atrição (1200 RPM).

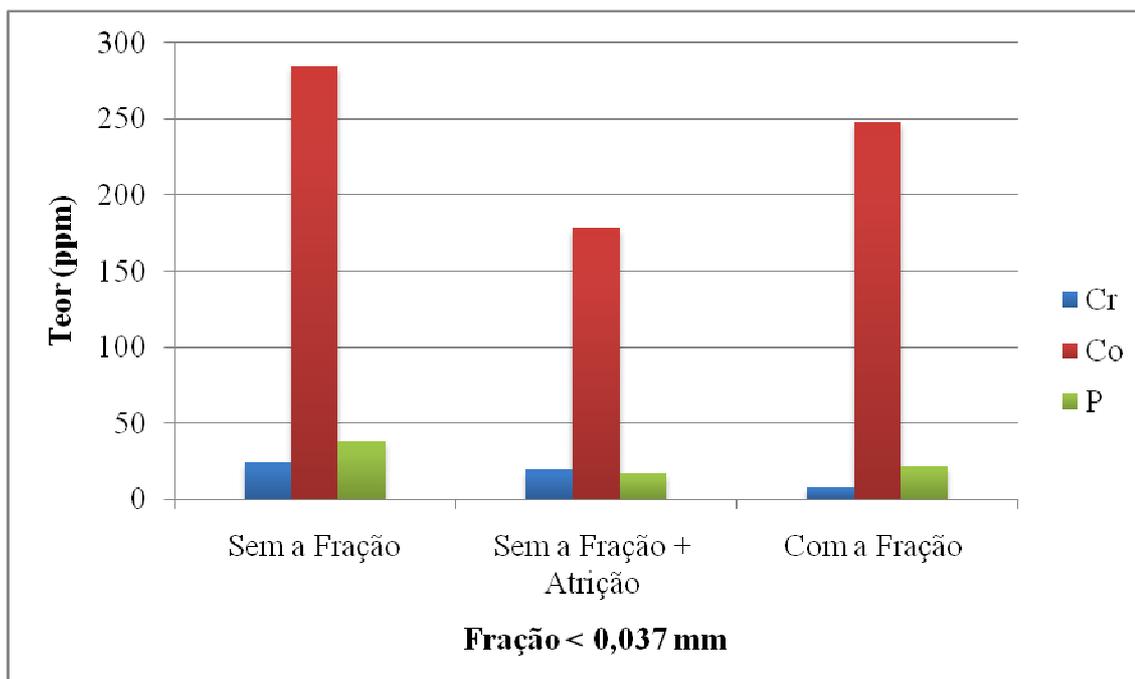


Figura 51 – Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento sem a fração < 0,037 mm com e sem atrição e com a fração mais atrição (1200 RPM).

5.3 – Estudo da performance do coletor Aero Promoter® 845 na flotação da Amostra B

A amostra B foi submetida a ensaios de flotação com o coletor succinamato, de nome comercial Aero Promoter® 845, fabricado pela Cytec.

Nas Figuras 52 a 55 está apresentada a influência da dosagem do coletor succinamato na recuperação em massa, nos teores de sílica e de impurezas nos concentrados obtidos na flotação da amostra B.

As três dosagens de coletor empregadas apresentaram resultados de teores de sílica e impurezas muito próximos, ocorrendo uma variação maior apenas nos valores de recuperação em massa do concentrado, veja a Figura 52. Os menores teores Al_2O_3 e de

outras impurezas foram alcançados com a dosagem de 100 g/t, como visto nas Figuras 53 e 55.

O ensaio de flotação com a dosagem de 75 g/t (teste 1) apresentou os teores exigidos para areia para fabricação de vidro, com exceção dos teores de TiO_2 : (SiO_2 : 96,35 %; Al_2O_3 : 2,868 %; Fe_2O_3 : 0,123 %; MgO : 0,006 %; K_2O : 0,165 %; Na_2O : 0,040 %; $P.P.C.$: 0,360 %; TiO_2 : 0,086 %).

Nas Figuras 56 a 59 está apresentada a influência do tipo de coletor na recuperação em massa, nos teores de sílica e de impurezas nos concentrados obtidos na flotação da amostra B.

Como pode ser observado nas Figuras 56 a 59, o coletor succinamato, sob as mesmas condições e com uma dosagem menor que o coletor óleo de soja, apresentou resultados ligeiramente melhores, ou seja, maiores teores de sílica e menores teores de impurezas no concentrado.

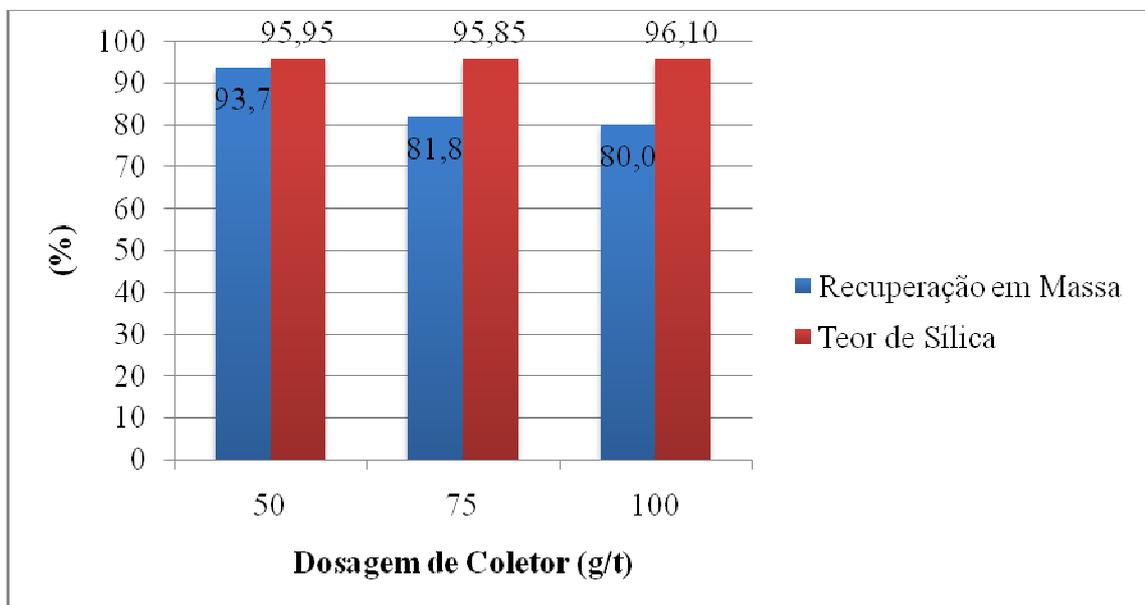


Figura 52 – Recuperação em massa e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com o coletor succinamato com atrição.

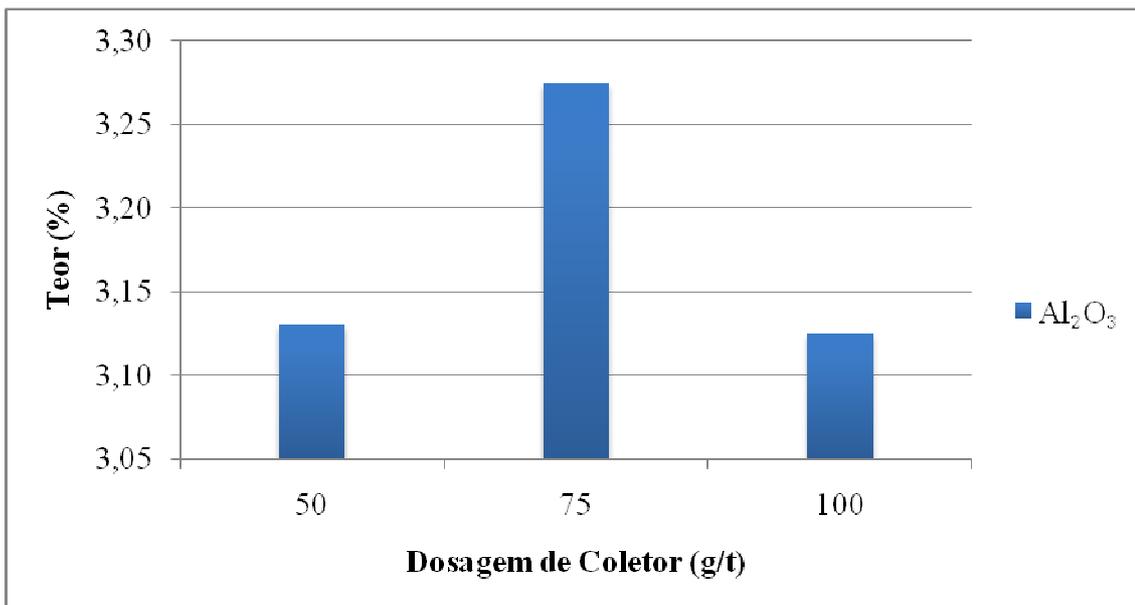


Figura 53 – Teores de Al_2O_3 no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: pH natural da polpa, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com o coletor succinamato com atrição.

