

GUSTAVO TAMBORLIM SIMÕES

**RECUPERAÇÃO DO GRAFITE CONTIDO NO SPL
(SPENT POT LINING)**

**São Paulo
2006**

GUSTAVO TAMBORLIM SIMÕES

**RECUPERAÇÃO DO GRAFITE CONTIDO NO SPL
(SPENT POT LINING)**

Trabalho de formatura apresentado para
conclusão do curso de graduação em
Engenharia de Minas do Departamento de
Engenharia de Minas e Petróleo da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves

**São Paulo
2006**

EPMI
TF-2006
Si 35r
Syro 1574566

M2006L

DEDALUS - Acervo - EP-EPMI



31700005793

FICHA CATALOGRÁFICA

Simões, Gustavo Tamborlim

**Recuperação do grafite contido no SPL (*Spent Pot Lining*) /
G.T. Simões. -- São Paulo, 2006.
51 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de
Petróleo.**

**1.Flotação de minérios 2.Alumínio 3.Tratamento de resíduos
sólidos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Depar-
tamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.**

AGRADECIMENTOS

A Poli foi um divisor de águas na minha vida. Aqui encontrei meus grandes desafios, que nunca foram superados sozinho, sempre tive a ajuda de pessoas fantásticas a quem aqui agradeço:

À minha família por estar sempre presente.

Ao Professor Arthur Pinto Chaves com quem tanto aprendi. Agradeço sua paciência em ensinar e seu compromisso com a mineração e com a Escola.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Minas, em especial ao Professor Homero Delboni Jr. pela pessoa extraordinária que é para mim e para toda a turma.

Da temporada que passei no Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais (LTM), agradeço ao Tico pela paciência, ajuda e companheirismo nos trabalhos e nas conversas, mesmo passando pelo momento mais difícil de sua vida. Agradeço também ao Juscelino por sempre estar disposto a ajudar e pelos diversos “papos”.

Agradeço a todos meus amigos da Atlética, Rateria, minha turma da Minas, do time de handebol da Poli, Pavilhão XII, ATOP, do trabalho, colégio, etc. Gostaria de citar alguns que foram especialmente importantes nesta reta final: Snarf, Totó, Panachas, Gu, Sono, Vital, Gordão, Kocks, Aron, Pitt, Rodrigo, Edinho, Alex S e Luciano, obrigado a vocês pela paciência, apoio e compreensão!

Às ajudas inesperadas em momentos necessários.

RESUMO

A produção de alumínio metálico é feita através do processo Hall-Héroult. Neste processo a alumina é dissolvida em criolita fundida em uma cuba revestida por grafite e então a mistura é eletrolisada reduzindo o alumínio líquido.

Quando o revestimento de grafite necessita ser trocado ele se torna um rejeito industrial problemático devido às substâncias tóxicas que permanecem no revestimento. Este rejeito é denominado *Spent Pot Lining* ou SPL.

Este trabalho descreve um processo de recuperação do grafite contido no SPL através da flotação.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e indicam a viabilidade da separação e concentração do grafite contido no SPL.

PALAVRAS-CHAVE

Flotação do grafite, Recuperação de rejeitos, Alumínio.

ABSTRACT

The production of metallic aluminum is made by the Hall-Héroult process. In the process alumina is dissolved in a graphite-lined bath of molten cryolite and then the mixture is electrolyzed, which reduces the liquid aluminum.

When the graphite lining needs to be replaced, it represents a major industrial waste problem due to the amount of toxic substances that stays attached to it. This waste is called Spent Pot Lining or SPL.

This paper describes a process to recover the graphite contained in the SPL by the froth flotation of the graphite.

The results are well satisfactory and indicates the viability of the separation and the concentration of the graphite in the SPL.

KEYWORDS

Graphite flotation, Waste recovery, Aluminum.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVO	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1. O ALUMÍNIO.....	12
3.1.1. O PROCESSO BAYER	12
3.1.2. O PROCESSO HALL-HÉROULT	14
3.2. SPENT POT LINING (SPL).....	16
3.2.1. PROBLEMAS AMBIENTAIS DOS COMPONENTES DO SPL	17
3.3. FLOTAÇÃO.....	18
3.3.1. INTRODUÇÃO	18
3.3.2. COLETORES E ESPUMANTES	19
3.3.3. MODULAÇÃO DA COLETA	19
3.3.3. CIRCUITOS DE BENEFICIAMENTO	20
3.4. O GRAFITE	21
3.4.1. CLASSIFICAÇÕES DO GRAFITE	22
3.4.2. APLICAÇÕES DO GRAFITE.....	23
3.4.3. FLOTAÇÃO DO GRAFITE.....	25
4. ESTUDO DE CASO – RECUPERAÇÃO DO GRAFITE CONTIDO NO SPL	25
4.1. RECEPÇÃO E PREPARAÇÃO	25
4.2. MINERALOGIA.....	26
4.3. CURVA DE LAVABILIDADE EXPLORATÓRIA.....	27
4.4. MOAGEM DA AMOSTRA PARA ENSAIOS DE FLOTAÇÃO	28
4.5. ENSAIOS EXPLORATÓRIOS DE FLOTAÇÃO	29
4.6. ENSAIOS DE FLOTAÇÃO COM RELAVAGEM	31
4.7. ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO	34
4.8. CONCLUSÃO	35
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
5.1. LIVROS	37
5.2. REFERÊNCIAS DA INTERNET.....	37
ANEXO A – CERTIFICADOS DE ANÁLISES.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo Bayer simplificado.....	14
Figura 2 - Representação de uma cuba eletrolítica.....	15
Figura 3 - Aspecto do flotado de platina.....	18
Figura 4 - Circuito convencional de flotação.....	20
Figura 5 - Grafite natural.....	21
Figura 6 - Estrutura cristalina do grafite.....	22
Figura 7 - Circuito utilizado no ensaio 30.....	32
Figura 8 - Circuito utilizado no ensaio 31.....	33
Figura 9 - Fluxograma de trabalho sugerido.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Metais sólidos na composição do SPL.	16
Tabela 2: Extrato solúvel lixiviável de não metais contidos no SPL.	16
Tabela 3: Especificações para uso do grafite.	24
Tabela 4: Análise granulométrica da amostra de cabeça.	26
Tabela 5: Composição mineralógica da amostra de cabeça (difratometria de raios-X).	26
Tabela 6: Resultados de lavabilidade por fração densitária – Fração –20# +35#.	27
Tabela 7: Teores do flutuado na densidade 2,4 t/m ³ , fração –20# +35#.	28
Tabela 8: Resultados de lavabilidade por fração densitária – Fração –65# +325#.	28
Tabela 9: Distribuição granulométrica do produto da moagem.	29
Tabela 10: Comparação da análise química do produto de moagem com os cálculos de teores da alimentação da curva de lavabilidade.	29
Tabela 11: Ensaios exploratórios de flotação – primeira etapa.	30
Tabela 12: Ensaios exploratórios de flotação – primeira etapa – com melhor recuperação em massa.	30
Tabela 13: Ensaios exploratórios de flotação – segunda etapa.	31
Tabela 14: Resultados do ensaio 30 de flotação.	32
Tabela 15: Resultados do ensaio 31 de flotação.	33
Tabela 16: Resultados dos ensaios 32 e 33 de flotação.	34
Tabela 17: Resultados dos ensaios mais importantes de lixiviação.	35
Tabela 18: Comparação entre concentrados da flotação e produtos da lixiviação.	35
Tabela 19: Comparação entre a meta estabelecida no início do estudo e o melhor resultado obtido.	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio.

LCT – Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP.

LFQI – Laboratório de Físico-Química de Interfaces do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP.

LTM – Laboratório de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da EPUSP.

MIBC – Metil-isobutil-carbinol.

OP – Óleo de pinho.

P.F. – Perda ao fogo

QSN – Querosene.

SE – *Sequest Eco*.

SPL – *Spent Pot Lining* (revestimento gasto de cubas).

SS – Silicato de sódio.

1. INTRODUÇÃO

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, mas é o metal mais jovem a ser produzido em escala industrial. Sua produção em escala industrial começou há apenas cento e vinte anos e, hoje, supera a produção de todos os metais não ferrosos somados. Neste contexto vemos a importância desse metal para a sociedade atual.

A obtenção do metal é feita através da redução eletrotérmica da alumina pelo processo metalúrgico conhecido como *Hall-Héroult*. Neste processo a alumina é dissolvida em um banho de criolita fundida dentro de uma cuba eletrolítica. O revestimento desta cuba, bem como os eletrodos de carbono, quando atingem o final de suas vidas úteis, são chamados de *Spent Pot Lining* – SPL. O nome em língua inglesa é o mais utilizado, mas encontra-se a tradução “revestimento gasto de cubas” em alguns livros e publicações. O SPL constitui graves problemas ambientais e de estocagem (necessidade de espaço físico), problemas que motivaram a realização deste trabalho.

A fim de melhor entender esses termos e suas importâncias, foi realizada uma revisão da literatura sobre a produção do alumínio, sobre o SPL e a flotação do grafite. É importante conhecer o processo de obtenção do metal para sabermos de onde vêm os componentes perigosos contidos no SPL.

O estudo do SPL será particularmente útil para sabermos qual é o impacto ambiental e econômico do mesmo, bem como quais são os meios atuais de se lidar com este rejeito tão perigoso e problemático.

O grafite contido no revestimento pode ser recuperado através da flotação. Trata-se de um processo que separa partículas através de diferenças de características da físico-química de interfaces, ou seja, fenômenos que ocorrem na superfície das partículas. A flotação ocorre em cubas com água onde é injetado ar e um estator “quebra” as bolhas em bolhas minúsculas. A diferenciação entre as partículas (espécies minerais) se dá pela maior ou menor hidrofobicidade das mesmas, ou seja, maior ou menor afinidade em serem envolvidas pelas bolhas de ar. As partículas envolvidas nas bolhas flutuam e formam uma espuma que é recolhida, enquanto as outras espécies afundam e são retiradas.

Após todos os conceitos necessários estarem fixados, será apresentado um estudo de caso do tratamento de blocos de SPL, desde sua recepção até a flotação final do grafite e obtenção de um produto final.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o de apresentar um novo processo para agregar valor aos processos de tratamento do SPL já existentes, através da flotação do grafite, recuperando o mineral de forma a atender às especificações industriais para diferentes usos do mesmo.

No estudo de caso prático será demonstrado um processo para a separação do grafite das outras espécies minerais, a partir da flotação realizada em escala de laboratório.

Os resultados obtidos indicam a viabilidade da separação e concentração do grafite contido no SPL, gerando um produto com alto teor que atende às especificações de diversas aplicações industriais. Estes resultados podem gerar interesse nas indústrias do alumínio para investir em estudos de viabilidade econômica do processo.

Para viabilizar tecnicamente este processo é necessário avaliar cuidadosamente o desprendimento das substâncias tóxicas presentes no SPL durante o processamento proposto. Somente então é que se poderá afirmar que o processo aqui apresentado será tecnicamente viável.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O ALUMÍNIO

O alumínio é um metal sólido à temperatura ambiente, leve, apresenta alta condutividade elétrica e térmica, alta resistência à corrosão e baixo ponto de fusão. Essas características conferem ao metal diversas aplicações em diversos setores como transportes, embalagens, construção civil, transmissão elétrica, utensílios domésticos, ferramentas, etc.

A possibilidade de ligar-se a outros elementos, modificando as suas propriedades, é a grande fonte de atração para o seu uso.

Na Grécia e Roma antigas empregava-se a pedra-ume, um sal duplo de alumínio e potássio, como adstringente em medicina e também para aumentar a durabilidade das cores para tinturaria (mordentes).

Apesar do alumínio ser o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre (8,1% em massa), nunca é encontrado livre. Suas aplicações industriais são relativamente recentes, sendo produzido em larga escala a partir do final do século XIX. Quando foi descoberto, notou-se a grande dificuldade em separá-lo da rocha mineral que o contém, por isso, por muito tempo, foi considerado um metal precioso, mais valioso que o ouro. Depois de desenvolvidos os processos industriais de obtenção do alumínio, o preço do mesmo caiu significativamente viabilizando o seu uso nas diversas aplicações conhecidas hoje.

A obtenção do alumínio metálico se dá em três etapas distintas. A primeira é a mineração e cominuição da bauxita (minério de alumínio de maior importância). Na segunda etapa, a alumina (Al_2O_3) é extraída através do processo *Bayer* e, na terceira etapa, é produzido o alumínio metálico através do processo *Hall-Hérault*.

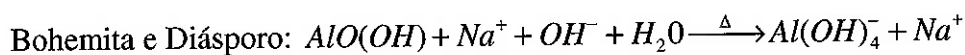
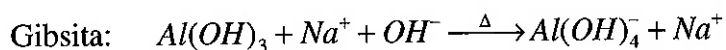
O fato das jazidas de bauxita serem grandes e a céu aberto permite a lavra do minério a custos baixos.

3.1.1. O PROCESSO *BAYER*

Em 1887 o químico austríaco *Karl Bayer*, trabalhando em São Petersburgo na Rússia para desenvolver um método de fornecer alumina à indústria de tecidos (a alumina era utilizada como mordente no tingimento do algodão) iniciou suas descobertas que culminariam em 1888 com o desenvolvimento do processo que leva seu nome. Hoje o Processo *Bayer* é utilizado virtualmente da mesma forma que quando foi inventado e produz praticamente toda a alumina mundial destinada à produção de alumínio.

O processo ocorre em quatro fases distintas: a) digestão, b) clarificação, c) precipitação e d) calcinação.

- a) **Digestão** – os minerais contendo alumina na bauxita são a gibsitita, a bohemita e o diásporo. Nesta fase eles são seletivamente extraídos dos componentes insolúveis da bauxita através de sua dissolução em um banho de hidróxido de sódio (soda cáustica):



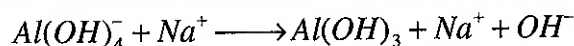
A sílica reativa reage com o hidróxido de sódio resultando em $Al_2O_3 \cdot Na_2O \cdot 3SiO_2$ e $2Al_2O_3 \cdot 2Na_2O \cdot 3SiO_2 \cdot nH_2O$ ($8 \leq n \leq 11$), denominada “bayerita”. Para cada kg de sílica reativa presente na cuba perde-se de 1,1kg a 2kg de Al_2O_3 e de 1kg a 3kg de Na_2O .