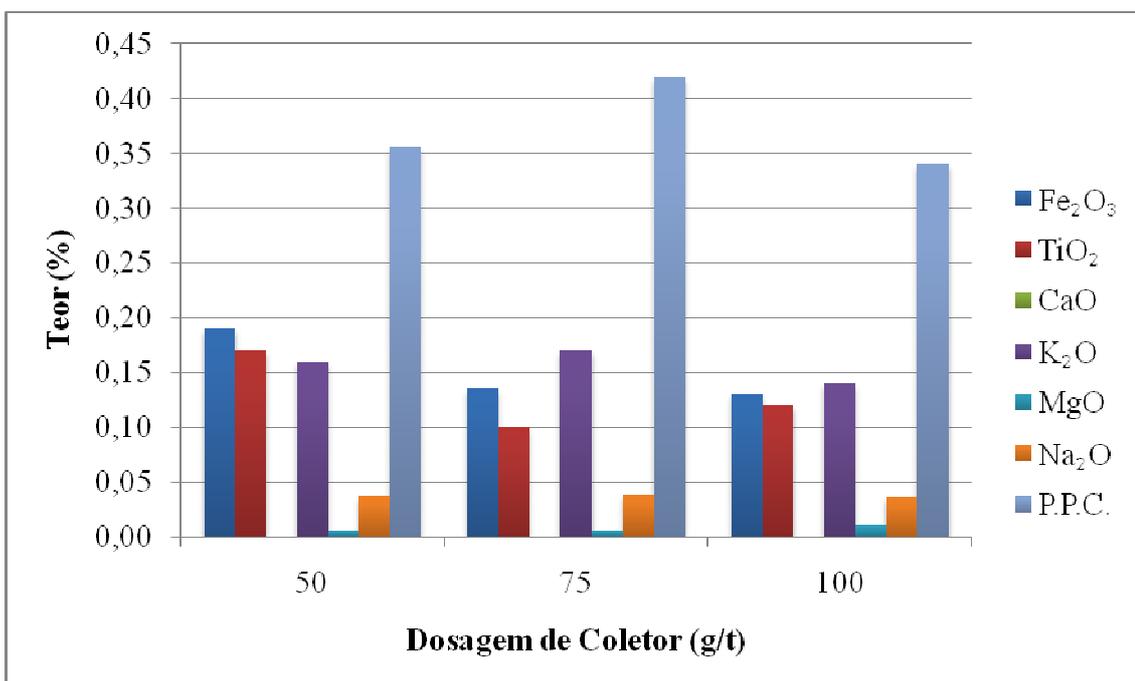


Figura 54 – Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: pH natural da polpa, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com o coletor succinamato com atrição.

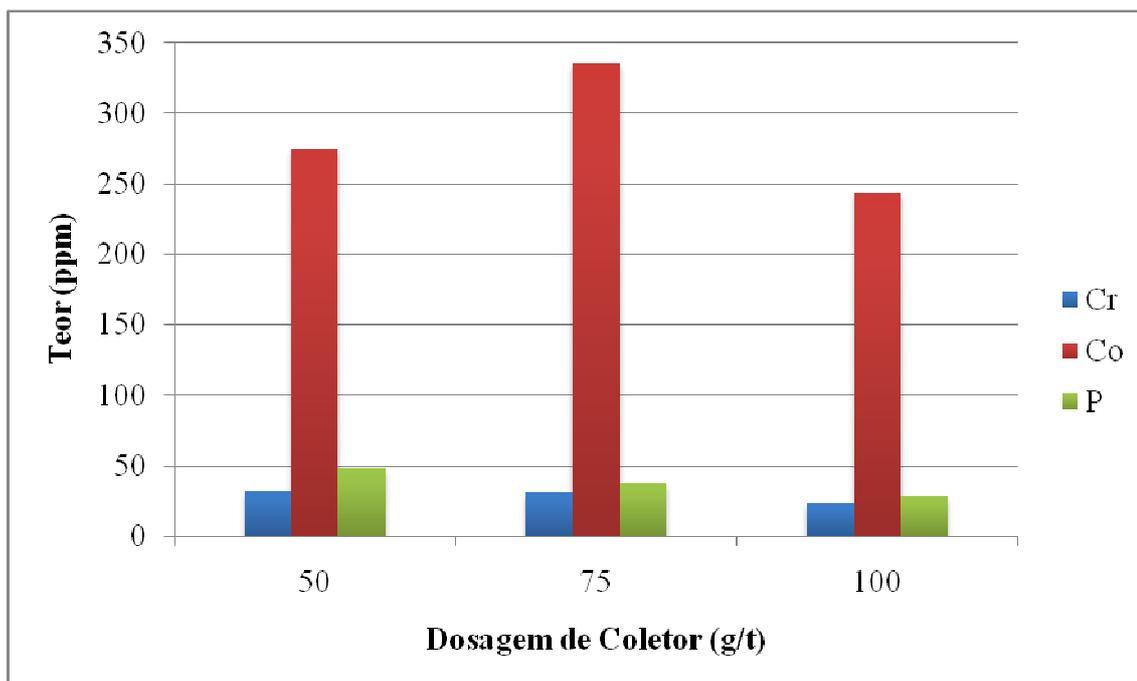


Figura 55 – Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com o coletor succinamato com atrição.

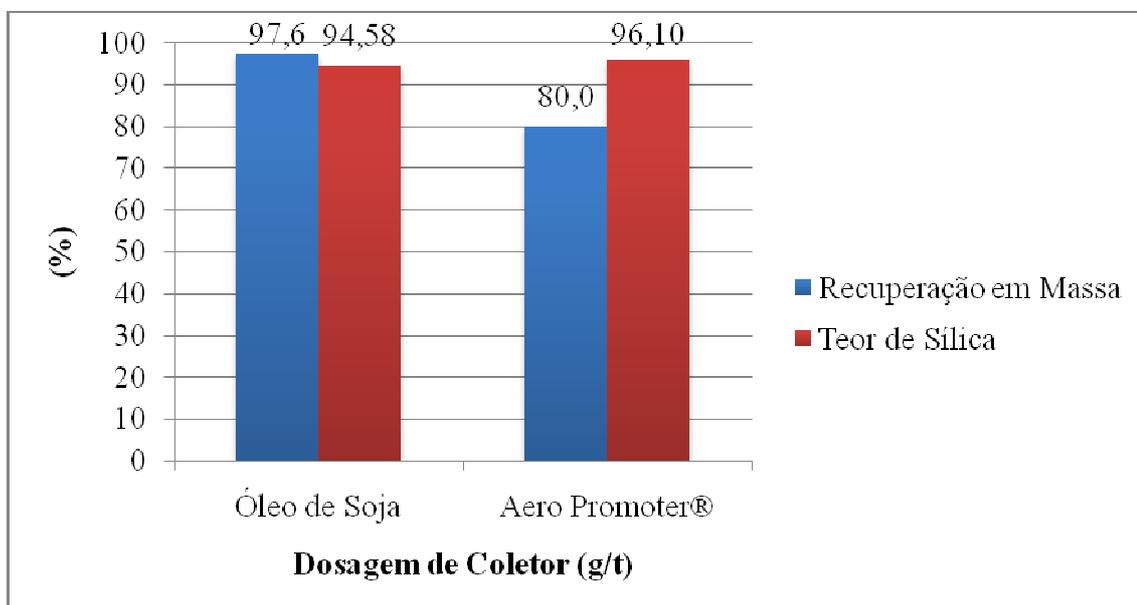


Figura 56 – Recuperação massa em e teor de sílica no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com atrição com o óleo de soja (300 g/t) e o succinamato (100 g/t).

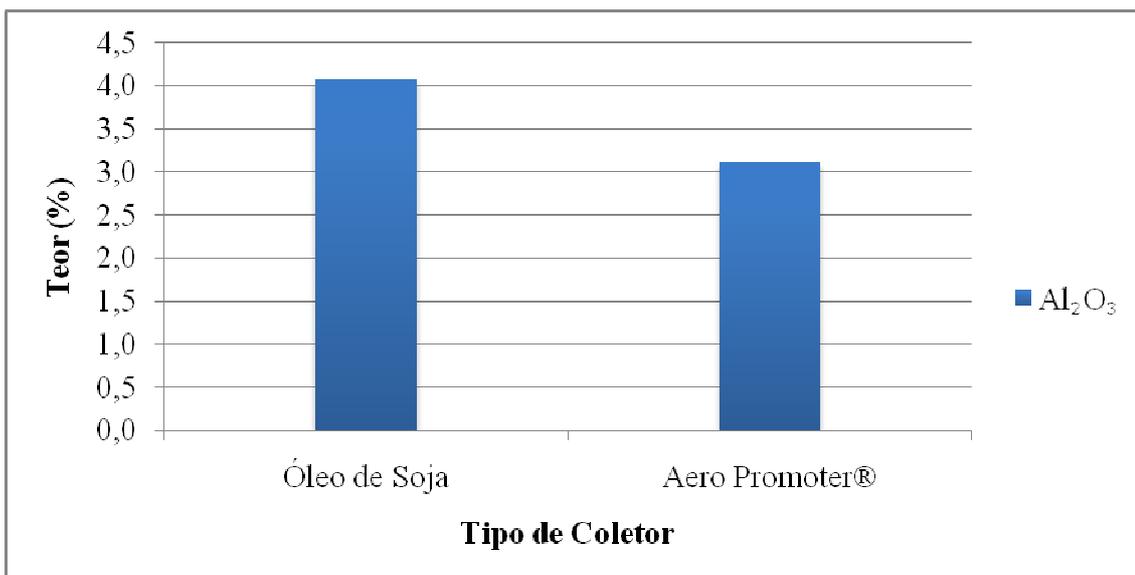


Figura 57 – Teores de Al_2O_3 no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com atrição com o óleo de soja (300 g/t) e o succinamato (100 g/t).