Um digestor é empregado no processo para que a reação ocorra de forma rápida. As condições do digestor (concentração, temperatura e pressão) são ajustadas de acordo com as propriedades do minério de bauxita. Minérios com grande concentração de gibbsita, podem ser processados a 140°C. Já para processar bohemita, são necessários de 200°C a 240°C. A pressão não é uma variável importante ao processo em si, mas é definida pela pressão de vapor – a 240°C a pressão é de aproximadamente 35 atmosferas.

Teoricamente altas temperaturas são sempre vantajosas. Mas neste processo a temperatura precisa estar muito bem controlada pois altas temperaturas resultam em corrosão do digestor e, o mais indesejável, a possibilidade de outros óxidos que não a alumina se dissolverem no líquido cáustico.

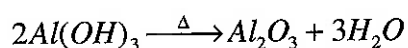
Ainda na etapa da digestão, é adicionado CaO ao processo para promover a diminuição, por precipitação, de íons fosfato e carbonato presentes no meio.

- b) **Clarificação** – depois da digestão os resíduos insolúveis da bauxita precisam ser separados da solução que contém a alumina. A solução é purificada ao máximo em filtros antes de ser enviada à fase de precipitação. A lama insolúvel que é formada é lavada e espessada para recuperar a soda cáustica que é reciclada para a fase de digestão.
- c) **Precipitação** – a solução isenta de sólidos é diluída e resfriada. Adicionam-se partículas (germes de cristalização) de óxido de alumínio tri-hidratado ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) e deixa-se precipitar por 30 horas sob agitação constante num sistema de precipitação de fluxo contínuo. A reação simplificada que ocorre é a seguinte:



O filtrado alcalino é concentrado por evaporação e, então, é retornado à etapa de digestão.

- d) **Calcinação** – após a precipitação, os sólidos presentes na suspensão são classificados e a fração granulométrica mais grossa é lavada, filtrada e calcinada a 1000°C para a produção do óxido de alumínio anidro (alumina), como mostra a reação abaixo:



As frações granulométricas menores retornam à fase de precipitação como germes de cristalização e a solução de aluminato de sódio sobrenadante retorna à digestão para receber outra porção de bauxita reiniciando o processo *Bayer*.

A Figura 1 abaixo representa o ciclo simplificado do processo *Bayer*:

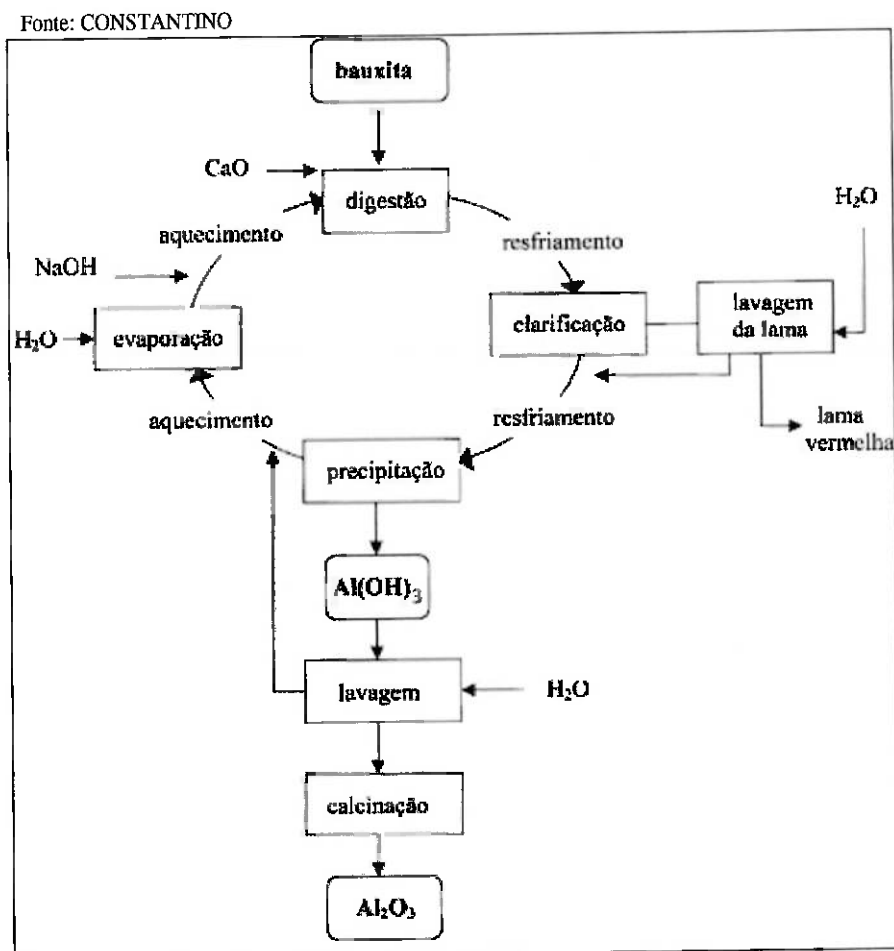
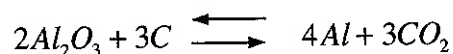


Figura 1 - Processo Bayer simplificado.

3.1.2. O PROCESSO HALL-HÉROULT

Em 1886 trabalhando separadamente e praticamente simultaneamente, o norte-americano *Charles Martin Hall* e o francês *Paul Louis Toussaint Héroult* descobriram e patentearam o processo de obtenção de alumínio por meio da redução eletrolítica da alumina dissolvida em banho fundido de criolita. Esse processo ficou conhecido como *Hall-Héroult* e revolucionou para sempre a indústria do alumínio.

O óxido de alumínio (alumina) obtido pelo processo *Bayer* é dissolvido em um banho de criolita (Na_3AlF_6) em cubas eletrolíticas e o alumínio é reduzido pela passagem de corrente elétrica segundo a reação global abaixo:



O carbono necessário à reação provém do ânodo presente na cuba eletrolítica. Um esquema da cuba está representado na Figura 2.

Fonte: ABAL

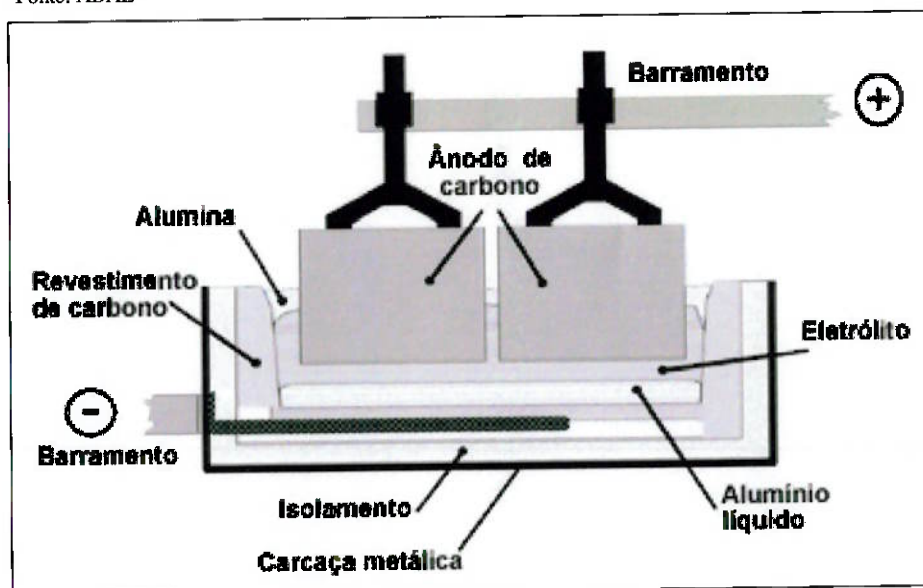


Figura 2 - Representação de uma cuba eletrolítica.

A cuba é feita de aço e possui um revestimento interno de tijolos refratários que fazem o isolamento térmico e elétrico. Revestindo internamente os tijolos existe uma camada de carbono (grafite) que faz o papel de cátodo. Os ânodos (feitos de coque com um “colante” de piche) encontram-se suspensos por uma superestrutura ao longo da cavidade da cuba, acoplada a uma barra anódica, podendo-se ajustar sua posição vertical à medida que os ânodos vão sendo consumidos.

Os materiais do eletrólito são adicionados à cavidade da cuba em torno dos ânodos. O eletrólito fundido é constituído principalmente de criolita (Na_3AlF_6), alumina (Al_2O_3) e os aditivos calcita (CaF_2) e fluorita (AlF_3). Estes aditivos têm a função de aumentar a condutividade do meio e abaixar o ponto de fusão da criolita de $1011^\circ C$ para $920^\circ C - 970^\circ C$ resultando em decréscimo do gasto de energia. O controle das concentrações de cada espécie é continuamente realizado pois o bom andamento do processo depende disso. Se a concentração dos aditivos for muito alta, a solubilidade da alumina diminui fazendo com que a produtividade caia. Se a concentração da alumina cair abaixo de 2%, ocorre o chamado “efeito anódico” onde a voltagem da célula aumenta rapidamente de 4,5V para até 60V. Por outro lado, se a concentração de alumina for muito alta, ocorre a formação de uma escória abaixo do alumínio fundido resultando na diminuição da condutividade elétrica da célula.

Cada cuba produz em média 300 kg de alumínio por dia. Então para atingir grandes produções, várias cubas são ligadas em série. A voltagem de cada uma varia de 4V a 6V, dos quais apenas 1,6V é necessário para a eletrólise em si. A diferença de voltagem é necessária para vencer resistências do circuito e gerar calor para manter o eletrólito em fusão. Apesar das baixas voltagens, a corrente elétrica é altíssima variando de 150.000A a 300.000A.

3.2. SPENT POT LINING (SPL)

Depois de um certo período de operação (de 4 a 5 anos), o revestimento de grafite (cátodo) das cubas eletrolíticas do processo *Hall-Héroult* tem que ser retirado devido ao efeito físico da temperatura e ao efeito químico dos constituintes do banho contido nas cubas. A esse revestimento gasto das cubas dá-se o nome de *Spent Pot Lining* (SPL). Outros fatores como mau uso da cuba (baixo controle da concentração das espécies) e desligamentos não programados resultam na necessidade de se trocar o revestimento. O SPL também é composto por restos dos ânodos de carbono já utilizados.

A composição do SPL é muito variável e, basicamente, depende do material refratário que lhe dá origem, da forma como é utilizado e qual seu ciclo de vida. Mas basicamente é composto por cianetos, fluoretos, substâncias orgânicas e metais como vemos nas tabelas 1 e 2. Mas os componentes que apresentam maior apelo ambiental são o cianeto e os sais solúveis de fluoreto. A elevada capacidade poluidora do SPL se dá ao fato de que, em contato com a água e com soluções ácidas, seus componentes mais tóxicos são facilmente lixiviados.

Tabela 1: Metais sólidos na composição do SPL.

<i>Substância</i>	<i>Concentração (mg/kg)</i>
Alumínio	1.260.000
Arsênio	< 21,0
Berílio	< 10,0
Cádmio	< 10,0
Cromo	91,0
Cobre	40,0
Chumbo	45,0
Mercúrio	< 0,2
Níquel	20,0
Selênio	< 15,0
Vanádio	35,0

Fonte: MARTINS

Tabela 2: Extrato solúvel lixiviável de não metais contidos no SPL.

<i>Substância</i>	<i>Concentração (mg/l)</i>
Cloreto	361
Cianeto total	15,0
Fluoreto	8.300
Nitrato	34,7
Fenol total	< 0,10
Sulfato	245,0
Surfactantes	0,64

Fonte: MARTINS

A cada ano são geradas mais de 500.000 toneladas de SPL pela indústria do alumínio mundialmente. O descarte seguro deste inevitável e perigoso rejeito é um desafio enfrentado por todos os produtores de alumínio. Em muitos casos o SPL é acomodado em aterros, mas

estudos sobre os componentes do rejeito geraram, em alguns países, leis para banir esta prática. Em consequência centenas de milhares de toneladas de SPL estão sendo estocados em muitos países esperando o desenvolvimento de métodos de descarte que sejam ao mesmo tempo seguros e bem sucedidos.

Diferentes projetos vêm sido desenvolvidos em países como Austrália, Canadá e Brasil para tentar solucionar o problema do acúmulo de SPL. No Brasil parte do SPL está sendo usada por cimenteiras como combustível em seus fornos. O processo diminui os poluentes do SPL mas gera uma escória bastante tóxica que também demanda estocagem especial. No Canadá uma usina-piloto para reciclagem do material será implantada em 2008 utilizando-se do processo conhecido como LCLL (*Low Caustic Leaching and Liming Process*) desenvolvido pela canadense Alcan. Já pesquisadores australianos desenvolveram um método batizado de *The Alcoa Portland SPL Process* em que após o tratamento do rejeito obtém-se dois produtos: fluoreto de alumínio, que é retornado ao processo *Hall-Hérault* e um material vítreo granulado denominado “areia sintética”. Esta areia tem a aprovação da *Environment Protection Authority of Victoria, Australia* para uso irrestrito desde que a concentração de flúor lixiviável não ultrapasse 15 ppm.

3.2.1. PROBLEMAS AMBIENTAIS DOS COMPONENTES DO SPL

Os principais poluentes contidos no SPL, ou devido à grande concentração, ou devido à elevada toxicidade são: o alumínio, o flúor e o cianeto.

De acordo com a ABNT, o SPL, devido à presença de cianeto e fluoreto, enquadra-se como resíduo perigoso (Classe I), segundo a norma NBR 10004 que trata de resíduos sólidos. Sua constituição média torna restrito seu armazenamento e deposição, sob a ótica das normas NBR 10005 (lixiviação de resíduos) e NBR 10006 (solubilização de resíduos).

O alumínio contido no SPL vai sendo depositado no revestimento durante a redução no processo *Hall-Hérault*. Em contato com solos ácidos, ocorre a hidrólise dos íons Al^{3+} . Isso causa a formação de hidróxidos de alumínio incompletos, que são ainda solúveis e, portanto tóxicos para as plantas. Nas águas o problema está nas formas de alumínio que apresentam carga (ex. Al^{3+}) que podem ser particularmente danosas para peixes e espécies de vida selvagem em meio ácido.