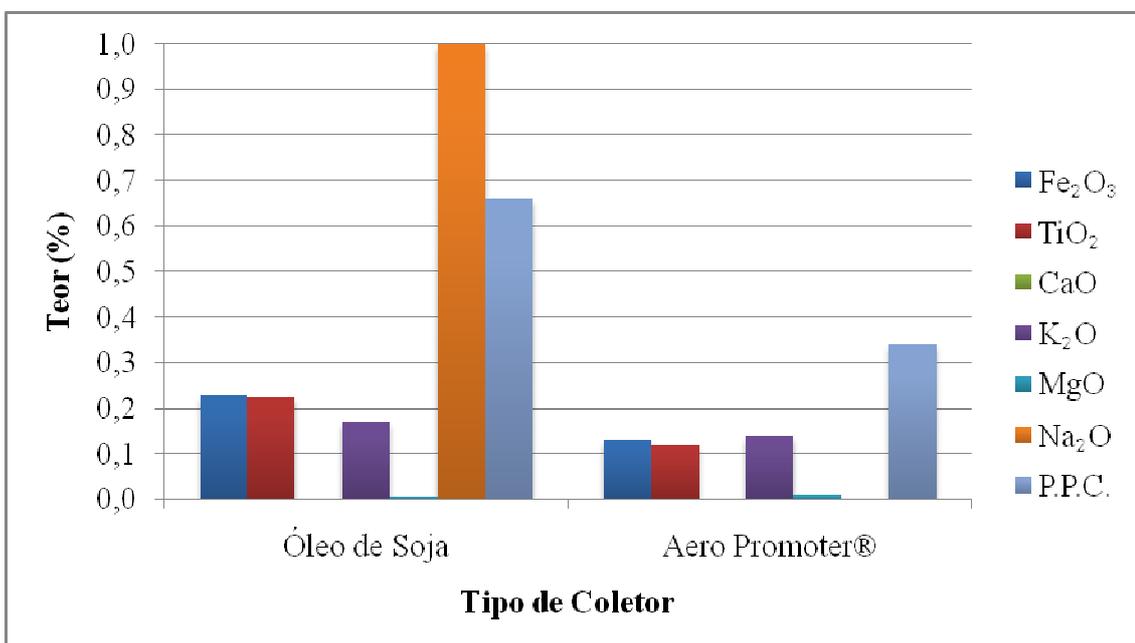


Figura 58 – Teores de outras impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores maiores) nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com atrição com o óleo de soja (300 g/t) e o succinamato (100 g/t).

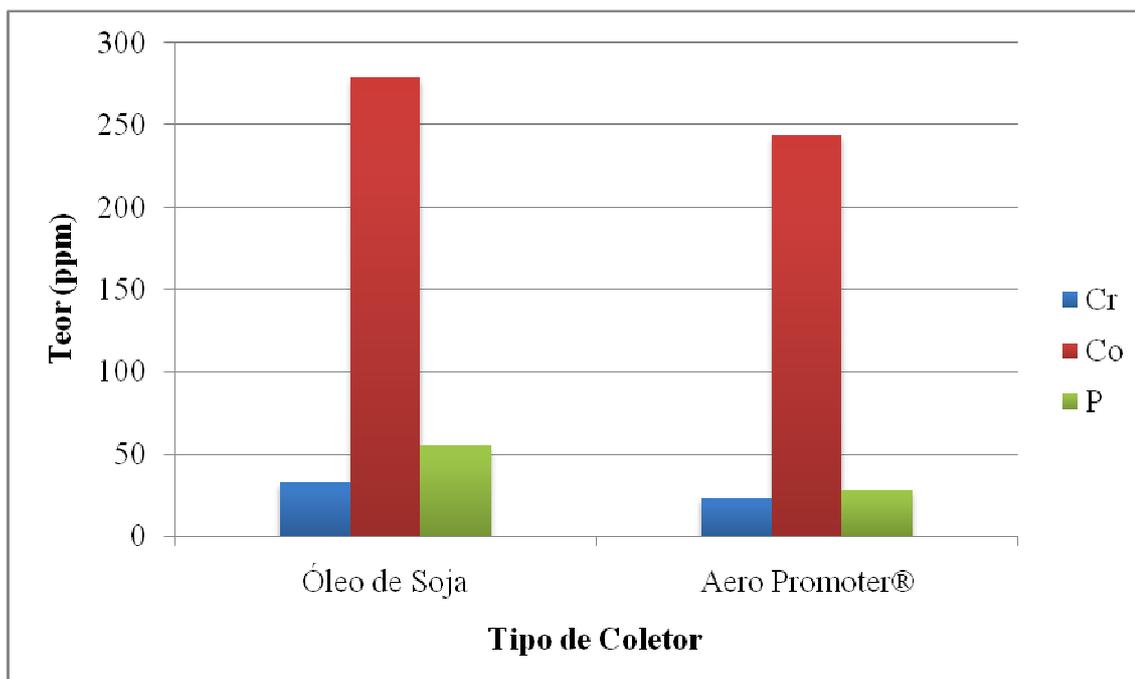


Figura 59 – Teores de impurezas no concentrado dos ensaios de flotação da amostra B (teores menores) nas condições: pH natural, 30 % de sólidos, 1000 RPM e 7 min de condicionamento com atrição com o óleo de soja (300 g/t) e o succinamato (100 g/t).

6 – CONCLUSÕES

A purificação da areia de quartzito por flotação se mostrou eficiente no aumento dos teores de sílica e na diminuição dos teores das principais impurezas encontradas.

As melhores condições para a flotação da areia de quartzito foram:

- % de sólidos igual a 30 %;
- rotação da célula 1000 RPM;
- dosagem de óleo de soja 300 g/t;
- tempo de condicionamento com coletor 7 minutos;
- a etapa de atrição se mostrou eficiente na redução dos teores de algumas impurezas.

Porém, o descarte da fração menor que 0,037 mm não apresentou grandes resultados, tornando-se desnecessária quando da realização do ensaio de flotação.

O coletor succinamato (Aero Promoter[®] 845) se mostrou eficiente na flotação das areias de quartzito, mesmo a mais baixas dosagens, quando comparado com o óleo de soja. A melhor dosagem encontrada foi a de 100 g/t, apesar da recuperação ter sido ligeiramente menor para este coletor.

A análise granuloquímica do produto afundado do ensaio preliminar da amostra do desmonte hidráulico e da frente de lavra nas condições 300 g/t de óleo de soja, 40 % de sólidos, pH natural da polpa, 5 min de condicionamento com coletor e rotação da célula 1200 RPM mostrou que algumas faixas granulométricas apresentam as especificações químicas exigidas para a areia para fabricação de vasilhame de vidro da Califórnia.

A maioria dos ensaios de flotação alcançou nos concentrados os teores exigidos para a areia para a fabricação de vidro, com exceção dos teores de TiO_2 , possivelmente devido ao baixo grau de liberação do rutilo nas areias, em função dos trabalhos preliminares efetuados por Lima e colaboradores (2005).

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCOVERDE, W. L. (1988). Balanço Mineral do Quartzo. Revista Brasil Mineral, nº 54, pp. 24-35.

ARCOVERDE, W. L.; SCHOBENHAUS, C. (1997). Geologia do Quartzo, Principais Depósitos Minerais do Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral, vol. 4, parte C, Brasília, pp. 315-324.

BALTAR, C. A. M.; ARAÚJO, J. M. M.; CUNHA, A. S. F. (2002). Estudo das Condições para Dessorção e Reutilização de Coletor na Flotação de Quartzo. XIX Encontro Nacional de Metalurgia Extrativa, Vol. 1, Recife, 2002, pp. 241-246.

BARBOSA, M. I. M.; PHORPHÍRIO, N. H. (1993). Projeto Caracterização Tecnológica de Lascas de Quartzo. CETEM/CNPq. Relatório Técnico, Rio de Janeiro, 106 p.

BLEIER, A.; GODDARD, E. D.; KULKARNI, R.D. (1976). The Structural Effects of Amine Collectors on the Flotation of Quartz. Flotation, Fuerstenau, M.C. (editor), Society of Mining Engineers, chapter 6, pp. 117-147.

CHAVES, A. P.; LEAL FILHO, L. S. (2005). Flotação, Capítulo 10, Tratamento de Minérios. Ed. Adão Benvindo da Luz e colaboradores, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, pp. 411-453.

CYTEC (2002). Mining Chemicals Handbook. Revised Edition.

DANA, J. D. (1978). Manual de Mineralogia. Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro.

DESCHAMPS, E.; JÚNIOR, B. M.; COSTA, C. S.; SANTOS, M. G. V.; KELLER, W. S.; FILHO, C. A. C.; DAMASCENO, M. A. P.; PINTO, C. L. L. (2002). Controle Ambiental na Mineração de Quartzito – Pedra São Tomé, Segrac Editora e Gráfica Ltda. Belo Horizonte. 204 p.

DINIZ FILHO, L. C. (2004). Quartzo. Sumário Mineral, vol. 23, Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília, pp. 108-109.

DNPM (2001). Anuário Mineral Brasileiro 2001 ano base 2000, v. 30 Ano XXX, Brasília.

DNPM (2005). Anuário Mineral Brasileiro 2005 ano base 2004, v. 34 Ano XXXIV, Brasília.

FERREIRA, G. C.; DAITX, E. C. (1997). Áreas Produtoras de Areia Industrial no Estado de São Paulo, REM Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, pp. 54-60.

FERREIRA, G. C.; DAITX, E. C. (2003). A Mineração Produtora de Areia Industrial na Região Sul do Brasil, REM Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, pp. 59-65.

FREITAS, A. S. (1973). Perfil Analítico do Quartzo, Boletim n° 20. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro.

FUERSTENAU, D. W.; JIA, R. (2004). The Adsorption of Alkylpyridinium Chlorides and Their Effect on the Interfacial Behavior of Quartz. Colloids and Surfaces, Elsevier, pp. 223–231.

FUERSTENAU, D. W.; MILLER, J. D.; KUHN, M.C. (1985). Chemistry of Flotation. Society of Mining Engineers, New York.

FUERSTENAU, D. W.; PRADIP (2005). Zeta Potentials in the Flotation of Oxide and Silicate Minerals. Advances in Colloid and Interface Science, Elsevier B.V..

GAUDIN, A. M.; FUERSTENAU, D. W. (1955). Transactions AIME, vol. 202, 66 p.

HANNA, M. S.; SOMASUNDARAN, P. (1976). Flotation of Salt-Type Minerals. In.: Flotation. Fuerstenau, M.C. (editor), Society of Mining Engineers; pp. 197-272.

HOUOT, R. (1983). Beneficiation of Phosphatic Ores through Flotation: Review of Industrial Applications and Developments. International Journal of Mineral Processing, pp. 353-384.

LASKOVSKY, J. S.; VURDELA, R. M.; LIU, Q. (1988). The Colloid Chemistry of Weak-Electrolyte Collector Flotation. XVI International Mineral Processing Congress, edited by E. Forssberg. Elsevier Publishers B. V. Amsterdam, pp. 703-715.

LEJA, J. (1982). Surface Chemistry of Froth Flotation. New York, Plenum Press, pp. 319-333.

LEMOS, C. (1988). Perspectivas para Quartzo e Silício. Revista Brasil Mineral, n° 54, pp. 36-37.

LIMA, R. M. F. (1997). Adsorção de Amido e Amina na Superfície da Hematita e do Quartzo e sua Influência na Flotação. Tese de Doutorado, UFMG, Belo Horizonte.

LIMA, R. M. F. (1989). Novos Coletores na Flotação do Minério Fosfático de Tapira – MG. Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte.

LIMA, R. M. F.; SILVA, A. F. S.; LUZ, J. A. M.; OLIVEIRA, M.L. (2005). Estudo para o Aproveitamento Econômico dos Resíduos de Pedreiras de Quartzito. Relatório Técnico. 126 p.

LIMA, R. M. F.; BRANDÃO, P. R. G. (1998). A Seletividade na Flotação Reversa de Minérios de Ferro. XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, São Paulo, pp.413-431.

LUZ, A. B.; BRAZ, E. (2000). Quartzito - Série Rochas e Minerais Industriais 2. CETEM/MCT, Rio de Janeiro.

LUZ, A. B.; LINS, F. F. (2005). Areia Industrial. Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, pp.107-126.

MAIA, J. (1950). Considerações sobre a Prática de Lavra em Passagem, MG. Tese para Concurso.

MATTA, P. M. (2003). Prospecção e Pesquisa de Rochas Ornamentais – Uma Contribuição à Produção Limpa. IV SRONE, Fortaleza, pp. 21-32.

NALINI JÚNIOR, H. A. (1993). Análise Estrutural Descritiva e Cinemática do Flanco Sul e Terminação Periclinal do Anticlinal de Mariana e Adjacências, Região Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte.

PARKS, G. A. (1975). Adsorption in the Marine Environment. RILEY, J. P.; SKIRROW, G. Eds. Chemical oceanography. 2nd ed. London, Academic Press, V. 1, cap. 4, pp. 241-308.

PERES, A. E. C. (1996). Flotação. UFOP, Ouro Preto.

PINHEIRO, W. M. G. (2003). Utilização de resíduo da extração de pedra mineira como agregado no concreto. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Engenharia Civil, Campinas, 202 p.

PIRSSON, L. V. (1952). *Rocks and Rock Minerals*. Third edition. Revised by Adolph Knopf, John Wiley and Sons, Inc., New York, London.

PRASAD, M. S. (1992). *Reagents in Mineral Industry – Recent Trends and Applications*. *Minerals Engineering*, vol. 5, Pergamon Press plc, Great Britain, pp. 279-294.

RABOCKAI, T. (1979). *Físico-Química de Superfícies*. OEA, Washington, 128 p.

SMITH, R. W.; AKHTAR, S. (1976). *Cationic Flotation of Oxides and Silicates*. Flotation. Fuerstenau, M.C. (editor), Society of Mining Engineers, chapter 5, pp. 87-116.

SOLOMONS, T. W. G. (1976). *Química Orgânica*, v. 2, 6^a ed., tradução Horácio Macedo, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro.

SOMASUNDARAN, P.; SIVAKUMAR, A. (1988). *Advances in Understanding Flotation Mechanisms*. *Trans. AIME*, vol. 284.

TAGGART, A. F. (1972). *Handbook of Mineral Dressing*, section 12, John Wiley and Sons, Inc., New York, 14 p.

UWADIALE, G. G. O. O. (1992). *Flotation of Iron Oxides and Quartz – A Review*, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, Gordon and Breach Science Publishers S. A.

VIEIRA, A. M.; PERES, A. E. C. (2004). *Influência de Variáveis de Flotação na Recuperação de Quartzos Fino, Médio e Grosso*. XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, vol. 2, Florianópolis, pp. 127-134.

WINKLER, H. G. F. (1977). *Petrogênese das Rochas Metamórficas*, tradução de Carlos Burger Júnior, Editora Edgard Blücher, Porto Alegre, 251 p.

ANEXO I

ENSAIO DE PENEIRAMENTO DO PRODUTO AFUNDADO DOS ENSAIOS PRELIMINARES DE FLOTAÇÃO DAS AMOSTRAS A, B E C

Tabela 19 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra B, peneiramento a seco durante 10 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja.

Granulometria (mm)	Massa (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
0,590	5,9	6,4	6,4	93,6
0,500	2,9	3,2	9,6	90,4
0,297	25,9	28,2	37,8	62,2
0,210	20,5	22,4	60,2	39,8
0,149	11,7	12,8	73,0	27,0
0,105	19,4	21,2	94,2	58,0
0,074	3,5	3,8	98,0	2,0
0,053	1,2	1,3	99,3	0,7
0,044	0,3	0,3	99,6	0,4
0,037	0,2	0,2	99,8	0,2
-0,037	0,2	0,2	100,0	-
Total	91,7	100,0	-	-

Tabela 20 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra B, peneiramento a seco durante 15 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja.

Granulometria (mm)	Massa (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
0,590	4,6	5,0	5,0	95,0
0,500	11,1	12,0	17,0	83,0
0,297	18,1	19,5	36,5	63,5
0,210	21,1	22,8	59,3	40,7
0,149	11,6	12,5	71,8	28,8
0,105	20,8	22,4	94,2	5,8
0,074	3,5	3,8	98,0	2,0
0,053	1,2	1,3	99,3	0,7
0,044	0,3	0,3	99,6	0,4
0,037	0,2	0,2	99,8	0,2
-0,037	0,2	0,2	100,0	-
Total	92,7	100,0	-	-

Tabela 21 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 1.

Granulometria (mm)	Massa (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
0,590	4,9	5,4	5,4	94,6
0,500	9,5	10,5	15,9	84,1
0,297	18,8	20,9	36,8	63,2
0,210	20,5	22,7	59,5	40,5
0,149	17,8	19,8	79,3	20,7
0,105	13,4	14,9	94,2	5,8
0,074	3,4	3,8	98,0	2,0
0,053	1,3	1,4	99,4	0,6
0,044	0,3	0,3	99,7	0,3
0,037	0,2	0,2	99,9	0,1
-0,037	0,1	0,1	100,0	-
Total	90,1	100,0	-	-

Tabela 22 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 2.

Granulometria (mm)	Massa (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
0,590	5,9	6,1	6,1	93,9
0,500	9,8	10,1	16,2	83,8
0,297	18,9	19,5	35,7	64,3
0,210	21,2	21,9	57,2	42,4
0,149	25,2	26,0	83,6	16,4
0,105	9,4	9,7	93,3	6,7
0,074	4,3	4,4	97,7	2,3
0,053	1,3	1,3	99,0	1,0
0,044	0,4	0,4	99,4	0,6
0,037	0,2	0,2	99,6	0,4
-0,037	0,3	0,3	100,0	-
Total	96,9	100,0	-	-

Tabela 23 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Média.

Granulometria (mm)	Massa (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
0,590	5,4	5,8	5,8	94,2
0,500	9,6	10,3	16,1	83,9
0,297	18,8	20,2	36,3	63,7
0,210	20,9	22,3	58,6	41,4
0,149	21,5	22,9	81,5	18,5
0,105	11,4	12,3	93,8	6,2
0,074	3,8	4,1	97,9	2,1
0,053	1,3	1,3	99,2	0,8
0,044	0,4	0,4	99,6	0,4
0,037	0,2	0,2	99,8	0,2
-0,037	0,2	0,2	100,0	-
Total	93,5	100,0	-	-

Tabela 24 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 1.