O flúor do SPL também adere ao revestimento durante o processo *Hall-Hérault*, proveniente da criolita, calcita e fluorita. Os impactos de grandes concentrações de fluoreto foram altamente documentados. Ele acumula-se no meio ambiente, afetando florestas, o pasto, a criação de animais e a vida selvagem. Em mamíferos o envenenamento por fluoreto pode assumir a forma de fluorose dentária, esquelética ou sistêmica. O flúor absorvido é retido nos tecidos ósseos do dente, e pode causar atrofia óssea e fluorose dentária.

O cianeto forma-se pela reação do carbono com o nitrogênio do ar a altas temperaturas (existentes na cuba eletrolítica). É extremamente tóxico e a ingestão de uma dose de 0,5mg a 1mg seria suficiente para matar instantaneamente um ser humano adulto. Age nos vertebrados como um asfixiante celular reagindo com o ferro trivalente da hemoglobina, interrompendo a oxigenação das células.

3.3. FLOTAÇÃO

3.3.1. INTRODUÇÃO

Os processos de separação mineral podem ser entendidos como a capacidade de se dar a um ou mais espécies componentes de uma mistura heterogênea uma velocidade diferente da velocidade mantida pelos demais componentes presentes no meio. Para que esses diferenciais de velocidade possam ser fornecidos às espécies é necessário que exista alguma diferença de propriedades físicas.

Como exemplos, os processos densitários tiram partido das diferenças de densidade existentes entre componentes que se deseja separar; os processos magnéticos se aproveitam das diferenças de susceptibilidade; os eletrostáticos de propriedades elétricas.

Já o processo de flotação (do inglês *froth flotation*, espuma flutuante numa livre tradução) baseia-se em propriedades muito menos evidentes que as vistas acima. É uma separação feita numa suspensão em água (polpa) que, como nos demais métodos, as partículas são obrigadas a percorrer um trajeto e, num dado instante, as partículas que se deseja separar são levadas a abandoná-lo, tomando um rumo ascendente. A diferenciação entre as espécies minerais se dá pela capacidade de suas partículas se prenderem a bolhas de gás (geralmente o ar). Se uma partícula consegue capturar um número suficiente de bolhas, a densidade do conjunto partículas-bolhas torna-se menor que a do fluido e o conjunto se desloca verticalmente para a superfície, onde fica retido e é separado numa espuma, enquanto que as partículas das demais espécies minerais mantêm sua rota inalterada. Em resumo, a flotação é um processo de separação de sólido-líquido, que anexa o sólido à superfície de bolhas de gás fazendo com que ele se separe do líquido.

Podemos ver na figura 3 o aspecto da espuma obtida na flotação de platina.

Fonte: PLATINUM TODAY

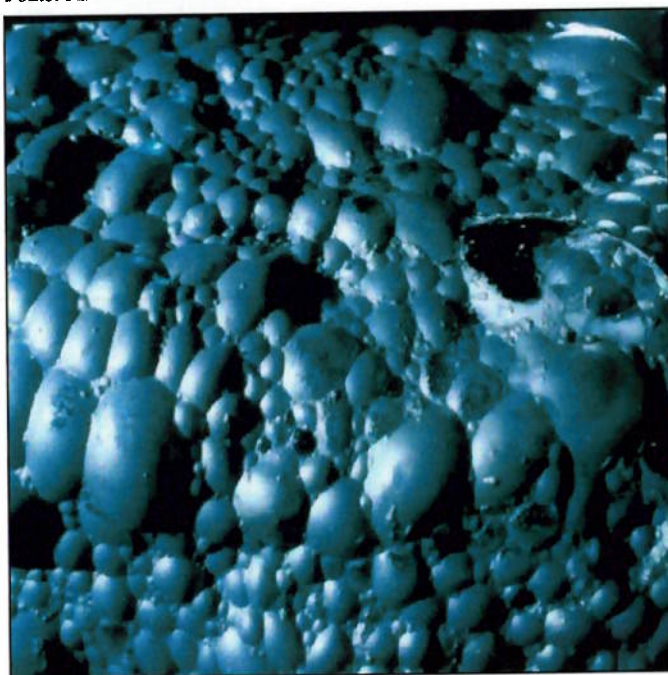


Figura 3 - Aspecto do flotado de platina.

Na flotação estão envolvidos os três estados da matéria - sólido, líquido e gasoso - sendo cada um deles composto por uma série de substâncias químicas. O minério (sólido pulverizado) é uma complexa mistura de minerais, em tal grau que cada partícula é uma fase diferente. O ar é uma mistura de gases (incluindo o oxigênio quimicamente reativo) e o líquido contém reagentes adicionados deliberadamente (exemplos: moduladores, coletores e espumantes) além dos outros minérios dissolvidos na água.

3.3.2. COLETORES E ESPUMANTES

Coletores são ativadores de superfície que adsorvem na superfície do sólido e preparam a superfície para aderir à bolha de ar e assim flotar até a superfície do líquido. Os coletores devem adsorver seletivamente para possibilitar a separação desejada. O coletor adsorvido deve impor características hidrofóbicas* à superfície das partículas, para que ocorra a adesão entre o sólido e a bolha. Um coletor ideal é uma substância que adere com a ajuda de grupos funcionais à superfície do sólido, geralmente pela troca de ligantes ou interação eletrostática, e expõe grupos hidrofóbicos para a água.

Os espumantes possuem estrutura parecida com a dos coletores mas têm um caráter funcional diferente fundamental: o radical dos espumantes reage com a água e não com a superfície da espécie mineral. Logo enquanto os coletores tendem a migrar para a interface sólido-gás, os espumantes migram para a interface líquido-gás.

O óleo de pinho é um espumante natural que de tão utilizado tem seu cheiro associado ao processo de flotação. É compatível com a maioria dos coletores, tem baixo custo e é utilizado preferencialmente em circuitos alcalinos.

Um espumante sintético muito utilizado é o metil-isobutil-carbinol (MIBC). É um álcool espumante que fornece uma espuma muito aberta, que permite uma boa drenagem da ganga favorecendo, portanto, a seletividade do processo.

3.3.3. MODULAÇÃO DA COLETA

Existem coletores que são muito energéticos e não diferenciam as partículas quando da adsorção. Estes coletores são chamados de não seletivos. Mas existem substâncias que podem ser adicionadas para fazer com que a coleta se torne seletiva, ou seja, fazer com que o coletor adsorva à uma espécie mineral da polpa sem modificar as demais. Essa substância é chamada de depressor.

Já em algumas situações acontece o inverso, ou seja, o coletor não tem energia suficiente e não adsorve nenhuma espécie. Então podemos adicionar uma terceira substância que ative seletivamente a superfície da espécie tornando-a atrativa ao coletor, esta substância é conhecida como ativador.

Existe ainda uma classe de reagentes conhecidos por reguladores. Eles controlam o pH, que é uma das variáveis mais importantes que afetam a coleta.

* Hidrofobicidade: expressa a tendência das espécies minerais terem mais afinidade pela fase gasosa que pela líquida.

Para que o reagente, seja ele coletor, ativador ou depressor, aja no sistema é necessário que se dê um tempo para que as partículas minerais e as moléculas do reagente tenham chance de se conectarem. Esta operação é denominada condicionamento e é realizada em máquinas conhecidas como condicionadores. O condicionamento é feito com alta porcentagem de sólidos, para quase todas as espécies minerais, para aumentar a probabilidade de que as gotículas de reagente e as partículas se encontrem.

O condicionador é um tanque cilíndrico, de diâmetro e altura praticamente iguais. Sobre o tanque encontra-se uma viga que sustenta o mecanismo de acionamento de um eixo, na ponta do qual está um hélice que agita a polpa.

3.3.3. CIRCUITOS DE BENEFICIAMENTO

Como nas outras operações de concentração, na flotação também é difícil obter o teor e a recuperação desejados em uma única etapa. Usualmente executa-se uma primeira flotação, chamada "*rougher*", onde se obtém um concentrado pobre e um rejeito que ainda contém teores dos minerais úteis. O concentrado é re-lavado numa segunda flotação, denominada "*cleaner*", onde é produzido um concentrado final e um rejeito de teor elevado. O rejeito do estágio *rougher* é repassado numa outra flotação, chamada "*scavenger*", onde se obtém um rejeito muito pobre e, portanto, o rejeito final e um concentrado que reúne os minerais úteis que estavam no rejeito *rougher*, mas que é pobre para ser considerado produto final. Tanto o rejeito *cleaner* como o concentrado *scavenger* ainda contém minerais úteis e por isso são retornados à célula *rougher*. O circuito fica como o mostrado na figura 4. Geralmente são necessários mais estágios *cleaner* para obter teores ou recuperações maiores ou mesmo eliminar contaminantes.

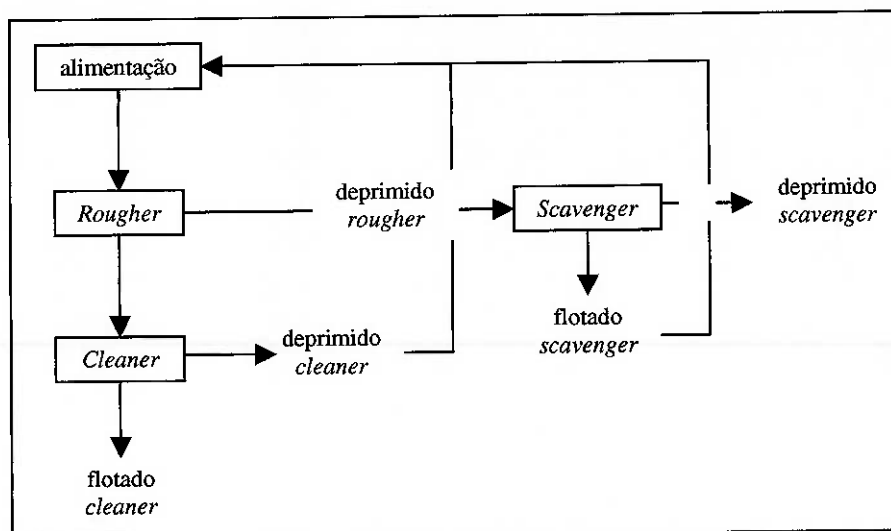


Figura 4 - Circuito convencional de flotação.

3.4. O GRAFITE

O carbono possui duas alotropias cristalinas naturais: o grafite e o diamante. Cada qual possui suas propriedades e estruturas distintas. Na figura 5 temos uma representação de grafite natural.

Fonte: AZOM



Figura 5 - Grafite natural.

O nome grafite deriva do grego “graphos” que significa escrever. O material é geralmente preto-acinzentado e opaco. O grafite é um material único pois possui propriedades tanto de metal quanto de não-metal. Ele é flexível mas não elástico, possui altas condutividades térmicas e elétricas além de ser altamente refratário e quimicamente inerte. Possui baixa absorção de raios-X e nêutrons sendo muito útil em aplicações na indústria nuclear.

Essa combinação não usual de propriedades é devido à estrutura cristalina do grafite (figura 6). Os átomos de carbono estão arranjados em um sistema hexagonal, plano, anelar e condensado. As camadas são empilhadas paralelamente umas às outras (vista ativa). Os átomos dentro dos anéis são fortemente unidos por ligações covalentes, enquanto as camadas são ligadas por interações fracas de *Van der Waals*. O alto grau de anisotropia no grafite, é resultado dos dois tipos de ligação agindo em diferentes direções cristalográficas. Por exemplo, a habilidade do grafite formar um sólido filme lubrificante vem dessas duas contrastantes ligações químicas. O fato das fracas forças de *Van der Waals* governarem as ligações entre as camadas individuais, permite que as mesmas deslizem uma sobre as outras tornando o grafite um ótimo lubrificante.

Fonte: AZOM

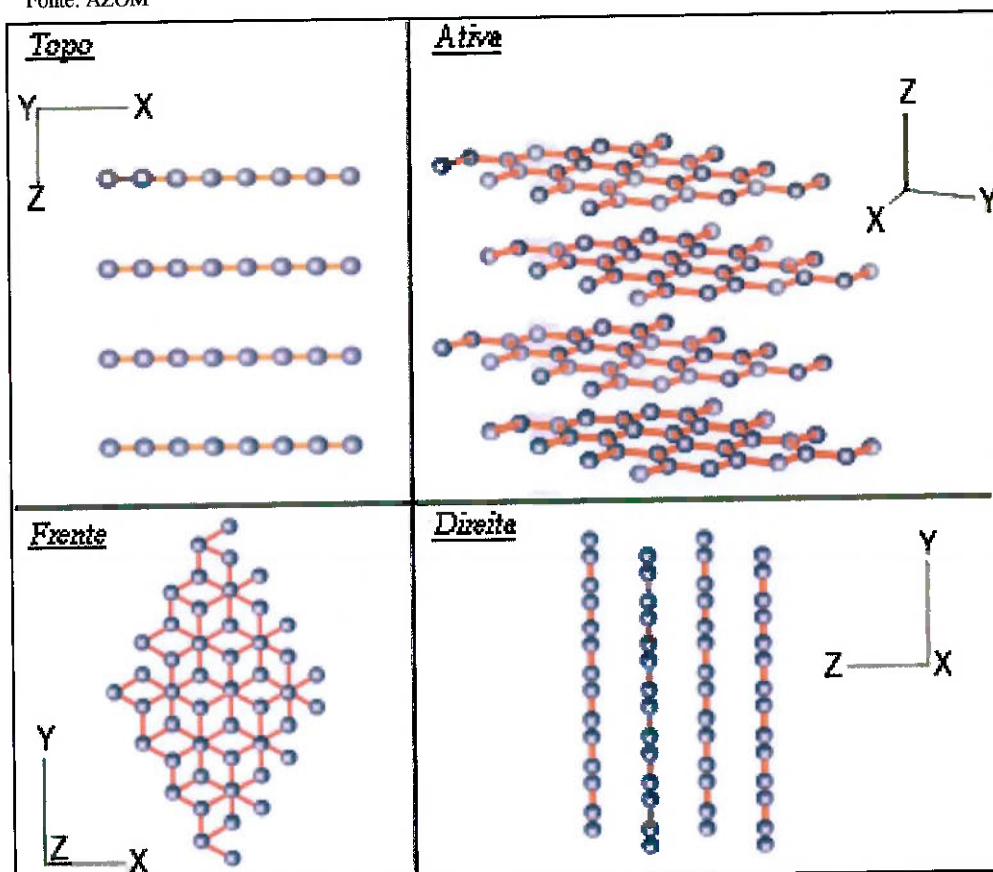


Figura 6 - Estrutura cristalina do grafite.