Granulometria (mm)	Massa (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
0,590	8,1	8,9	8,9	91,1
0,500	11,2	12,3	21,2	78,8
0,297	16,9	18,6	39,8	60,2
0,210	18,7	20,6	60,4	39,6
0,149	21,3	23,4	83,8	16,2
0,105	7,7	8,5	92,3	7,7
0,074	4,0	4,4	96,7	3,3
0,053	1,5	1,6	98,3	1,7
0,044	0,5	0,5	98,8	1,2
0,037	0,4	0,4	99,2	0,8
-0,037	0,6	0,6	99,8	-
Total	90,9	100,0	-	-

Tabela 25 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 2.

Granulometria (mm)	Massa (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
0,590	14,1	12,4	12,4	87,6
0,500	15,1	13,3	25,7	74,3
0,297	22,0	19,3	45,0	55,0
0,210	20,7	18,2	63,2	36,8
0,149	16,2	14,2	77,4	22,6
0,105	17,3	15,2	92,6	7,4
0,074	4,6	4,0	96,6	3,4
0,053	1,8	1,6	98,2	1,8
0,044	0,6	0,5	98,7	1,3
0,037	0,5	0,4	99,1	0,9
-0,037	0,9	0,8	100,0	-
Total	113,8	100,0	-	-

Tabela 26 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja - Média.

Granulometria (mm)	Massa (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
0,590	11,1	10,9	10,9	89,1
0,500	13,2	12,9	23,8	76,2
0,297	19,5	18,9	42,7	57,3
0,210	19,7	19,3	62,0	38,0
0,149	18,7	18,3	80,3	19,7
0,105	12,5	12,2	92,5	7,5
0,074	4,3	4,2	96,7	3,3
0,053	1,6	1,6	98,3	1,7
0,044	0,5	0,5	98,8	1,2
0,037	0,4	0,4	99,2	0,8
-0,037	0,8	0,8	100,0	-
Total	102,3	100,0	-	-

Tabela 27 – Análise granulométrica do produto afundado da amostra C, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, submetida à flotação nas condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM e 300 g/t de coletor óleo de soja.

Granulometria (mm)	Massa (g)	% Retida Simples	% Retida Acumulada	% Passante Acumulada
0,590	8,5	9,1	9,1	90,9
0,500	10,8	11,5	20,6	79,4
0,297	19,2	20,5	41,1	58,9
0,210	18,6	19,8	60,9	39,1
0,149	21,1	22,6	83,5	16,5
0,105	8,4	9,0	92,5	7,5
0,074	4,0	4,3	96,8	3,2
0,053	1,5	1,6	98,4	1,6
0,044	0,5	0,5	98,9	1,1
0,037	0,4	0,4	99,3	0,7
-0,037	0,5	0,5	100,0	-
Total	93,5	100,0	-	-

Obs: não foi feita a duplicata desse ensaio

ANEXO II

BALANÇOS DE MASSA E ANÁLISES QUÍMICAS DOS ENSAIOS DE FLOTAÇÃO

Tabela 28 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra da A nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	43,9	5,6	76,42	15,944	1,580	0,06	0,062	1,100	1,355	0,382	136	96,6	245	3,038
Afundado	745,0	94,4	97,26	1,856	0,263	-	0,005	0,104	0,132	0,039	15,6	131	29,7	0,330
Alim. Recalc.	788,9	100,0	96,09	2,645	0,337	-	0,008	0,160	0,200	0,058	22,3	129	41,8	0,482

Tabela 29 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra A nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	33,8	4,2	81,37	12,791	0,868	0,06	0,060	0,423	1,523	0,382	102	172	169	2,490
Afundado	765,0	95,8	97,27	1,961	0,169	-	0,004	0,140	0,124	0,036	15,3	143	44,9	0,290
Alim. Recalc.	798,8	100,0	96,60	2,416	0,198	-	0,006	0,152	0,183	0,050	18,9	144	50,1	0,382

Tabela 30 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra A nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	38,9	4,9	78,90	14,350	1,225	0,06	0,006	0,760	1,440	0,380	119	134	207	2,765
Afundado	755,0	95,1	97,30	1,930	0,215	-	0,005	0,120	0,130	0,040	15,5	137	37,3	0,310
Alim. Recalc.	793,9	100,0	96,40	2,539	0,264	-	0,005	0,151	0,194	0,057	20,6	137	45,6	0,430

Tabela 31 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	20,0	2,5	76,86	17,102	1,215	0,08	0,050	2,003	0,758	0,180	123	289	227	1,700
Afundado	770,0	97,5	98,44	1,053	0,089	-	0,004	0,088	0,062	0,018	8,81	72,3	40,3	0,240
Alim. Recalc.	790,0	100,0	97,90	1,454	0,117	-	0,005	0,136	0,079	0,022	11,7	77,7	45,0	0,276

Tabela 32 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	16,3	2,1	76,32	16,613	1,570	0,07	0,049	1,588	1,032	0,230	125	180	251	2,469
Afundado	770,0	97,9	98,02	1,493	0,078	-	0,003	0,121	0,055	0,016	10,6	129	29,3	0,210
Alim. Recalc.	786,3	100,0	97,56	1,810	0,109	-	0,004	0,152	0,080	0,020	13,0	130	34,0	0,257

Tabela 33 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	18,2	2,3	76,59	16,850	1,390	0,08	0,050	1,795	0,895	0,205	124	235	239	2,085
Afundado	770,0	97,7	98,20	1,273	0,084	-	0,004	0,105	0,059	0,020	9,71	101	34,8	0,225
Alim. Recalc.	788,2	100,0	97,70	1,628	0,120	-	0,005	0,129	0,079	0,024	12,3	104	39,5	0,267

Tabela 34 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra da C nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	50,7	6,5	82,72	11,510	1,150	0,05	0,064	1,070	1,024	0,242	91,2	120	233	2,119
Afundado	730,0	93,5	98,16	1,246	0,126	-	0,002	0,091	0,094	0,026	9,49	82,7	22,8	0,250
Alim. Recalc.	780,7	100,0	97,19	1,920	0,193	-	0,006	0,155	0,154	0,040	14,8	85,1	36,5	0,371

Obs: não foi feita duplicata desse ensaio

Tabela 35 – Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 1.

Granul. (mm)	% Retida Simples	Teores (%)								Teores menores (ppm)			P.P.C. (%)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	Co	Cr	P	
0,590	8,9	95,25	3,420	0,683	0,098	-	0,029	0,004	-	1058	26,3	92,2	0,490
0,500	12,3	97,37	2,293	0,141	0,038	-	-	-	-	588	13,8	27,8	0,150
0,297	18,6	98,57	1,169	0,083	0,010	-	-	-	-	382	6,85	28,4	0,160
0,210	20,6	98,73	1,077	0,079	0,018	-	-	-	-	393	6,81	30,1	0,090
0,149	23,4	97,56	2,007	0,096	0,094	0,02	0,065	0,010	0,029	312	16,1	24,3	0,110
0,074	12,9	95,73	3,451	0,157	0,177	0,02	0,163	0,012	0,053	465	28,0	34,0	0,230
-0,037	3,1	80,91	14,821	0,788	0,954	0,08	0,794	0,054	0,226	707	103	140	1,340
	100,0	96,81	2,400	0,177	0,093	0,01	0,061	0,006	0,021	473,4	17,3	37,5	0,207

Tabela 36 – Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 2.

Granul. (mm)	% Retida Simples	Teores (%)								Teores menores (ppm)			P.P.C. (%)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	Co	Cr	P	
0,590	12,4	92,81	4,538	0,850	0,146	0,28	0,198	0,172	0,084	283	31,6	70,8	0,908
0,500	13,3	96,57	2,663	0,147	0,082	0,10	0,070	0,062	0,034	352	17,9	39,7	0,269
0,297	19,3	97,96	1,713	0,083	0,064	0,04	0,044	0,021	0,022	298	12,9	28,0	0,047
0,210	18,2	98,06	1,649	0,087	0,081	0,03	0,044	0,010	0,022	321	13,4	27,8	0,010
0,149	14,2	98,07	1,641	0,091	0,099	0,02	0,048	0,007	0,018	350	11,1	37,5	-
0,074	19,2	97,27	2,090	0,163	0,115	0,01	0,132	0,012	0,035	244	14,4	23,0	0,170
-0,037	3,4	82,22	13,543	0,880	1,075	0,05	0,554	0,046	0,159	484	89,5	143	1,435
	100,0	96,50	2,642	0,231	0,129	0,07	0,101	0,040	0,038	311	18,6	39,1	0,241

Tabela 37 – Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra A, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Média.

Granul. (mm)	% Retida Simples	Teores (%)								Teores menores (ppm)			P.P.C. (%)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	Co	Cr	P	
0,590	10,7	94,03	3,980	0,767	0,122	0,14	0,114	0,088	0,042	671	29,0	81,5	0,700
0,500	12,8	96,97	2,475	0,144	0,060	0,05	0,035	0,031	0,017	470	15,9	33,8	0,210
0,297	19,0	97,77	1,440	0,083	0,037	0,02	0,022	0,011	0,011	340	9,90	28,2	0,105
0,210	19,4	98,40	1,365	0,083	0,050	0,02	0,022	0,005	0,011	357	10,1	29,0	0,050
0,149	18,8	97,82	1,825	0,094	0,097	0,02	0,057	0,009	0,024	331	13,6	30,9	0,055
0,074	16,1	96,50	2,770	0,160	0,146	0,01	0,148	0,012	0,044	355	21,2	28,5	0,200
-0,037	3,2	81,57	14,160	0,834	1,015	0,07	0,674	0,050	0,193	596	96,0	141,5	1,385
	100,0	96,65	2,521	0,204	0,111	0,04	0,081	0,023	0,029	392	17,9	38,3	0,224

Tabela 38 – Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 1.

Granul. (mm)	% Retida Simples	Teores (%)								Teores menores (ppm)			P.P.C. (%)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
0,590	5,4	96,16	3,237	0,168	-	0,023	0,070	-	-	16,6	730	97,3	0,320
0,500	10,5	97,83	2,057	0,042	-	0,002	0,006	-	-	9,63	543	19,1	0,060
0,297	20,9	98,73	1,152	0,075	-	-	0,007	-	-	5,35	342	8,91	0,030
0,210	22,7	99,03	0,835	0,124	-	-	0,004	-	-	4,24	308	8,88	-
0,149	19,8	98,44	1,327	0,079	-	-	0,044	-	-	7,48	350	25,5	0,100
0,074	18,7	97,51	2,029	0,140	-	0,011	0,130	-	-	13,2	345	24,0	0,180
-0,037	2,0	86,79	10,759	0,898	-	0,057	0,712	0,005	-	64,9	1244	98,2	0,759
	100,0	98,04	1,678	0,117	-	0,005	0,054	-	-	9,24	392	22,6	0,098

Tabela 39 – Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Teste 2.

Granul. (mm)	% Retida Simples	Teores (%)								Teores menores (ppm)			P.P.C. (%)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
0,590	6,1	95,43	3,669	0,407	-	0,001	0,067	0,014	-	18,8	777	52,3	0,400
0,500	10,1	97,55	2,069	0,065	-	-	0,033	-	-	9,90	543	31,4	0,280
0,297	19,5	98,78	1,135	0,041	-	-	0,010	-	-	5,30	366	17,5	0,030
0,210	21,9	98,87	1,080	0,030	-	-	0,019	-	-	5,37	361	10,6	-
0,149	26,1	98,73	1,073	0,036	-	-	0,059	-	-	6,50	353	13,5	0,100
0,074	14,1	96,72	2,684	0,108	-	0,003	0,205	-	-	18,6	929	38,1	0,270
-0,037	2,2	85,64	11,561	0,745	-	0,019	1,045	0,113	-	74,1	980	117	0,849
	100,0	97,88	1,803	0,087	-	0,001	0,081	0,003	-	10,3	497	23,6	0,141

Tabela 40 – Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra B, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja - Média.

Granul. (mm)	% Retida Simples	Teores (%)								Teores menores (ppm)			P.P.C. (%)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
0,590	5,8	95,80	3,453	0,288	-	0,012	0,069	0,007	-	17,7	754	74,8	0,360
0,500	10,3	97,69	2,063	0,054	-	0,001	0,020	-	-	9,77	543	25,3	0,170
0,297	20,2	98,76	1,144	0,058	-	-	0,009	-	-	5,33	354	13,2	0,030
0,210	22,3	98,95	0,958	0,077	-	-	0,012	-	-	4,81	335	9,74	-
0,149	23,0	98,59	1,200	0,058	-	-	0,052	-	-	6,99	352	19,5	0,100
0,074	16,4	97,12	2,357	0,124	-	0,007	0,168	-	-	15,9	637	31,1	0,225
-0,037	2,0	86,22	11,160	0,822	-	0,038	0,879	0,059	-	69,5	1112	108	0,804
	100,0	97,96	1,741	0,102	-	0,003	0,068	0,002	-	9,78	445	23,1	0,120

Tabela 41 – Análise granulométrica do produto afundado do ensaio de flotação da amostra C, peneiramento a seco durante 20 min, massa 95 g, frequência 300 RPM, amplitude 50, condições: 40 % de sólidos, pH natural da polpa, tempo de condicionamento com coletor 5 min, rotação da célula 1200 RPM, 300 g/t de coletor óleo de soja.

Granul. (mm)	% Retida Simples	Teores (%)								Teores menores (ppm)			P.P.C. (%)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	Co	Cr	P	
0,590	9,1	93,95	4,996	0,156	0,148	0,05	0,218	0,015	0,089	554	33,7	92,4	0,360
0,500	11,5	96,96	2,674	0,061	0,071	0,02	0,057	0,006	0,030	469	17,0	38,1	0,110
0,297	20,5	97,90	1,796	0,026	0,061	0,02	0,043	0,006	0,032	314	16,5	22,8	0,110
0,210	19,8	97,53	2,164	0,032	0,070	0,02	0,043	0,006	0,031	328	18,2	28,7	0,090
0,149	22,6	97,92	1,718	0,034	0,093	0,03	0,049	0,008	0,032	310	17,3	29,2	0,110
0,074	13,3	95,02	4,162	0,135	0,181	0,03	0,110	0,012	0,048	398	30,3	40,5	0,290
-0,037	3,0	80,77	14,883	1,003	1,106	0,16	0,548	0,045	0,177	760	93,0	159	1,270
	100,0	96,27	2,947	0,089	0,126	0,03	0,086	0,009	0,043	379	22,7	39,9	0,187

Obs: não foi feita a duplicata desse ensaio

Tabela 42 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	38,2	4,8	91,78	5,378	0,583	-	0,023	0,577	0,469	-	46,3	185	101	1,169
Afundado	755,0	95,2	98,54	1,090	0,110	-	-	0,074	-	-	7,10	111	18,6	0,180
Alim. Recalc.	793,2	100,0	98,22	1,296	0,133	-	0,001	0,098	0,022	-	8,98	115	22,6	0,227

Tabela 43 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	42,2	5,4	91,31	5,462	0,878	-	0,025	0,523	0,511	-	50,9	258	122	1,260
Afundado	745,0	94,6	98,86	0,775	0,109	-	-	0,074	-	-	5,60	76	23,4	0,180
Alim. Recalc.	787,2	100,0	98,45	1,028	0,150	-	0,001	0,098	0,028	-	8,05	85,8	28,7	0,238

Tabela 44 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	40,2	5,1	91,55	5,420	0,731	-	0,024	0,550	0,490	-	48,6	222	112	1,214
Afundado	750,0	94,9	98,70	0,932	0,110	-	-	0,074	-	-	6,35	94,0	21,0	0,180
Alim. Recalc.	790,2	100,0	98,33	1,159	0,367	-	0,001	0,095	0,025	-	8,50	100,5	25,6	0,233

Tabela 45 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1400 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	256,4	32,0	97,32	1,834	0,192	-	0,002	0,214	0,027	-	16,7	110	36,4	0,400
Afundado	545,8	68,0	97,97	1,502	0,210	-	-	0,097	-	-	10,1	248	38,7	0,210
Alim. Recalc.	802,2	100,0	97,76	1,608	0,204	-	-	0,134	0,009	-	12,2	203,8	38,0	0,271

Tabela 46 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1400 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	280,2	34,8	97,13	2,096	0,173	-	0,003	0,187	0,018	-	17,4	244	31,7	0,390
Afundado	525,0	65,2	98,69	0,870	0,079	-	-	0,076	-	-	6,25	98,0	14,7	0,280
Alim. Recalc.	805,2	100,0	98,15	1,297	0,112	-	0,001	0,115	0,006	-	10,1	149	20,6	0,318

Tabela 47 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1400 RPM e tempo de condicionamento com coletor 5 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	268,3	33,4	97,23	1,965	0,183	-	0,003	0,200	0,023	-	17,1	177	34,1	0,395
Afundado	535,4	66,6	98,33	1,185	0,145	-	-	0,090	-	-	8,20	173	26,7	0,245
Alim. Recalc.	803,7	100,0	97,96	1,445	0,158	-	0,001	0,728	0,008	-	11,17	174,3	29,3	0,294

Tabela 48 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 3 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	187,7	23,4	96,76	2,212	0,210	-	0,003	0,219	0,060	-	18,3	211	39,4	0,530
Afundado	615,0	76,6	98,71	0,752	0,079	-	-	0,061	0,060	-	5,23	59,0	18,3	0,330
Alim. Recalc.	802,7	100,0	98,25	1,094	0,110	-	0,001	0,098	0,060	-	8,29	94,6	23,2	0,377

Tabela 49 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 3 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	172,3	23,1	96,73	2,457	0,183	-	0,002	0,200	0,042	-	19,5	186	42,0	0,380
Afundado	575,0	76,9	98,37	1,159	0,105	-	-	0,100	-	-	8,26	123	38,4	0,260
Alim. Recalc.	747,3	100,0	97,99	1,459	0,123	-	-	0,123	0,010	-	10,9	137,5	39,2	0,288

Tabela 50 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 3 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	180,0	23,3	96,75	2,335	0,197	-	0,003	0,210	0,051	-	18,9	199	40,7	0,455
Afundado	595,0	76,7	98,54	0,955	0,092	-	-	0,080	0,030	-	6,75	91,0	28,4	0,295
Alim. Recalc.	775,0	100,0	98,12	1,276	0,116	-	0,001	0,110	0,035	-	9,60	116	31,2	0,333

Tabela 51 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	57,0	7,1	90,35	6,393	0,723	-	0,020	0,861	0,364	-	72,2	220	124	1,259
Afundado	741,8	92,9	99,04	0,693	0,068	-	-	0,054	-	-	5,18	49,0	18,3	0,140
Alim. Recalc.	798,8	100,0	98,42	1,098	0,114	-	0,001	0,111	0,026	-	9,94	61,1	25,8	0,219