3.4.1. CLASSIFICAÇÕES DO GRAFITE

O grafite pode ser classificado em natural ou sintético. O grafite natural é um mineral constituído de carbono grafítico. A maior parte dos grafites naturais, quando lavrados, contêm outros minerais associados, então faz-se necessário uma considerável quantidade de beneficiamento, como por exemplo a flotação, para concentrar o grafite. O grafite natural é um excelente condutor de calor e eletricidade, é estável à variações de temperatura além de ser um material altamente refratário com um ponto de fusão altíssimo de 3650°C.

O grafite natural é sub-classificado em três tipo: amorfo, em flocos e cristalino.

a) Grafite Amorfo.

É o que apresenta a menor quantidade de carbono grafítico dos grafites naturais. No entanto o nome “amorfo” é mal empregado já que o material é cristalino. Este tipo de grafite natural é encontrado na forma de pequenas partículas em depósitos de carvão. O grafite contido vai de 25% a 85% dependendo das condições geológicas. Ocorre principalmente no México, Coreia do Norte, Coreia do Sul e Áustria.

b) Grafite em Flocos.

É encontrado em rochas metamórficas uniformemente distribuído através do corpo de minério com teores de carbono variando de 5% a 40%. O grafite em flocos é removido pela flotação com flotados de concentrações entre 80% e 90% de grafite. Ocorre em quase todas as partes do mundo.

c) Grafite Cristalino.

Veios de grafite cristalino são originados, acredita-se, à partir de depósitos de óleo cru que, com o tempo, variações de temperatura e pressão, se converteram em grafite. A pureza deste tipo de grafite é maior que 90% e é minerado comercialmente apenas no Sri Lanka.

O grafite sintético pode ser produzido à partir de coque e piche. Tende a possuir elevada pureza apesar de não ser tão cristalino como o grafite natural. Existe essencialmente dois tipos de grafite sintético, sendo o primeiro carbono puro produzido à partir de coque de petróleo calcinado e piche em um forno elétrico. O segundo tipo de carbono sintético é produzido aquecendo piche de petróleo calcinado a 2800°C. Geralmente o grafite sintético tende a possuir uma densidade menor, maior porosidade e maior resistência elétrica que o natural. Sua maior porosidade o torna inútil como refratário.

3.4.2. APLICAÇÕES DO GRAFITE**a) Materiais refratários.**

Devido à sua capacidade de resistir à altas temperaturas, além de ser quimicamente inerte, o grafite é um ótimo material refratário. Ele é usado na produção de tijolos refratários, em particular dos “Mag-Carbon” (Mg – C), tijolos de carbono e magnésio. Também é utilizado na fabricação de cadinhos e cubas para reter metais fundidos além de ser um material muito usado nos refratários das fundições de aço. Nesta aplicação o grafite em flocos é misturado com alumina e zircônia e é prensado isostaticamente para formar componentes utilizados no controle do fluxo de aço derretido e para proteger o aço da oxidação.

Na produção de ferro blocos de grafite são utilizados para formar parte do revestimento do alto-forno. Sua resistência estrutural à altas temperaturas, resistência à choques-térmicos, alta condutividade térmica, baixa expansão térmica e boa resistência química são de importância superior para esta aplicação.

Os eletrodos utilizados em muitos fornos eletro-metalúrgicos são fabricados de grafite, como por exemplo nos fornos de arco elétrico para produção de aço.

b) Indústria química.

Na indústria química o uso do grafite está relacionado a processos envolvendo altas temperaturas, como por exemplo a produção de fósforo e carbureto de cálcio nos fornos de arco. O grafite é usado como ânodo em alguns processos eletrolíticos em meio aquoso como a produção de halogênios (cloro e flúor).

c) Indústria nuclear.

Grafite de alta pureza é usado em larga escala para a produção de componentes reflexivos para os reatores nucleares. O grafite é muito útil devido à sua baixa absorção de nêutrons, alta condutividade térmica e resistência à altas temperaturas.

d) Aplicações elétricas.

A principal aplicação do grafite como material elétrico é como escovas em motores elétricos.

e) Aplicações mecânicas.

É usado amplamente em várias aplicações como: anéis de pistão, mancais, eixos, etc. Selantes à base de carbono são utilizados em transmissões e bombas de combustível em muitos motores de aeronaves.

f) Outras aplicações.

O grafite amorfo tem aplicações em: metalurgia, produção de lápis, refratários, lubrificantes, fabricação de tintas.

O grafite cristalino é usado em: baterias, lubrificantes, moinhos.

O grafite em flocos é predominantemente utilizado em refratários mas podemos citar a fabricação de lápis como um uso secundário.

Já o grafite sintético é usado em: aplicações na indústria aeroespacial, baterias, escovas para motores elétricos.

A tabela 3 apresenta as especificações para alguns usos do grafite.

Tabela 3: Especificações para uso do grafite.

<i>Tipo de Grafite</i>	<i>Tamanho das partículas</i>	<i>% Carbono</i>	<i>Usos sugeridos</i>
Amorfo	20 μm	80%	Lubrificantes – lápis – revestimento.
	40% < 200 mesh Tyler	84%	Bateria, lona de freio, lubrificantes.
	60% < 325 mesh Tyler	70%	Revestimento para fundição e outros.
	88% < 325 mesh Tyler	65%	Tinta – compostos antiincrustantes para caldeira-refratários.
	90% < 325 mesh Tyler	80%	Baterias, lubrificantes.
Flocos	-10# + 80# (Tyler)	86%	Cadinhos-refratários.
	-30# + 100# (Tyler)	80%	Cadinhos-refratários e tampões.
	-60# + 325# (Tyler)	95%	Gaxeta, lona de freio, lubrificantes.
Artificial	96% < 200# (Tyler)	99%	Lubrificantes, hastes de solda, revestimento.
	99% < 325# (Tyler)	99%	Lubrificantes e revestimentos.

3.4.3. FLOTAÇÃO DO GRAFITE

O grafite juntamente com o enxofre são minerais intensamente hidrofóbicos e, para flotá-los, é suficientemente comum adicionar apenas um espumante como, por exemplo, o óleo de pinho e o MIBC. O espumante não age como coletor, pois as características naturais do grafite garantem sua flotação.

A característica hidrofóbica do grafite aparece ao cominuí-lo. As forças de *Van der Waals* que unem as camadas do grafite são eliminadas deixando à mostra superfícies apolares, ou seja, fortemente hidrofóbicas, favorecendo a flotabilidade natural do grafite.

Partículas de até 10# Tyler (1,6 mm) podem ser flotadas sem dificuldades. Quando a flotação do grafite utilizando somente um espumante não é plenamente satisfatória, pode-se obter melhorias adicionando à polpa pequenas quantidades de hidrocarbonetos, como por exemplo querosene ou óleo-combustível.

Por ser um material naturalmente hidrofóbico e dependendo de qual outra espécie mineral está associada ao grafite, pode ser necessário o uso de depressores para que o grafite não arraste essas outras espécies consigo para a espuma. Também é necessário que a célula esteja muito bem regulada para produzir muitas bolhas para que a flotação não seja muito demorada e arraste outras partículas para a espuma. Em alguns casos usa-se injetores de ar comprimido em furos laterais da célula para ajudar o processo.

4. ESTUDO DE CASO – RECUPERAÇÃO DO GRAFITE CONTIDO NO SPL

4.1. RECEPÇÃO E PREPARAÇÃO

Foi recebida uma amostra de SPL em um tambor de 200 litros para ser estudada no Laboratório de Tratamento de Minérios e Rejeitos Industriais da EPUSP (LTM). Quando aberto o tambor, o material liberou forte cheiro de amônia. Depois de arejado o seguinte processamento foi dado ao material:

- a) “Marroamento” manual para obter blocos menores do produto para que pudessem ser britados no britador do LTM;
- b) Britagem em britador de mandíbulas aberto em 2”;
- c) Peneiramento do produto da britagem em 1”. O *oversize* do peneiramento foi rebritado no mesmo britador mas agora aberto em 1”;
- d) Peneiramento do produto da britagem em $\frac{1}{2}$ ”. O *oversize* do peneiramento foi rebritado no mesmo britador mas agora aberto em $\frac{1}{2}$ ”;
- e) Homogeneização do produto desta britagem em pilha alongada;
- f) Retirada de alíquotas de 13 kg.

O material é extremamente resistente, tanto ao marroamento, quanto à britagem. O material se quebra com fratura laminar, produzindo partículas de baixa cubicidade.

Uma das alíquotas de 13 kg foi submetida à análise granulométrica a seco e forneceu os resultados mostrados na tabela 4.

Tabela 4: Análise granulométrica da amostra de cabeça.

Malha (Tyler)	Abertura em mm	% Retido	% Retido acumulado
1"	25,40	0,00	0,00
1/2"	12,70	47,90	47,90
1/4"	6,35	25,70	73,60
6	3,36	8,60	82,20
10	1,68	5,90	88,10
20	0,84	3,60	91,70
35	0,42	2,70	94,40
65	0,21	1,70	96,10
Fundo	-	3,90	100,00

A fração -35# +65# teve sua densidade real medida utilizando o picnômetro, com água. Foram realizadas três medidas e a média aritmética de 2,5 t/m³ foi adotada. Durante o procedimento, notou-se a ocorrência do que pareceu ser uma reação química, com desprendimento de gases.

4.2. MINERALOGIA

Uma amostra foi enviada ao Laboratório de Caracterização Tecnológica da EPUSP (LCT) para determinação de sua composição mineralógica por difratometria de raios-X pelo método do pó. A identificação das fases cristalinas, discriminadas na tabela 5, foi obtida por comparação com o banco de dados do ICDD – *International Centre for Diffraction Data*. O certificado correspondente encontra-se no Anexo A.

Tabela 5: Composição mineralógica da amostra de cabeça (difratometria de raios-X).

ICDD	Nome do Composto	Fórmula Química
00-035-0816	Fluorita	CaF ₂
00-025-0284	Grafite	C
00-025-0772	Criolita	Na ₃ AlF ₆
01-089-0951	Magnetita	Fe ₃ O ₄
01-079-2288	Diaoiudaoita	NaAl ₁₁ O ₁₇
01-079-0994	Nefelina	Na _{6,8} (Al _{6,3} Si _{9,7} O ₃₂)
01-071-1127	Coríndon	Al ₂ O ₃
00-005-0613	Arcanita	K ₂ SO ₄

As espécies nefelina, coríndon e arcanita têm “possível presença”.

4.3. CURVA DE LAVABILIDADE EXPLORATÓRIA

Em caráter exploratório, para tentar obter um conhecimento mais próximo do material, foi levantada a curva de lavabilidade da fração -20# +35#. Foram utilizadas as seguintes densidades: 2,2 t/m³, 2,3 t/m³, 2,4 t/m³, 2,6 t/m³ e 2,8 t/m³. Como meio denso foi utilizado o bromofórmio diluído por álcool etílico. A separação foi feita em béquer, com duas agitações de afundado e flutuado, para liberar partículas eventualmente aprisionadas no leito, por separação.

A seqüência de separações foi a seguinte:

- Iniciou-se a separação em líquido de densidade 2,6 t/m³, obtendo-se :
flutuado 1: (-2,6 t/m³) e o afundado 1: (+2,6 t/m³);
- O afundado 1 foi separado em líquido de densidade 2,8 t/m³, obtendo-se:
flutuado 2: (-2,8 t/m³ +2,6 t/m³) e o afundado 2: (+2,8 t/m³);
- O flutuado 1 foi separado em líquido de densidade 2,4 t/m³, obtendo-se:
flutuado 3: (-2,4 t/m³) e o afundado 3: (+2,4 t/m³ -2,6 t/m³);
- O flutuado 3 foi separado em líquido de densidade 2,2 t/m³, obtendo-se:
flutuado 4: (-2,2 t/m³) e o afundado 4: (+2,2 t/m³ -2,4 t/m³);
- O afundado 4 foi separado em líquido de densidade 2,3 t/m³, obtendo-se:
flutuado 5: (-2,2 t/m³ +2,3 t/m³) e o afundado 4: (-2,4 t/m³ +2,3 t/m³);

A tabela 6 apresenta os resultados das separações:

Tabela 6: Resultados de lavabilidade por fração densitária – Fração -20# +35#.

Densidade t/m ³	% Massa	P.F. (%)	F (%)	Na ₂ O (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	SO ₃ (%)
-2,2	17,90	83,60	4,55	7,46	1,70	0,59	1,10	0,42
+2,2 -2,3	12,40	77,10	7,71	9,29	2,62	0,59	1,97	0,22
+2,3 -2,4	37,00	62,00	14,70	14,20	5,68	0,56	2,26	0,16
+2,4 -2,6	16,90	33,70	21,70	23,60	14,10	3,06	3,13	0,15
+2,6 -2,8	11,30	8,77*	32,40	37,80	13,50	4,64	2,02	0,07
+2,8	4,50	10,70*	38,30	28,30	17,20	3,01	1,05	0,11

* - valores duvidosos devido à fusão do material decorrente da presença de crolita na amostra.

Neste trabalho para a avaliação do teor de carbono foi utilizada a **perda ao fogo (P.F.)**. A amostra é calcinada em condições oxidantes e a perda de massa expressa a quantidade de carbono e materiais voláteis menos o eventual ganho de massa da matéria mineral (quando há CaCO₃ ou FeS₂ nas cinzas, o que não é o caso). As dosagens de carbono, neste trabalho, serão feitas por perda ao fogo e a dos demais elementos por fluorescência de raios-X.

Os resultados da tabela 6 mostram que, na granulometria -20# +35#, o grafite não está liberado pois a separação na densidade de $2,4 \text{ t/m}^3$, gera um flutuado com recuperação de massa de 67,3% com os seguintes teores - % (tabela 7):

Tabela 7: Teores do flutuado na densidade $2,4 \text{ t/m}^3$, fração -20# +35#.