Tabela 52 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	88,0	11,1	93,36	4,561	0,462	-	0,013	0,603	0,229	-	42,3	181	101	0,749
Afundado	703,5	88,9	98,92	0,818	0,079	-	-	0,069	-	-	5,81	66,0	29,8	0,110
Alim. Recalc.	791,5	100,0	98,30	1,233	0,121	-	0,001	0,128	0,025	-	9,86	78,7	12,4	0,181

Tabela 53 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de coletor óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, rotação da célula 1300 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	72,5	9,1	91,86	5,475	0,593	-	0,017	0,730	0,297	-	57,3	201	113	1,005
Afundado	722,7	90,9	98,98	0,755	0,074	-	-	0,060	-	-	5,49	58,0	24,1	0,125
Alim. Recalc.	795,2	100,0	98,33	1,184	0,121	-	0,002	0,121	0,027	-	10,2	71,0	31,2	0,205

Tabela 54 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	63,5	8,6	94,50	3,621	0,364	0,03	0,017	0,291	0,362	0,092	28,0	152	76,0	0,710
Afundado	665,0	90,0	98,34	1,325	0,068	0,01	0,002	0,084	0,047	0,014	6,76	158	15,3	0,100
Sifonado	10,1	1,4	92,88	4,524	1,253	0,05	0,018	0,157	0,335	0,077	31,8	637	43,6	0,700
Alim. Recal.	738,6	100,0	97,93	1,567	0,110	0,01	0,003	0,103	0,078	0,022	8,93	164,2	20,9	0,161

Tabela 55 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	73,4	8,9	93,93	4,028	0,420	0,02	0,017	0,317	0,384	0,099	30,3	163	74,0	0,770
Afundado	735,0	89,0	97,78	1,826	0,095	-	0,003	0,089	0,064	0,022	9,17	338	29,5	0,110
Sifonado	17,1	2,1	94,74	3,350	0,725	0,07	0,049	0,129	0,137	0,039	31,8	526	63,2	0,750
Alim. Recalc.	825,5	100,0	97,37	2,050	0,137	-	0,005	0,110	0,094	0,029	11,5	326,3	34,2	0,182

Tabela 56 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	68,5	8,8	94,22	3,825	0,390	0,02	0,017	0,305	0,373	0,096	29,2	157,5	75,0	0,740
Afundado	700,0	89,5	98,06	1,580	0,080	0,01	0,003	0,090	0,056	0,018	7,96	248	22,4	0,105
Sifonado	13,6	1,7	93,81	3,935	0,985	0,06	0,034	0,145	0,236	0,058	31,8	581,5	53,4	0,725
Alim. Recal.	782,1	100,0	97,64	1,818	0,123	0,01	0,005	0,110	0,087	0,025	10,2	245,2	27,6	0,172

Tabela 57 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 50 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
		Simples	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	63,1	5,7	83,57	10,464	1,263	0,07	0,071	0,653	1,048	0,268	106	161	302	2,519
Afundado	1030,0	93,7	97,75	1,256	0,458	-	0,004	0,131	0,099	0,024	11,3	64,6	40,4	0,270
Sifonado	6,1	0,6	46,66	28,489	8,471	0,21	0,102	0,728	1,792	0,458	415	76,1	1373	12,777
Alim. Recalc.	1099,2	100,0	96,63	1,944	0,552	-	0,008	0,164	0,163	0,040	19,1	70,2	63,3	0,473

Tabela 58 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 50 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
		Simples	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	44,7	4,1	81,90	11,213	1,589	0,07	0,073	0,479	1,036	0,200	108	164	290	2,821
Afundado	1050,7	95,5	96,20	1,580	0,483	-	0,006	0,150	0,120	0,020	13,5	61,4	50,3	0,260
Sifonado	4,9	0,4	50,30	23,587	6,289	0,23	0,098	0,621	1,523	0,321	417	82,8	1481	12,451
Alim. Recalc.	1100,3	100,0	95,43	2,063	0,552	-	0,009	0,165	0,163	0,029	19,0	65,7	65,9	0,414

Tabela 59 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 50 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.

Produto	Massa	% Retida	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
		Simples	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	53,9	4,9	82,74	10,839	1,426	0,07	0,072	0,566	1,042	0,234	107	163	296	2,670
Afundado	1040,35	94,6	96,98	1,418	0,471	-	0,005	0,141	0,110	0,020	12,4	63,0	45,4	0,265
Sifonado	5,5	0,6	48,48	26,038	7,380	0,22	0,100	0,675	1,658	0,390	416	79,5	1427	12,614
Alim. Recalc.	1099,8	100,0	96,03	2,004	0,552	-	0,009	0,165	0,163	0,035	19,1	67,9	64,6	0,443

Tabela 60 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 150 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	154,4	27,1	95,13	3,635	0,233	-	0,010	0,283	0,189	0,032	43,9	153	53,6	0,480
Afundado	414,4	72,9	95,59	3,402	0,190	-	0,008	0,220	0,217	0,051	39,9	198	27,1	0,320
Alim. Recalc.	568,8	100,0	95,46	3,465	0,202	-	0,008	0,237	0,209	0,045	41,0	186	34,3	0,363

Tabela 61 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 150 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	141,8	25,5	95,26	3,545	0,245	-	0,007	0,270	0,178	0,030	44,7	135	57,1	0,450
Afundado	414,3	74,5	96,00	3,251	0,140	-	0,005	0,183	0,157	0,032	34,3	286	28,3	0,230
Alim. Recalc.	556,1	100,0	95,81	3,326	0,166	-	0,005	0,205	0,162	0,031	36,9	247	35,6	0,286

Tabela 62 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 150 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	148,1	26,3	95,20	3,590	0,240	-	0,009	0,275	0,185	0,031	44,3	144	55,4	0,465
Afundado	414,4	73,7	95,80	3,325	0,165	-	0,007	0,200	0,190	0,042	37,1	242	27,7	0,275
Alim. Recalc.	562,5	100,0	95,64	3,395	0,185	-	0,007	0,219	0,189	0,039	39,0	216	34,9	0,324

Tabela 63 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 500 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	16,9	3,1	91,35	6,869	0,570	0,017	0,033	0,560	0,689	0,157	48,6	269	358	2,980
Afundado	530,6	96,9	93,95	4,535	0,190	-	0,009	0,190	0,210	0,018	16,3	306	14,8	0,300
Alim. Recalc.	547,5	100,0	93,87	4,607	0,202	-	0,010	0,201	0,225	0,022	17,3	296	25,4	0,383

Obs: não foi feita a duplicata desse ensaio

Tabela 64 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	17,8	2,2	79,29	15,400	1,047	-	0,045	0,706	0,767	0,177	193	250	289	2,499
Afundado	793,4	97,8	95,01	3,859	0,181	-	0,011	0,228	0,202	0,041	36,0	241	48,4	0,460
Alim. Recalc.	811,2	100,0	94,66	4,113	0,200	-	0,012	0,238	0,214	0,044	39,4	241	53,7	0,505

Tabela 65 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	12,1	1,5	74,02	19,246	1,218	-	0,058	0,811	0,910	0,218	328	304	354	3,438
Afundado	782,9	98,5	95,82	3,349	0,160	-	0,005	0,200	0,141	0,037	35,0	269	43,7	0,280
Alim. Recalc.	795,0	100,0	95,44	3,587	0,176	-	0,005	0,209	0,152	0,040	39,4	269	48,3	0,327

Tabela 66 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 40 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1200 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	15,0	1,9	76,66	17,323	1,133	-	0,052	0,759	0,839	0,198	261	277	322	2,969
Afundado	788,2	98,1	95,42	3,604	0,171	-	0,008	0,214	0,172	0,039	35,5	255	46,1	0,370
Alim. Recalc.	803,2	100,0	95,05	3,850	0,188	-	0,009	0,224	0,183	0,042	39,4	255	51,0	0,416

Tabela 67 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 500 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	63,1	5,7	83,57	10,464	1,263	0,07	0,071	0,653	1,048	0,268	106	161	302	2,519
Afundado	1030,0	93,7	97,75	1,256	0,458	-	0,004	0,131	0,099	0,024	11,3	64,6	40,4	0,270
Sifonado	6,1	0,6	46,66	28,489	8,471	0,21	0,102	0,728	1,792	0,458	415	76,1	1373	12,777
Alim. Recalc.	1099,2	100,0	96,63	1,950	1,018	-	0,008	0,164	0,153	0,041	19,1	65,2	63,3	0,473

Tabela 68 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 500 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	49,6	4,0	81,90	11,213	1,589	0,07	0,073	0,479	1,036	0,200	110	167	278	3,123
Afundado	1050,7	95,5	96,20	1,580	0,483	-	0,006	0,150	0,120	0,020	15,6	58,2	60,2	0,250
Sifonado	5,5	0,5	50,30	23,587	6,289	0,23	0,098	0,621	1,523	0,321	418	89,5	1589	12,125
Alim. Recalc.	1105,8	100,0	95,85	2,075	0,556	-	0,009	0,166	0,164	0,029	21,4	62,7	76,6	0,424

Tabela 69 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 500 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	56,3	4,9	82,74	10,839	1,426	0,07	0,072	0,566	1,042	0,234	108	164	290	2,821
Afundado	1040,4	94,6	96,98	1,418	0,471	-	0,005	0,141	0,110	0,022	13,5	61,4	50,3	0,260
Sifonado	5,8	0,6	48,48	26,038	7,380	0,22	0,100	0,675	1,658	0,390	417	82,8	1481	12,451
Alim. Recalc.	1102,5	100,0	96,24	2,012	0,787	-	0,009	0,165	0,159	0,035	20,3	64,0	70,0	0,448