P.F. na Alimentação	P.F.	F	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
54,60	70,50	10,70	11,50	4,10	0,60	1,90

Foi preparada uma amostra com granulometria -65# +325# e foi levantada a curva de lavabilidade em centrífuga, usando os mesmos líquidos orgânicos, na seguinte sequência:

- Separação em $2,4 \text{ t/m}^3$, resultando os produtos: $(+2,4 \text{ t/m}^3)$ e $(-2,4 \text{ t/m}^3)$;
- Separação do $-2,4 \text{ t/m}^3$ em $2,3 \text{ t/m}^3$, resultando: $(-2,4 \text{ t/m}^3 + 2,3 \text{ t/m}^3)$ e $(-2,3 \text{ t/m}^3)$;
- Separação do $-2,3 \text{ t/m}^3$ em $2,2 \text{ t/m}^3$, resultando: $(-2,3 \text{ t/m}^3 + 2,2 \text{ t/m}^3)$ e $(-2,2 \text{ t/m}^3)$.

Os resultados estão na tabela 8:

Tabela 8: Resultados de lavabilidade por fração densitária – Fração -65# +325#.

Densidade t/m^3	% Massa	P.F. (%)	F (%)	Na ₂ O (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	SO ₃ (%)
-2,2	43,50	87,70	2,07	3,79	2,67	0,74	1,61	0,38
+2,2 -2,3	21,30	80,50	3,78	3,14	7,31	0,98	3,02	0,10
+2,3 -2,4	16,30	66,20	8,94	6,26	11,80	1,76	3,52	0,11
+2,4	18,90	20,80	-	18,20	34,40	15,60	5,80	0,13

É evidente que ocorreu liberação adicional ao se passar de -20# para -65#. A massa flutuada em $2,2 \text{ t/m}^3$ aumentou de 17,9% para 43,5% e a quantidade de P.F. nesta fração densitária aumentou de 83,6% para 87,7%.

Concluimos portanto que devemos trabalhar com as frações mais finas, ou seja, com produto de moagem, tanto para obter maior recuperação como para obter um concentrado de maior qualidade. Com isso a flotação mostra-se ser o melhor processo a ser adotado, colocando como meta obter um concentrado da flotação com as características da fração densitária $-2,2 \text{ t/m}^3$ da tabela 8.

4.4. MOAGEM DA AMOSTRA PARA ENSAIOS DE FLOTAÇÃO

Uma das alíquotas de 13 kg da britagem foi peneirada a seco em 65#, moída em moinho de martelos com grelha de $\frac{1}{4}$ " (6,3 mm). O produto desta moagem foi peneirado em 65# e o oversize retornou ao moinho e o produto da segunda moagem foi peneirado novamente em 65#.

O oversize do peneiramento foi moído em moinho de jarros simulando uma moagem contínua em circuito fechado a 65#, até 95% passante nesta malha. O produto da moagem do

moinho de jarros foi misturado e homogeneizado com as duas frações -65# obtidas na moagem com moinho de martelos.

A tabela 9 mostra a distribuição granulométrica obtida:

Tabela 9: Distribuição granulométrica do produto da moagem.

Malha (Tyler)	Abertura em mm	% Retido
65	0,208	4,3
100	0,147	24,5
150	0,104	17,2
200	0,074	14,8
270	0,053	8,1
325	0,044	2,9
Fundo	-	28,3

O produto da moagem foi homogeneizado em pilha alongada e quarteado em alíquotas de 150 g. Estas alíquotas foram acondicionadas em sacos plásticos e destinadas aos ensaios de flotação, lixiviação, análise granulométrica, análise química de cabeça, mineralogia, etc.

A tabela 10 abaixo mostra que os resultados da amostra do produto de moagem enviado para análise química compararam-se muito bem com a alimentação da curva de lavabilidade calculada a partir da ponderação das diferentes frações (tabela 6).

Tabela 10: Comparação da análise química do produto de moagem com os cálculos de teores da alimentação da curva de lavabilidade.

-	P.F.	F	Na₂O	Al₂O₃	SiO₂	CaO
Análise química	54,1	15,6	17,4	7,53	1,70	2,47
Alimentação lavabilidade	54,6	16,3	17,3	7,4	1,6	2,1

4.5. ENSAIOS EXPLORATÓRIOS DE FLOTAÇÃO

Os ensaios exploratórios utilizaram os reagentes e condições operacionais consagrados pela literatura. Logo como o grafite é o exemplo clássico de mineral hidrófobo, não foram utilizados coletores, sendo apenas aplicados espumantes e depressores.

Foram selecionados como espumante, o metil-isobutil-carbinol (MIBC) e o óleo de pinho (OP). Como depressores da matéria mineral, foram selecionados o *Sequest Eco* (SE), um tanino industrializado fornecido pela Clariant e o silicato de sódio (SS). Nos ensaios exploratórios também foi utilizado o querosene (QSN) como reforçador da hidrofobicidade.

Como as quantidades de reagentes para os ensaios eram muito pequenas, sua dosagem foi feita pesando gotas de agulha de seringa hipodérmica na balança de precisão do Laboratório de Físico-Química de Interfaces da EPUSP (LFQI). Foram pesadas gotas de OP, MIBC e QSN. O SS e o SE foram preparados em soluções diluídas e dosados com pipeta.

Após cada ensaio, a célula e a máquina de flotação foram lavadas sucessivamente com água e com solução de soda cáustica e de ácido clorídrico, para eliminar quaisquer traços de reagentes.

Primeiramente foram realizados quatro ensaios exploratórios qualitativos com quantidades crescentes de:

- Ensaio 1: MIBC;
- Ensaio 2: OP;
- Ensaio 3: OP + QSN;
- Ensaio 4: MIBC + QSN.

Examinando visualmente os produtos e as massas de flotado e deprimido ficou evidente a superioridade do OP sobre o MIBC, que foi abandonado. Foram então programados e executados os ensaios mostrados na tabela 11, que apresenta as massas do flotado e do deprimido em porcentagem.

Tabela 11: Ensaios exploratórios de flotação – primeira etapa.

Ensaio	Dosagens (g/t)			Massas %	
	OP	SE	SS	Flotado	Deprimido
5	<i>Ensaio com MIBC</i>			<i>ABANDONADO</i>	
6	150	-	-	31,1	68,9
7	300	-	-	55,7	44,3
8	300	13,3	-	59,0	51,0
9	<i>Ensaio com MIBC</i>			<i>ABANDONADO</i>	
10	<i>Ensaio com MIBC</i>			<i>ABANDONADO</i>	
11	300	-	100	52,3	47,7
12	<i>Ensaio com MIBC</i>			<i>ABANDONADO</i>	
13	300	46,7	-	52,9	47,1
14	<i>Ensaio com MIBC</i>			<i>ABANDONADO</i>	

Para uma melhor análise os melhores ensaios foram separados e tabelados (tabela 12):

Tabela 12: Ensaios exploratórios de flotação – primeira etapa – com melhor recuperação em massa.

Ensaio	Dosagens (g/t)			Massas %
	OP	SE	SS	Flotado
6	150	-	-	31,1
7	300	-	-	55,7
8	300	13,3	-	59,0
11	300	-	100	52,3
13	300	46,7	-	52,9

Fica evidente que a recuperação em massa aumenta com a dosagem de óleo de pinho. A adição de depressor (SE ou SS) teve o efeito de aumentar a recuperação do flotado.

Definida a quantidade de 300 g/t de OP como a mais interessante, passamos a estudar o efeito do QSN no aumento da hidrofobicidade do grafite, além de sua interação com os depressores.

Foram então programados e executados os ensaios mostrados na tabela 13, que apresenta a massa do flotado em porcentagem. O ensaio número 7 foi reproduzido na tabela para comparação.

Tabela 13: Ensaios exploratórios de flotação – segunda etapa.

Ensaio	Dosagens (g/t)				Massas %
	OP	QSN	SE	SS	Flotado
7	300	-	-	-	55,7
27	300	300	-	-	73,9
28	300	300	-	100	82,4
29	300	300	46,7	-	79,0

Notamos claramente que o querosene aumenta a recuperação em massa, assim como ambos os depressores.

4.6. ENSAIOS DE FLOTAÇÃO COM RELAVAGEM

Os ensaios executados até o momento se resumem a uma única operação de flotação, designada como *rougher*. Como visto na revisão bibliográfica, a prática industrial recomenda a flotação em estágios sucessivos. Os concentrados relavados (*cleaner*) aumentam o seu teor; os rejeitos relavados (*scavenger*) também aumentam seu teor logo a recuperação é maior.

Podem ser multiplicados os estágios *cleaner* de modo a obterem-se teores sucessivamente mais elevados para o concentrado. O estágio *scavenger* geralmente é único. Os concentrados e deprimidos intermediários são recirculados.

Foi programado um ensaio com os três estágios: *rougher*, *cleaner* e *scavenger*. Uma amostra de 300g foi flotada no estágio *rougher* com 300 g/t de OP, 300 g/t de QSN e 100 g/t de SS. O deprimido *rougher* recebeu mais 56 g/t de OP, 54 g/t de QSN e 20 g/t de SS. O flotado *rougher* não recebeu qualquer quantidade adicional de reagentes. A figura 7 ilustra os fluxos do ensaio 30 e a tabela 14 mostra os produtos obtidos.

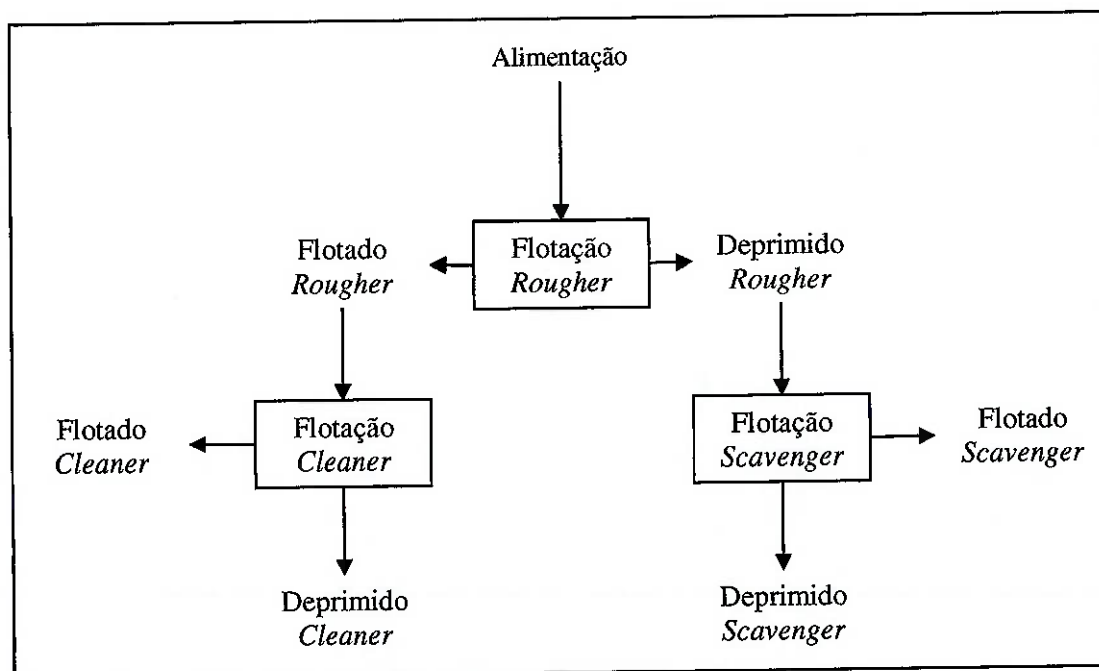


Figura 7 - Circuito utilizado no ensaio 30.

Tabela 14: Resultados do ensaio 30 de flotação.

Ensaio	Etapa	Teores (%)						Massas			Recuperação C* (%)
		P.F.	F	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	(g)	(%)	Inicial	
30	flotado cleaner	74,50	6,35	5,76	8,80	1,06	2,57	151,7	58,2	260,8	66,36
	deprimido cleaner	66,7	7,88	7,93	10,70	2,19	3,14	47,4	18,2	260,8	18,56
	flotado scavenger	61,70	6,85	9,19	16,10	2,04	2,58	25,6	9,8	260,8	9,27
	deprimido scavenger	27,40	15,00	16,30	24,60	9,66	3,70	36,1	13,8	260,8	5,81
	Alimentação	65,31	7,787	7,95	12,05	2,55	2,83	-	100,0	-	100,00

* - estimada pela perda ao fogo (P.F.).

Outros três ensaios foram realizados, o ensaio 31 em que o circuito utilizado é o esquematizado na figura 8. Uma amostra de 300g foi flotada no estágio *rougher* com 400 g/t de OP, 400 g/t de QSN e 150 g/t de SS. O deprimido *rougher* recebeu 50 g/t de OP, 50 g/t de QSN e 30 g/t de SS. O segundo *scavenger* recebeu mais 50 g/t de OP, 50 g/t de QSN e 20 g/t de SS. O flotado *rougher* não recebeu quantidade adicional de reagente. A tabela 15 indica os resultados obtidos.

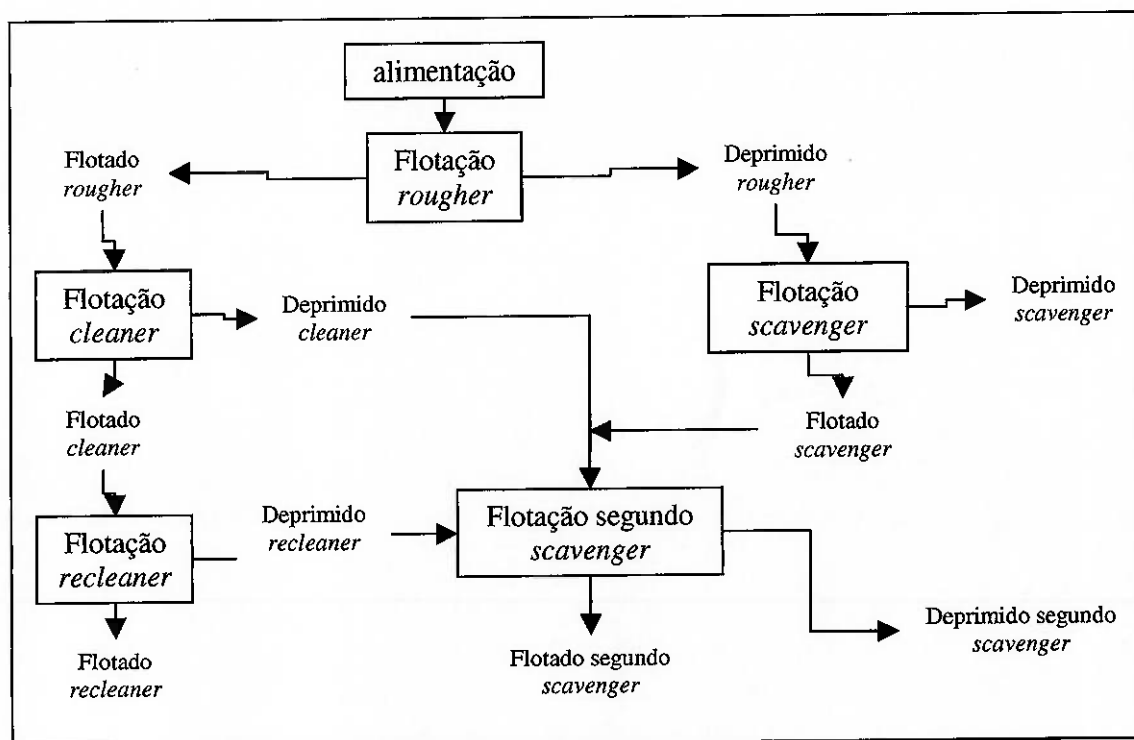


Figura 8 - Circuito utilizado no ensaio 31.

Tabela 15: Resultados do ensaio 31 de flotação.

Ensaio	Etapa	Teores (%)						Massas			Recuperação C* (%)
		P.F.	F	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	(g)	(%)	Inicial	
31	flotado recleaner	75,40	5,51	4,71	9,06	1,22	3,01	159,8	63,2	253,0	72,92
	flotado 2º scavenger	67,60	5,90	6,75	13,80	1,80	2,76	49,2	19,4	253,0	20,13
	deprimido 2º scavenger	42,90	10,80	12,60	18,90	6,73	4,35	13,2	5,2	253,0	3,43
	deprimido scavenger	24,90	14,80	17,10	23,90	11,40	3,71	30,8	12,2	253,0	4,64
	Alimentação	66,04	6,99	7,03	12,30	2,86	3,12	-	100,0	-	101,12

* - estimada pela perda ao fogo (P.F.).

O ensaio 32 obedeceu à mesma seqüência de operações do ensaio 31, mas teve as adições de reagentes aumentadas em cerca de 50%. Então os 300 g de amostra foram flotados no estágio *rougher* com 600 g/t de OP, 600 g/t de QSN e 200 g/t de SS. O deprimido *rougher* recebeu 75 g/t de OP, 70 g/t de QSN e 50 g/t de SS. O segundo *scavenger* recebeu mais 75 g/t de OP, 70 g/t de QSN e 30 g/t de SS.

O ensaio 33 seguiu o mesmo esquema do 32, mas foi feito um segundo *recleaner* e não foram executadas as relavagens dos deprimidos, pois o que se queria verificar era o enriquecimento obtido com as lavagens sucessivas do flotado.

A tabela 16 mostra os resultados dos ensaios 32 e 33.

Tabela 16: Resultados dos ensaios 32 e 33 de flotação.

Ensaio	Etapa	Teores (%)						Massas			Recuperação
		P.F.	F	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	(g)	(%)	Inicial	C* (%)
32	flotado <i>re cleaner</i>	72,70	5,38	4,69	11,10	1,39	3,47	184,2	73,1	251,9	81,4
	flotado 2º <i>scavenger</i>	64,10	6,61	8,87	14,00	2,18	2,62	32,6	12,9	251,9	12,7
	deprimido 2º <i>scavenger</i>	32,00	11,60	15,50	24,70	8,64	3,96	11,2	4,4	251,9	2,18
	deprimido <i>scavenger</i>	21,30	12,90	17,90	29,00	11,90	3,26	23,9	9,6	251,9	3,09
	Alimentação	64,90	6,53	6,96	13,78	2,81	3,36	-	100,0	-	99,38
33	flotado 2º <i>re cleaner</i>	76,50	5,64	4,88	8,40	1,15	2,56	157,5	64,2	245,3	64,20

* - estimada pela perda ao fogo (P.F.).

4.7. ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO

Programou-se também um ensaio exploratório de lixiviação, com ácido fluorídrico e ácido clorídrico, do flotado. Para este ensaio uma polpa de 20% de sólidos recebeu a adição de 5% de HF e de 10% de HCl. A polpa foi agitada à temperatura ambiente por uma hora e depois filtrada. No início da agitação notou-se a formação de grande quantidade de espuma, que foi baixando gradativamente até desaparecer, deixando uma nata de grafite flotado.

O magneto responsável pela agitação da polpa, apresentou partículas magnéticas atraídas a ele, ao fim da lixiviação. Isto é interessante porque confirma a presença de magnetita, detectada na difração de raios-X.

O filtrado apresentou coloração esverdeada e desprende forte cheiro de enxofre, o que também se verificou na “torta”.

Com base na aparência dos produtos decidimos fazer outro ensaio, dobrando a dosagem dos ácidos. O filtrado corroeu o papel de filtro e a torta desprende forte cheiro de ácido clorídrico, demonstrando que a dosagem foi excessiva. Os resultados obtidos, mostrados na tabela 17, permitem concluir que houve ganho de teores de P.F., que aumentou de 54,1% (análise química de cabeça) para acima de 63%. Conclui-se que o HF é inócuo, senão prejudicial ao processo.

Passou-se então a experimentar a lixiviação do concentrado da flotação, isto é, a combinação das duas operações unitárias. O lixiviado do 2º *re cleaner* do ensaio 33 de flotação, obteve um teor de P.F. de 88,2%. Os resultados deste ensaio também se encontram na tabela 17.

Para manter registrado, segundo Gaudin, existe ineficiência na lixiviação pois os produtos da reação podem adsorver na superfície do grafite, diminuindo seu teor final. Esta ineficiência não foi encontrada neste trabalho.

Tabela 17: Resultados dos ensaios mais importantes de lixiviação.

Ensaio	Teores (%)						Massas			Recuperação
	P.F.	F	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	(g)	(%)	Inicial	P.F. (%)
lixiviado 1 – amostra cabeça	63,10	17,40	9,24	5,78	1,67	1,75	139,0	92,6	150,0	90,50
lixiviado 5 – flotado 2º <i>recleaner</i> – Ensaio 33	88,20	2,12	11,88	3,11	1,22	2,66	60,90	80,8	75,4	68,60

4.8. CONCLUSÃO

A introdução de estágios sucessivos de lavagem do flotado aumenta o teor de P.F. do flotado para até 72,7%, com recuperação mássica de 73,1% e recuperação de C (estimada pela P.F.) de 81,4% (ensaio 32). No ensaio 33 foi introduzido mais um estágio *recleaner* (3 ensaios sucessivos de lavagem do concentrado) e o teor subiu para 76,5%.

Estágios adicionais de *recleaner* foram estudados nos ensaios 34 e 35, respectivamente 3 e 4 estágios. A P.F. aumentou para 78,4% e 78,1%, evidenciando que o terceiro *recleaner* esgota as possibilidades de ganho.

A lixiviação clorídrica do concentrado eleva o seu teor, como mostra a tabela 18, abaixo.

Tabela 18: Comparação entre concentrados da flotação e produtos da lixiviação.

Concentrado	% massa	P.F.	F	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
flotado ensaio 29	85,7	69,50	6,74	7,17	11,70	1,24	2,64
flotado <i>recleaner</i> 31	72,1	75,40	5,51	4,71	9,10	1,22	3,01
flotado 2º <i>recleaner</i> 33	64,2	76,50	5,64	4,88	8,40	1,15	2,56
flotado 3º <i>recleaner</i> 34	43,4	78,40	5,28	4,56	6,80	1,08	2,77
flotado 4º <i>recleaner</i> 35	40,0	78,10	5,02	4,35	7,70	1,09	2,75
amostra cabeça	100,0	64,60	8,46	8,74	11,50	2,42	2,91
lixiviado cabeça	90,5	63,10	17,40	9,24	5,80	1,67	1,75
lixiviado flotado 2º <i>recleaner</i> – ensaio 33	44,1	88,2	2,12	1,88	3,1	1,22	2,66

Verifica-se portanto que a meta enunciada a partir da curva de lavabilidade foi obtida. Compara-se a meta e o lixiviado do ensaio 33 na tabela 19, abaixo.

Tabela 19: Comparação entre a meta estabelecida no início do estudo e o melhor resultado obtido.

	Rendimento	P.F.	F	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
Meta	43,1	87,70	2,07	3,79	2,67	0,74	1,61
lixiviado flotado 2º <i>recleaner</i> – ensaio 33	44,1	88,20	2,12	1,88	3,11	1,22	2,66

O processo de beneficiamento sugerido consiste na moagem do SPL até a granulometria 95% passante em 65# Tyler (0,208 mm) e flotações sucessivas até o terceiro *re-cleaner*. O produto flotado será submetido à lixiviação clorídrica produzindo um produto com cerca de 89% de C (medido pela P.F.).

Este produto não é o grafite mais nobre, que também exigiria granulometria maior, o que é incompatível com a liberação do grafite dos blocos de SPL. Mas este produto pode ser utilizado em muitas aplicações importantes como, por exemplo: fabricação de lápis, lubrificantes, lonas de freios, revestimentos condutivos e lubrificantes, baterias, tintas grafitadas para uso em fundição, compostos anti-incrustantes para caldeiras, recarbonetação de aços e como refratários.

O fluxograma sugerido para o processamento dos blocos de SPL é mostrado na figura 9, abaixo.

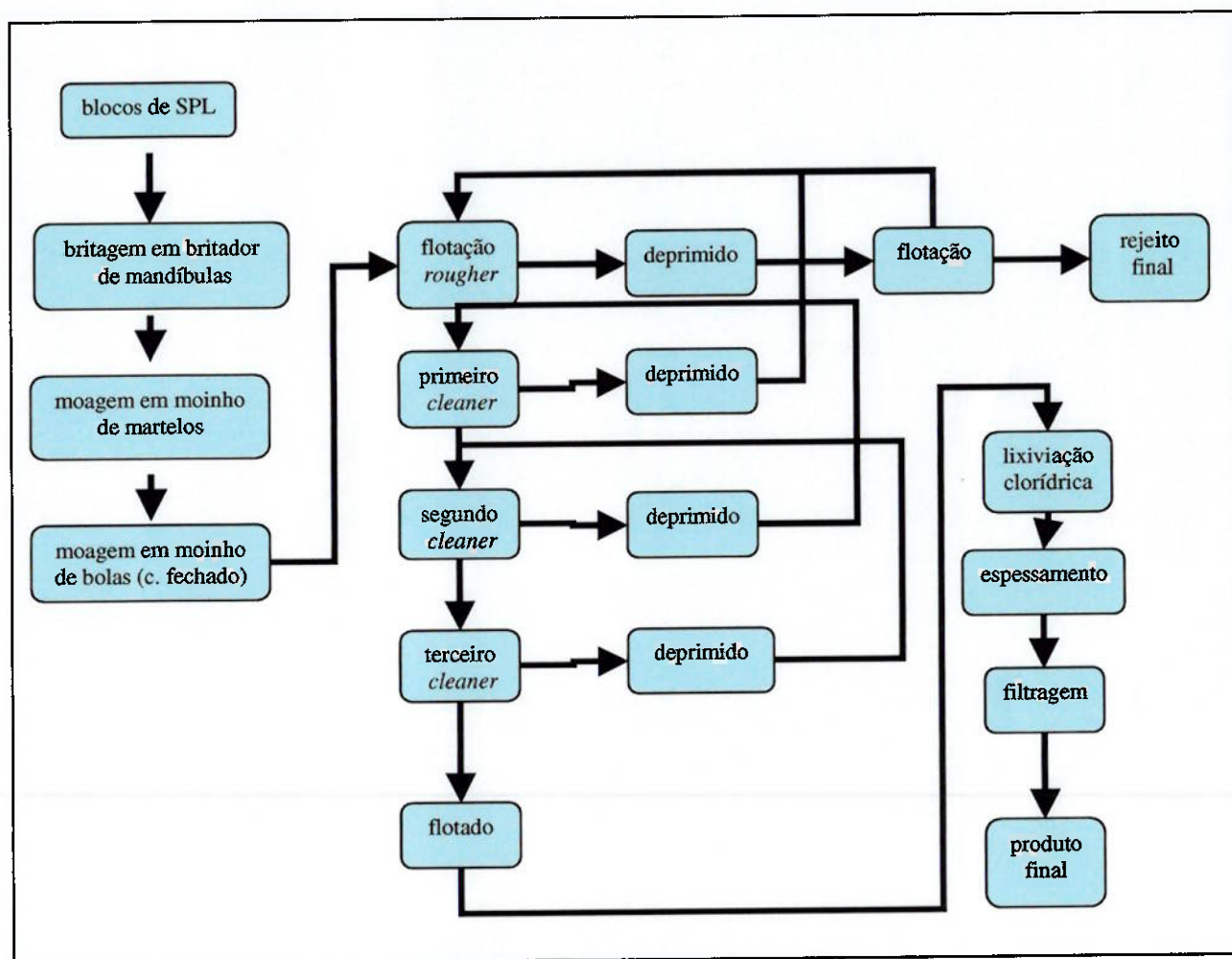


Figura 9 - Fluxograma de trabalho sugerido.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1. LIVROS

BERGERMAN, M. G. **Produção mais limpa no tratamento de minérios: caso da Companhia Brasileira de Alumínio, mina de Itamarati de Minas, MG.** São Paulo, 2003. 37p.

CHAVES, A. P. Flotação. In: LUZ, A. B. da. et al. **Tratamento de Minérios.** 3ª ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002. p. 409 – 455.

FREITAS, T. G. de. **Análise de viabilidade técnica de aproveitamento do rejeito de bauxita do Departamento de Itamarati de Minas da Companhia Brasileira de Alumínio (CBA).** São Paulo, 2004. 35p.

GAUDIN, A. M. **Flotation.** York: McGraw-Hill, 1957. 573 p.

HABASHI, F. **Pollution Problems in the Mineral and Metallurgical Industries.** Sainte-Foy, Québec: Métallurgie Extractive Québec, 1996. 240p.

MARTINS, F. A. D. **Avaliação de lixiviados de solo, de águas subterrâneas e da possibilidde de uso da fitorremediação em áreas contendo SPL (spent pot lining).** Lavras: UFLA, 2005. 155p.

MELCARNE, M. M. C. A. **Alternativas de uso dos resíduos gerados no processo de produção do alumínio.** São Paulo: IPT (texto para qualificação para o mestrado), 2006.