Tabela 70 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra do B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando-se a fração menor que 0,037 mm - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	388,0	67,9	95,61	3,279	0,251	-	0,053	0,173	0,168	0,026	30,2	276	40,2	0,430
Afundado	183,3	32,1	94,93	4,324	0,177	-	0,003	0,185	0,105	0,018	26,0	323	37,1	0,250
Alim. Recalc.	571,3	100,0	95,39	3,654	0,297	-	0,037	0,177	0,148	0,023	28,9	291	39,2	0,372

Tabela 71 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando-se a fração menor que 0,037mm - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	388,9	68,4	95,51	3,679	0,189	-	0,006	0,183	0,157	0,025	33,9	281	29,4	0,240
Afundado	180,0	31,6	95,90	3,313	0,194	-	0,007	0,145	0,126	0,035	22,9	246	38,0	0,270
Alim. Recalc.	568,9	100,0	95,63	3,563	0,191	-	0,006	0,171	0,147	0,028	30,4	270	32,1	0,249

Tabela 72 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando-se a fração menor que 0,037 mm - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	388,5	68,2	95,60	3,480	0,220	-	0,030	0,180	0,170	0,026	32,1	279	34,8	0,335
Afundado	181,7	31,9	95,40	3,820	0,190	-	0,005	0,170	0,120	0,027	24,5	285	37,6	0,260
Alim. Recalc.	570,1	100,0	95,51	3,609	0,244	-	0,021	0,174	0,148	0,026	29,7	281	35,7	0,311

Tabela 73 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando-se a fração menor que 0,037mm - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	157,0	28,1	95,05	3,922	0,183	-	0,008	0,235	0,199	0,033	42,0	143	36,4	0,360
Afundado	403,3	71,9	97,35	2,068	0,104	-	0,002	0,144	0,110	0,019	20,7	143	16,0	0,200
Alim. Recalc.	560,3	100,0	96,70	2,589	0,126	-	0,004	0,170	0,135	0,023	26,7	143	21,7	0,245

Tabela 74 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando-se a fração menor que 0,037mm - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	185,6	32,9	93,80	5,035	0,246	-	0,008	0,302	0,170	0,026	47,0	232	51,7	0,400
Afundado	379,3	67,1	97,65	1,857	0,115	-	0,007	0,083	0,115	0,022	18,1	213	17,5	0,150
Alim. Recalc.	564,9	100,0	96,38	2,902	0,158	-	0,007	0,155	0,133	0,023	27,6	219	28,7	0,232

Tabela 75 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min, descartando-se a fração menor que 0,037mm - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	171,3	30,5	94,45	4,480	0,215	-	0,008	0,265	0,185	0,030	44,5	188	44,1	0,380
Afundado	391,3	69,5	97,45	1,965	0,110	-	0,005	0,110	0,120	0,021	19,4	178	16,8	0,175
Alim. Recalc.	562,6	100,0	96,53	2,732	0,142	-	0,006	0,157	0,140	0,024	27,1	181	25,1	0,237

Tabela 76 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	13,1	2,3	77,00	17,544	1,118	0,02	0,048	0,561	0,683	0,151	196	284	280	2,818
Afundado	553,5	97,7	94,34	3,965	0,249	-	0,008	0,229	0,169	0,041	34,2	216	55,5	0,990
Alim. Recalc.	566,6	100,0	93,34	4,277	0,269	-	0,009	0,237	0,181	0,043	37,9	218	60,7	1,032

Tabela 77 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	14,5	2,5	78,51	16,489	1,055	0,01	0,050	0,565	0,641	0,142	161	273	253	2,479
Afundado	560,2	97,5	94,81	4,204	0,206	-	0,007	0,222	0,168	0,039	30,3	341	54,9	0,330
Alim. Recalc.	574,7	100,0	94,40	4,511	0,227	-	0,008	0,231	0,180	0,042	33,6	339	59,9	0,384

Tabela 78 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 300 g/t de óleo de soja, pH natural da polpa, 30 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	13,8	2,4	77,76	17,017	1,087	0,02	0,049	0,563	0,662	0,147	179	279	267	2,649
Afundado	556,9	97,6	94,58	4,085	0,228	-	0,008	0,226	0,169	0,040	32,3	279	55,2	0,660
Alim. Recalc.	570,7	100,0	93,87	4,394	0,248	-	0,009	0,234	0,181	0,043	35,8	279	60,3	0,708

Tabela 79 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 50 g/t de Aero Promoter[®], pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	34,3	6,1	83,53	13,032	0,670	0,03	0,047	1,404	0,273	0,087	128	178	140	0,889
Afundado	528,6	93,9	96,19	2,834	0,214	-	0,007	0,147	0,166	0,040	28,0	211	44,7	0,390
Alim. Recalc.	562,9	100,0	95,42	3,456	0,242	-	0,009	0,224	0,173	0,043	34,1	209	50,5	0,420

Tabela 80 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 50 g/t de Aero Promoter[®], pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	35,9	6,6	91,34	6,863	0,575	-	0,018	0,303	0,220	0,066	96,4	659	67,0	0,600
Afundado	507,8	93,4	95,68	3,434	0,170	-	0,005	0,191	0,152	0,034	34,9	338	50,8	0,320
Alim. Recalc.	543,7	100,0	95,39	3,660	0,197	-	0,006	0,198	0,156	0,036	39	359	51,9	0,338

Tabela 81 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 50 g/t de Aero Promoter[®], pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	35,1	6,3	87,40	9,945	0,620	0,02	0,033	0,850	0,250	0,077	112	419	104	0,745
Afundado	518,2	93,7	95,95	3,130	0,190	-	0,006	0,170	0,160	0,037	31,5	275	47,8	0,355
Alim. Recalc.	553,3	100,0	95,41	3,559	0,217	-	0,008	0,213	0,166	0,039	36,6	284	51,3	0,380

Tabela 82 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 75 g/t de Aero Promoter[®], pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	101,8	18,1	84,50	12,885	0,762	-	0,020	0,793	0,180	0,040	106	619	95,1	0,800
Afundado	462,1	81,9	96,35	2,868	0,123	-	0,006	0,086	0,165	0,040	28,2	242	31,3	0,360
Alim. Recalc.	563,9	100,0	94,20	4,681	0,239	-	0,008	0,214	0,168	0,040	42,3	310	42,8	0,440

Tabela 83 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 75 g/t de Aero Promoter[®], pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	103,4	18,4	88,59	9,292	0,470	-	0,017	0,816	0,186	0,041	95,7	210	99,8	0,570
Afundado	458,4	81,6	95,38	3,677	0,152	-	0,006	0,099	0,160	0,038	33,6	428	43,4	0,480
Alim. Recalc.	561,8	100,0	94,13	4,710	0,210	-	0,008	0,231	0,165	0,038	45,0	388	53,8	0,497

Tabela 84 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 75 g/t de Aero Promoter[®], pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	102,6	18,2	86,55	11,095	0,615	-	0,019	0,810	0,190	0,041	101	415	97,5	0,685
Afundado	460,3	81,8	95,85	3,275	0,135	-	0,006	0,100	0,170	0,039	30,9	335	37,4	0,420
Alim. Recalc.	562,9	100,0	94,16	4,698	0,222	-	0,008	0,229	0,174	0,039	43,6	350	48,3	0,468

Tabela 85 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 100 g/t de Aero Promoter[®], pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 1.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	105,2	18,9	87,73	10,297	0,424	-	0,018	0,593	0,218	0,049	92,6	263	102	0,649
Afundado	452,6	81,1	96,07	3,170	0,132	-	0,015	0,122	0,141	0,036	23,5	242	26,9	0,310
Alim. Recalc.	557,8	100,0	94,49	4,517	0,187	-	0,016	0,211	0,155	0,038	36,6	246	41,0	0,374

Tabela 86 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 100 g/t de Aero Promoter[®], pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Teste 2.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	120,0	21,1	88,85	9,104	0,425	-	0,016	0,749	0,204	0,046	85,0	155	109	0,580
Afundado	450,0	78,9	96,11	3,082	0,132	-	0,007	0,121	0,140	0,035	23,2	246	28,4	0,370
Alim. Recalc.	570,0	100,0	94,57	4,333	0,194	-	0,009	0,254	0,154	0,037	36,2	227	45,4	0,414

Tabela 87 – Balanço de massa e análise química do flotado e do afundado do ensaio de flotação da amostra B nas condições: 100 g/t de Aero Promoter[®], pH natural da polpa, 58 % de sólidos, com atrição a 2000 RPM durante 5,5 min, 8 min de sedimentação, recolhimento do sifonado, flotação com rotação da célula 1000 RPM, 30 % de sólidos e tempo de condicionamento com coletor 7 min - Média.

Produto	Massa	% Retida Simples	Teores (%)								Teores Menores (ppm)			P.P.C. (%)
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Cr	Co	P	
Flotado	112,6	20,0	88,30	9,700	0,420	-	0,017	0,670	0,210	0,048	88,8	209	106	0,615
Afundado	451,3	80,0	96,10	3,125	0,130	-	0,011	0,120	0,140	0,036	23,4	244	27,7	0,340
Alim. Recalc.	563,9	100,0	94,54	4,425	0,191	-	0,013	0,233	0,155	0,038	36,4	237	43,2	0,394