SUTULOV, A. **Flotacion de minerales.** Concepción, 1963. 335 p.

STUMM, W. **Chemistry of the Solid-Water Interface: Processes at the Mineral-Water and Particle-Water Interface in Natural Systems.** USA: Wiley Interscience, 1992. 448 p.

5.2. REFERÊNCIAS DA INTERNET

ALCAN, Inc. Montreal, Canadá. Informações sobre produtos e publicações da empresa. Disponível em: <<http://www.alcan.com>>. Acesso em 20 de set. 2006.

ALCOA. Pittsburg, EUA. Informações sobre produtos e publicações da empresa. Disponível em <<http://www.alcoa.com/global/en/home.asp>>. Acesso em 15 de out. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL. São Paulo. Informações gerais sobre o alumínio. Disponível em <<http://www.abal.org.br>>. Acesso em 19 nov. 2006.

AZOM. Warriewood, Austrália. Informações sobre materiais e novos produtos. Disponível em: <<http://www.azom.com/default.asp>>. Acesso em 30 de set. 2006.

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION. Clayton South, Australia. Notícias sobre mineração nos países do *Commonwealth*. Disponível em: <<http://www.csiro.au/csiro/channel/ich3c,,.html>>. Acesso em 15 de out. 2006.

CONSTANTINO, Vera R. Leopoldo et al . Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. **Quím. Nova.**, São Paulo, v. 25, n. 3, 2002. Disponível em: <<http://test.scielo.br/>>. Acesso em: 20 de nov.2006.

DIAS, Charleston de Lellis Pimenta et al. Utilização de reagentes auxiliares na filtragem. **Rem: Rev. Esc. Minas.**, Ouro Preto, v. 57, n. 4, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: 30 Out. 2006.

PLATINUM TODAY. EUA. Informações sobre platinóides. Disponível em <www.platinum.matthey.com>. Acesso em 16 nov. 2006.

PRASAD, Shiva. Studies on the Hall-Heroult aluminum electrowinning process. **J. Braz. Chem. Soc.**, São Paulo, v. 11, n. 3, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: 25 Out. 2006.

ROCK'N METAL : MINERAL MINING IN QUEBEC. Quebec, Canadá. Museu da mineração. Disponível em <http://www.mcq.org/roc/index_eng.html>. Acesso em 15 nov. 2006.

ANEXO A – CERTIFICADOS DE ANÁLISES



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX: (0XX11) 3815-5785

RESULTADO DE ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

CERTIFICADO: 072/04

DATA: 5/3/2004

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

AMOSTRA: produto da moagem 95% -65#

IDENT. LCT: 065-242.CAF

1. METODOLOGIA

A análise foi efetuada através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios X, marca Philips, modelo MPD 1880.

A identificação das fases cristalinas, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados do ICDD - International Centre for Diffraction Data (Sets 1-45).

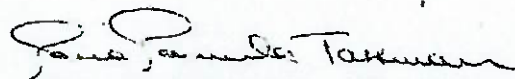
2. RESULTADOS

Os resultados obtidos estão listados na tabela abaixo:

ICDD	Nome do Composto	Fórmula Química	Mineral	Obs
00-035-0816	Fluorita	CaF_2	Fluorita	
00-025-0284	Grafite	C	Grafite	
00-025-0772	Criolita	Na_3AlF_6	Criolita	
01-089-0951	Magnetita	Fe_3O_4	Magnetita	
01-079-2288	Diaoiudaoita	$\text{NaAl}_{11}\text{O}_{17}$	Diaoiudaoita	
01-079-0994	Nefelina	$\text{Na}_{6,8}(\text{Al}_{6,3}\text{Si}_{9,7}\text{O}_{32})$	Nefelina	pp
01-071-1127	Coríndon	Al_2O_3	Corindon	pp
00-005-0613	Arcanita	K_2SO_4	Arcanita	pp

Nota: pp = possível presença

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondente(s) à(s) fase(s) identificada(s) (cada fase em uma cor distinta).


Dra. Maria Manuela Lé Tassinari
Pesquisadora do LCT – EPUSP


Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 123/04

REQ. 128/04

DATA: 27/02/04

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

TIPO DE ANÁLISE: Semiquantitativa, por Fluorescência de Raios-X

Resultados em % de óxidos, base calcinada, normalizados a 100%

Nº LCT	987/04	988/04	989/04	990/04	991/04	992/04	993/04
	95% -	FLUT.	FLUT.	AF. -	AF. -	FLUT.	AFUN.
Amostra	65#	-20+35#	-20+35#	20+35#	20+35#	-20+35#	-20+35#
		-2,2	+2,2 -2,3	+2,3 -2,4	+2,4 -2,6	+2,6 -2,8	+2,8
F	24,3	16,4	21,6	27,5	27,1	33,7	40,0
Na ₂ O	36,7	38,2	36,8	37,2	35,1	41,8	32,4
Al ₂ O ₃	20,6	13,5	14,8	20,0	24,3	15,6	20,8
SiO ₂	5,15	5,36	3,78	2,22	5,70	5,46	3,74
P ₂ O ₅	0,12	0,12	0,07	0,05	0,03	0,03	0,02
SO ₃	0,95	4,16	1,47	0,64	0,29	0,09	0,14
Cl	<<	0,09			<<	<<	
K ₂ O	0,63	3,13	1,17	0,38	0,20	0,16	0,14
CaO	8,50	14,1	16,0	10,1	6,21	2,40	1,32
TiO ₂	0,61	0,96	0,61	0,27	0,27	0,33	0,26
Cr ₂ O ₃	0,13					<<	<<
MnO	<<			<<			<<
Fe ₂ O ₃	2,09	1,71	2,09	0,90	0,47	0,31	1,09
Co ₃ O ₄		0,11	0,05		<<	0,01	0,02
NiO	0,05						
CuO	<<	0,05	0,05	0,02	<<	0,01	0,01
ZnO	<<	0,04	<<	<<		<<	0,01
Br		1,06	1,19	0,62	0,20	0,03	0,02
SrO	0,05	0,12	0,11	0,05	0,03	0,01	0,01
Y ₂ O ₃		<<	<<	<<		<<	
ZrO ₂	0,06	0,05			0,02	0,02	0,03
Nb ₂ O ₅	0,02				0,01	0,01	0,01
WO ₃	0,06	0,44	0,18	<<	0,05	0,06	0,10

DADOS OPERACIONAIS

Análise Semiquantitativa sem padrões, de Flúor a Urânio

Modo de Cálculo = % de óxidos em base calcinada

Campo em branco = elemento não detectado

<< = Traços (menor que 0,01%)

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT – EPUSP
Química - CRQ 04105009-4ªR

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br

TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

CERTIFICADO: 123/04

REQ. 128/04

DATA: 27/02/04

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

TIPO DE ANÁLISE: Semiquantitativa, por Fluorescência de Raios-X

Resultados em % de óxidos, normalizados a 100%

Nº LCT	987/04	988/04	989/04	990/04	991/04	992/04	993/04
	95% -	FLUT.	FLUT.	AF. -	AF. -	FLUT.	AFUN. -
Amostra	65#	-20+35#	-20+35#	20+35#	20+35#	-20+35#	20+35# +2,8
		-2,2	+2,2 -2,3	+2,3 -2,4	+2,4 -2,6	+2,6 -2,8	
F	15,6	4,55	7,71	14,7	21,7	32,4	38,3
Na ₂ O	17,4	7,46	9,29	14,2	23,6	37,8	28,3
Al ₂ O ₃	7,53	1,70	2,62	5,68	14,1	13,5	17,2
SiO ₂	1,70	0,59	0,59	0,56	3,06	4,64	3,01
P ₂ O ₅	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01
SO ₃	0,30	0,42	0,22	0,16	0,15	0,07	0,11
Cl	<<	0,01			<<	<<	
K ₂ O	0,19	0,28	0,16	0,09	0,10	0,14	0,11
CaO	2,47	1,10	1,97	2,26	3,13	2,02	1,05
TiO ₂	0,15	0,06	0,06	0,05	0,13	0,27	0,20
Cr ₂ O ₃	0,03					<<	<<
MnO	<<			<<			<<
Fe ₂ O ₃	0,51	0,09	0,18	0,16	0,22	0,26	0,85
Co ₃ O ₄		0,01	<<		<<	0,01	0,02
NiO	0,01						
CuO	<<	<<	<<	<<	<<	<<	<<
ZnO	<<	<<	<<	<<		<<	<<
Br		0,05	0,09	0,10	0,09	0,03	0,01
SrO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Y ₂ O ₃		<<	<<	<<		<<	
ZrO ₂	0,01	<<			0,01	0,02	0,02
Nb ₂ O ₅	<<				<<	0,01	0,01
WO ₃	0,01	0,02	0,01	<<	0,02	0,05	0,08
PF	54,1	83,6	77,1	62,0	33,7	8,77	10,7

DADOS OPERACIONAIS

Análise Semiquantitativa sem padrões, de Flúor a Urânio

Modo de Cálculo = % de óxidos

<< = Traços (menor que 0,01%)

Campo em branco = elemento não detectado

PF = Perda ao fogo a 1050°C

OBS: As amostras mostraram diferenças de comportamento na calcinação, sendo que nas duas últimas houve fusão do material, tornando incerto o valor de PF encontrado.

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT – EPUSP
Química - CRQ 04105009-4ªR

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 255/04

REQ. 288/04

DATA: 03/05/04

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

TIPO DE ANÁLISE: Semiquantitativa, por Fluorescência de Raios-X

Resultados em % de óxidos, normalizados a 100%

Nº LCT	2047/04	2048/04	2049/04	2050/04
Amostra	Lavabilidade + 2,4 afundado	Lavabilidade - 2,4 + 2,3 afundado	Lavabilidade - 2,3 + 2,2 afundado	Lavabilidade - 2,2 flutuado
F		8,94	3,78	2,07
Na ₂ O	18,2	6,26	3,14	3,79
MgO	0,38			
Al ₂ O ₃	34,4	11,8	7,31	2,67
SiO ₂	15,6	1,76	0,98	0,74
P ₂ O ₅	0,12	0,03	0,02	0,02
SO ₃	0,13	0,11	0,10	0,38
Cl	<<		<<	0,02
K ₂ O	0,51	0,07	0,06	0,32
CaO	5,80	3,52	3,02	1,61
TiO ₂	0,94	0,15	0,09	0,08
Cr ₂ O ₃	<<	<<	0,01	0,01
MnO	0,03		<<	
Fe ₂ O ₃	2,11	0,37	0,30	0,17
Co ₃ O ₄	0,01	<<		0,01
NiO	<<	<<	<<	<<
CuO	0,01	<<	<<	<<
ZnO	0,01	0,01	<<	<<
Ga ₂ O ₃	<<			
Br	0,56	0,71	0,67	0,40
SrO	0,03	0,01	0,01	0,01
Y ₂ O ₃	<<	<<		
ZrO ₂	0,09	0,01	0,01	<<
Nb ₂ O ₅	0,04	<<	<<	
BaO	0,06			
WO ₃	0,17	0,01		0,03
PbO			<<	
ThO ₂	<<			
PF	20,8	66,2	80,5	87,7

DADOS OPERACIONAIS

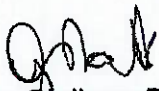
Análise Semiquantitativa sem padrões, de Flúor a Urânio

Modo de Cálculo = % de óxidos em base calcinada

Campo em branco = elemento não detectado

<< = Traços (menor que 0,01%)

PF = perda ao fogo a 1050°C


Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT – EPUSP
Química - CRQ 04105009-4ªR


Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 136/04

REQ. 140/04

DATA: 01/03/04

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

TIPO DE ANÁLISE: Semiquantitativa, por Fluorescência de Raios-X

Resultados em % de óxidos, normalizados a 100%

Nº LCT	1099/04	1100/04	1101/04	1102/04	1103/04	1104/04	1105/04	1106/04	1107/04	1108/04
Amostra	FLOTADO 6	DEPRIM. 6	FLOTADO 7	DEPRIM. 7	FLOTADO 8	DEPRIM. 8	FLOTADO 11	DEPRIM. 11	FLOTADO 13	DEPRIM. 13
F	9,05	8,65	7,50	10,2	7,55	15,7	7,41	9,85	7,14	9,26
Na ₂ O	9,66	8,68	7,85	10,8	8,36	15,8	7,44	10,2	7,79	9,88
Al ₂ O ₃	7,60	10,9	9,80	13,0	7,96	11,3	8,97	13,1	10,4	13,9
SiO ₂	1,50	2,78	1,12	3,67	1,15	3,72	1,16	3,45	1,13	3,29
P ₂ O ₅	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04
SO ₃	0,19	0,29	0,17	0,39	0,18	0,36	0,16	0,38	0,17	0,35
Cl				0,02		0,01	0,02	0,01		<<
K ₂ O	0,15	0,26	0,13	0,35	0,14	0,32	0,13	0,34	0,13	0,33
CaO	2,86	2,93	2,67	3,03	2,67	2,96	2,63	3,12	2,56	3,12
TiO ₂	0,13	0,23	0,11	0,29	0,11	0,29	0,10	0,29	0,10	0,28
Cr ₂ O ₃	0,07	0,02	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,02
MnO	0,01	<<	0,01	0,01	<<	<<	<<	0,01	0,01	0,01
Fe ₂ O ₃	0,66	0,56	0,53	0,61	0,50	0,68	0,49	0,63	0,51	0,64
Co ₃ O ₄	<<	0,00		<<	<<	<<		<<		<<
NiO	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
CuO	<<	<<	<<	<<	<<	<<	<<	<<	0,01	<<
ZnO	<<	<<	<<	<<	0,01	<<	<<	<<	<<	<<
Rb ₂ O	<<	<<	<<	<<		<<		<<		<<
SrO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Y ₂ O ₃		<<		<<	<<	<<	<<		<<	<<
ZrO ₂	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Nb ₂ O ₅	<<	<<	<<	0,01		0,01	<<	0,01	<<	0,01
WO ₃	0,02	0,02	<<	0,03	0,01	0,03	<<	0,03		0,02
PbO			0,01	<<		<<	<<			
PF	68,0	64,6	69,9	57,6	71,3	48,7	71,4	58,4	70,0	58,8

DADOS OPERACIONAIS

Análise Semiquantitativa sem padrões, de Flúor a Urânio

Modo de Cálculo = % de óxidos em base calcinada

Campo em branco = elemento não detectado

<< = Traços (menor que 0,01%)

PF = perda ao fogo a 1050°C

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT – EPUSP
Química - CRQ 04105009-4ªR

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 139/04

REQ. 144/04

DATA: 01/03/04

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

TIPO DE ANÁLISE: Semiquantitativa, por Fluorescência de Raios-X

Resultados em % de óxidos, normalizados a 100%

Nº LCT	1115/04	1116/04	1117/04	1118/04	1119/04	1120/04
Amostra	FLOTADO 27	DEPRIMIDO 27	FLOTADO 28	DEPRIMIDO 28	FLOTADO 29	DEPRIMIDO 29
F	8,46	11,6	8,02	13,7	6,74	12,5
Na ₂ O	7,99	12,8	8,01	15,1	7,17	14,2
Al ₂ O ₃	8,4	16,7	9,97	18,2	11,7	17,3
SiO ₂	1,21	5,28	1,38	7,20	1,24	6,43
P ₂ O ₅	0,03	0,06	0,03	0,07	0,03	0,08
SO ₃	0,19	0,5	0,21	0,48	0,19	0,5
Cl		<<		0,02	0,01	0,02
K ₂ O	0,15	0,44	0,13	0,47	0,16	0,47
CaO	2,51	3,38	2,63	3,45	2,64	3,49
TiO ₂	0,11	0,42	0,13	0,52	0,10	0,47
Cr ₂ O ₃	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05
MnO	<<	<<	<<	0,01	<<	0,02
Fe ₂ O ₃	0,41	0,96	0,43	1,26	0,43	1,06
Co ₃ O ₄		<<		<<		
NiO	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
CuO	<<	<<	<<	<<	<<	0,01
ZnO	<<	<<	<<		<<	0,01
Ga ₂ O ₃		<<				
Rb ₂ O		<<		<<	<<	<<
SrO	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
Y ₂ O ₃	<<	<<	<<	<<		<<
ZrO ₂	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,04
Nb ₂ O ₅	<<	0,01	<<	0,01	<<	0,01
WO ₃	<<	0,04	0,01	0,05	<<	0,03
PbO			<<	<<		
PF	70,5	47,7	69,0	39,4	69,5	43,3

DADOS OPERACIONAIS

Análise Semiquantitativa sem padrões, de Flúor a Urânio

Modo de Cálculo = % de óxidos em base calcinada

Campo em branco = elemento não detectado

<< = Traços (menor que 0,01%)

PF = perda ao fogo a 1050°C

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT – EPUSP
Química - CRQ 04105009-4ªR

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 144/04

REQ. 151/04

DATA: 02/03/04

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

TIPO DE ANÁLISE: Semiquantitativa, por Fluorescência de Raios-X

Resultados em % de óxidos, normalizados a 100%

Nº LCT	1153/04	1154/04	1155/04	1156/04
Amostra	Flotado cleaner 30	Deprimido cleaner 30	Flotado scavenger 30	deprimido scavenger 30
F	6,35	7,88	6,85	15,0
Na ₂ O	5,76	7,93	9,19	16,3
MgO		0,05		
Al ₂ O ₃	8,80	10,7	16,1	24,6
SiO ₂	1,06	2,19	2,04	9,66
P ₂ O ₅	0,03	0,04	0,03	0,09
SO ₃	0,17	0,33	0,52	0,40
Cl	0,01	<<	0,02	0,01
K ₂ O	0,13	0,23	0,35	0,47
CaO	2,57	3,14	2,58	3,70
TiO ₂	0,09	0,17	0,17	0,65
Cr ₂ O ₃	0,04	0,03	0,02	0,06
MnO		0,01	<<	0,02
Fe ₂ O ₃	0,42	0,48	0,35	1,49
Co ₃ O ₄		<<		
NiO	0,02	0,01	<<	0,01
CuO	<<	<<	<<	<<
ZnO		<<	<<	0,01
Rb ₂ O		<<	<<	<<
SrO	0,01	0,01	0,01	0,02
Y ₂ O ₃	<<	0	<<	<<
ZrO ₂	0,01	0,01	0,01	0,05
Nb ₂ O ₅		<<	<<	0,02
WO ₃	0,01	0,03	0,02	0,04
ThO ₂				<<
PF	74,5	66,7	61,7	27,4

DADOS OPERACIONAIS

Análise Semiquantitativa sem padrões, de Flúor a Urânio

Modo de Cálculo = % de óxidos em base calcinada

Campo em branco = elemento não detectado

<< = Traços (menor que 0,01%)

PF = perda ao fogo a 1050°C

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT – EPUSP
Química - CRQ 04105009-4ªR

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 182/04

REQ. 200/04

DATA: 22/03/04

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

TIPO DE ANÁLISE: Semiquantitativa, por Fluorescência de Raios-X

Resultados em % de óxidos, normalizados a 100%

Nº LCT	1468/04	1469/04	1470/04	1471/04
Amostra	Flotado Recleaner 31	Deprimido 2º Scavenger 31	Deprimido Scavenger 31	Flotado 2º Scavenger 31
F	5,51	10,8	14,8	5,90
Na ₂ O	4,71	12,6	17,1	6,75
MgO		0,23	0,21	
Al ₂ O ₃	9,06	18,9	23,9	13,8
SiO ₂	1,22	6,73	11,4	1,80
P ₂ O ₅	0,04	0,09	0,09	0,03
SO ₃	0,20	0,54	0,43	0,36
Cl	0,02	0,03	0,03	0,02
K ₂ O	0,17	0,48	0,50	0,29
CaO	3,01	4,35	3,71	2,76
TiO ₂	0,11	0,47	0,73	0,14
V ₂ O ₅				
Cr ₂ O ₃	0,04	0,14	0,11	0,04
MnO	0,01	0,02	0,02	
Fe ₂ O ₃	0,51	1,60	1,97	0,49
NiO	0,01	0,03	0,02	0,01
CuO	<<	0,01	<<	<<
ZnO	<<	0,01	0,01	<<
Ga ₂ O ₃				
Rb ₂ O		<<	<<	<<
SrO	0,01	0,02	0,02	0,01
Y ₂ O ₃		<<	<<	<<
ZrO ₂	0,01	0,03	0,05	0,01
Nb ₂ O ₅	<<	0,01	0,02	<<
PF	75,4	42,9	24,9	67,6

DADOS OPERACIONAIS

Análise Semiquantitativa sem padrões, de Flúor a Urânio

Modo de Cálculo = % de óxidos em base calcinada

Campo em branco = elemento não detectado

<< = Traços (menor que 0,01%)

PF = perda ao fogo a 1050°C

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT – EPUSP
Química - CRQ 04105009-4ªR

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 240/04

REQ. 261/04

DATA: 19/04/04

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

TIPO DE ANÁLISE: Semiquantitativa, por Fluorescência de Raios-X

Resultados em % de óxidos, normalizados a 100%

Nº LCT	1909/04	1910/04	1911/04	1912/04
Amostra	Flotado 3 recleaner 34 05/04	Flotado 4 recleaner 35 05/04	Deprimido Rougher 34 05/04	Deprimido Rougher 35 05/04
F	5,28	5,02	11,4	12,8
Na ₂ O	4,56	4,35	17,1	16,4
MgO	0,08			
Al ₂ O ₃	6,83	7,67	24,3	24,1
SiO ₂	1,08	1,09	9,00	9,96
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,07	0,08
SO ₃	0,17	0,17	0,54	0,40
Cl	<<	<<	0,02	<<
K ₂ O	0,14	0,13	0,50	0,50
CaO	2,77	2,75	3,49	3,59
TiO ₂	0,10	0,10	0,66	0,66
Cr ₂ O ₃	0,04	0,04	<<	0,05
MnO	<<	0,01	0,04	0,02
Fe ₂ O ₃	0,49	0,47	1,56	1,54
Co ₃ O ₄	<<	<<	0,02	0,01
NiO	0,01	0,01	0,02	0,02
CuO	<<	<<	<<	<<
ZnO	<<	<<	0,01	0,01
Ga ₂ O ₃			<<	
Rb ₂ O			<<	<<
SrO	0,01	0,01	0,02	0,02
Y ₂ O ₃	<<		<<	<<
ZrO ₂	0,01	0,01	0,05	0,05
Nb ₂ O ₅	<<	<<	0,02	0,02
WO ₃	0,02	0,01	0,10	0,07
PF	78,4	78,1	31,0	29,7

DADOS OPERACIONAIS

Análise Semiquantitativa sem padrões, de Flúor a Urânio

Modo de Cálculo = % de óxidos em base calcinada

Campo em branco = elemento não detectado

<< = Traços (menor que 0,01%)

PF = perda ao fogo a 1050°C

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT – EPUSP
Química - CRQ 04105009-4^ªR

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 149/04

REQ. 165/04

DATA: 08/03/04

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

TIPO DE ANÁLISE: Semiquantitativa, por Fluorescência de Raios-X

Resultados em % de óxidos, normalizados a 100%

Nº LCT	1228/04	1229/04
Amostra	Lixiviado resíduo 1	Lixiviado resíduo 2
F	17,4	18,0
Na ₂ O	9,24	9,03
Al ₂ O ₃	5,78	5,46
SiO ₂	1,67	1,62
P ₂ O ₅	0,01	0,01
SO ₃	0,13	0,12
Cl	0,55	0,48
K ₂ O	0,12	0,08
CaO	1,75	1,64
TiO ₂	0,12	0,10
Cr ₂ O ₃	0,01	<<
Fe ₂ O ₃	0,16	0,07
Co ₃ O ₄	<<	0,01
NiO	<<	
CuO	<<	<<
ZnO	<<	
Br		<<
Rb ₂ O	<<	<<
SrO	0,01	0,01
Y ₂ O ₃	<<	
ZrO ₂	0,01	0,01
Nb ₂ O ₅	<<	<<
WO ₃	0,01	0,01
PF	63,1	63,4

DADOS OPERACIONAIS

Análise Semiquantitativa sem padrões, de Flúor a Urânio

Modo de Cálculo = % de óxidos em base calcinada

Campo em branco = elemento não detectado

<< = Traços (menor que 0,01%)

PF = perda ao fogo a 1050°C

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT – EPUSP
Química - CRQ 04105009-4ªR

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT

Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br

TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 174/04

REQ. 186/04

DATA: 16/03/04

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

TIPO DE ANÁLISE: Semiquantitativa, por Fluorescência de Raios-X

Resultados em % de óxidos, normalizados a 100%

Nº LCT	1377/04	1378/04	1379/04	1380/04	1381/04	1382/04
Amostra	Deprimido Scavenger 32	Deprimido 2º Scavenger 32	Fitação 2º Scavenger 32	Flotação Recleaner 32	Lixivado 3	Lixivado 4
F	12,9	11,6	6,61	5,38	3,79	9,25
Na ₂ O	17,9	15,5	8,87	4,69	3,28	5,20
MgO						0,05
Al ₂ O ₃	29,0	24,7	14,0	11,1	4,24	4,40
SiO ₂	11,9	8,64	2,18	1,39	2,04	1,21
P ₂ O ₅	0,08	0,09	0,03	0,04	0,04	0,03
SO ₃	0,25	0,46	0,53	0,22	0,32	0,22
Cl	0,02	<<	<<		0,97	0,66
K ₂ O	0,43	0,46	0,39	0,20	0,32	0,25
CaO	3,26	3,96	2,62	3,47	6,13	4,73
TiO ₂	0,73	0,58	0,19	0,14	0,31	0,18
V ₂ O ₅	0,02	0,01				
Cr ₂ O ₃	0,08	0,14	0,03	0,06	0,02	
MnO	0,03	0,02	<<	<<	<<	
Fe ₂ O ₃	2,00	1,72	0,43	0,57	0,34	0,15
NiO	0,01	0,03	0,01	0,02	<<	
CuO	<<	<<	<<	<<	0,01	<<
ZnO	0,01	0,01	<<	<<	<<	<<
Ga ₂ O ₃	<<					
Rb ₂ O	<<	<<	<<		<<	
SrO	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,02
Y ₂ O ₃	<<	<<	<<	<<		<<
ZrO ₂	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
Nb ₂ O ₅	0,02	0,02	<<		<<	
PF	21,3	32,0	64,1	72,7	78,2	73,6

DADOS OPERACIONAIS

Análise Semiquantitativa sem padrões, de Flúor a Urânio

Modo de Cálculo = % de óxidos em base calcinada

Campo em branco = elemento não detectado

<< = Traços (menor que 0,01%)

PF = perda ao fogo a 1050°C

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT – EPUSP
Química - CRQ 04105009-4ªR

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Laboratório de Caracterização Tecnológica – LCT
Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - CEP 05508-900 São Paulo - SP e-mail: lct@poli.usp.br
TEL: (0XX11) 3091-5151, 3091-5551 e 3091-5787 FAX (0XX11) 3815-5785

RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

CERTIFICADO: 206/04

REQ. 238/04

DATA: 02/04/04

CLIENTE: AP CHAVES ASSESSORIA TÉCNICA LTDA

TIPO DE ANÁLISE: Semiquantitativa, por Fluorescência de Raios-X

Resultados em % de óxidos, normalizados a 100%

Nº LCT	1617/04	1618/04
Amostra	Flotado2. Recleaner 33	Lixiviado 5
F	5,64	2,12
Na ₂ O	4,88	1,88
Al ₂ O ₃	8,40	3,11
SiO ₂	1,15	1,22
P ₂ O ₅	0,02	0,01
SO ₃	0,16	0,16
Cl		0,09
K ₂ O	0,13	0,18
CaO	2,56	2,66
TiO ₂	0,09	0,12
Cr ₂ O ₃	0,03	<<
MnO	0,01	<<
Fe ₂ O ₃	0,38	0,17
NiO	0,01	
CuO	<<	<<
ZnO	<<	
Rb ₂ O	<<	<<
SrO	0,01	0,01
Y ₂ O ₃		
ZrO ₂	0,01	<<
WO ₃	0,01	0,02
PF	76,5	88,2

DADOS OPERACIONAIS

Análise Semiquantitativa sem padrões, de Flúor a Urânio

Modo de Cálculo = % de óxidos em base calcinada

Campo em branco = elemento não detectado

<< = Traços (menor que 0,01%)
PF = perda ao fogo a 1050°C

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT – EPUSP
Química - CRQ 04105009-4ªR

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT