

OBTENÇÃO DE FELDSPATO A PARTIR DE FINOS DE PEDREIRA DE NEFELINA SIENITO E UTILIZAÇÃO COMO INSUMO PARA A INDÚSTRIA CERÂMICA

S.C.A. França e J.A. Sampaio

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – Coordenação de Tratamento de Minérios

Av. Ipê, 900 Ilha da Cidade Universitária Rio de Janeiro, RJ 21.941-590

E-mail: sfranca@cetem.gov.br; jsampaio@cetem.gov.br

RESUMO

Este estudo prevê o aproveitamento da fração fina resultante da produção de brita para a construção civil, obtida na Pedreira Vigné, situada no Município de Nova Iguaçu, estado do Rio de Janeiro. Trata-se de uma rocha nefelina sienito, portanto, com potencial elevado de aplicação na indústria cerâmica, por ser uma rocha alcalina e rica em feldspato.

Porém, os minerais de ferro existentes na composição desta rocha são considerados contaminantes (totalizando cerca de 3,5% de Fe_2O_3), devendo, esse teor, ser reduzido a valores mais baixos. O objetivo deste trabalho é a utilização dos processos de flotação e separação magnética, seguidos de lixiviação ácida ou floculação seletiva dos minerais de ferro, visando à redução dos teores dos minerais de ferro, para viabilizar o uso da nefelina sienito como insumo à indústria cerâmica.

Almeja-se, principalmente, a investigação da possibilidade de obtenção de um concentrado de feldspato de alta pureza e valor agregado, tal que permita a posterior utilização deste insumo mineral na fabricação de esmaltes cerâmicos ou porcelonato. As especificações requeridas na indústria cerâmica exigem um teor de Fe_2O_3 abaixo de 0,5% para massas cerâmicas, e para utilização no recobrimento, como esmalte (frita), menor que 0,1%. O conteúdo de álcalis ($K_2O + Na_2O$) deve ser acima de 12% e para o Al_2O_3 , o teor deverá estar acima de 19%.

Resultados preliminares mostram que, com a flotação e a separação magnética, já é possível reduzir o teor de Fe_2O_3 para valores na faixa de 0,8% e incrementar um pouco mais o teor dos álcalis de 10,7 para 11,6%. Porém, ainda é observada a presença de minerais de ferro no concentrado de flotação inversa de nefelina sienito, sendo necessárias etapas complementares, como lixiviação ácida, para a remoção dessas espécies ainda remanescentes na amostra.

PALAVRAS-CHAVE: nefelina sienito, flotação, lixiviação, indústria cerâmica

1. INTRODUÇÃO

As indústrias de cerâmica e vidro consomem cerca de 95% do feldspato comercializado no Brasil. A produção nacional de feldspato beneficiado é da ordem de 61.000 t/ano, em sua maioria provenientes de lavras rudimentares, havendo, por isso, a necessidade da importação desse insumo (Jesus, 2001).

O feldspato atua como fundente durante as reações de queima, auxiliando a formação da parte vítrea dos corpos, além de ser fornecedor de sílica (SiO_2); na indústria de vidro é utilizado como fonte de Al_2O_3 e álcalis (Na_2O e K_2O), os quais têm, respectivamente, as funções de aumentar a dureza e a resistência química do material e atuar como fundente, substituindo a barrilha (Jesus, 2001).

As exigências da indústria cerâmica são bastante diversificadas, uma vez que dependem do tipo de material a ser produzido. Por exemplo, na produção de louça branca, o teor máximo de ferro tolerável, expresso em Fe_2O_3 é 0,1%. Entretanto, se a alvura não for importante, o que ocorre nos casos em que o corpo receberá pigmentação colorida posterior, esse teor pode chegar a 2 ou 3% de Fe_2O_3 . Quanto a granulometria, de um modo geral, o feldspato destinado à indústria cerâmica deve apresentar granulometria menor que 0,074 μm , pois o seu poder fundente é inversamente proporcional à sua granulometria (Almada e Vlecek, 2000).

Nefelina sienito é uma rocha ígnea alcalina semelhante ao granito, sem a presença de quartzo e com predominância de feldspato (microclínio e albita), feldspatóides (nefelina sodalita), dolomita, monazita e minerais portadores de ferro (óxido e/ou sulfetos). Possui coloração incolor à branca amarelada, dureza de 6 na escala Mohs e 2,6 g/cm^3 de peso específico, sendo tais propriedades bem semelhantes às do feldspato, fazendo com que a nefelina sienito desponte como um potencial substituto para aquele mineral.

A pedreira Vigné, situada no município de Nova Iguaçu – RJ, produz brita para a construção civil proveniente de uma

jazida de nefelina sienito e, durante o processo de produção dessa brita, há a geração de grande quantidade de material fino, resultante dos processos de cominuição. Essa fração fina, contendo cerca de 90% de feldspato alcalino, pode ser utilizada nas indústrias de vidro e cerâmica, após um processo de purificação para remoção dos contaminantes presentes, que são, em sua maioria, minerais portadores de ferro, como óxidos e sulfetos.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem por finalidade o estudo de rotas de purificação da nefelina sienito, visando a produção de um material com qualidade aceitável para ser utilizado como um substituto do feldspato na indústria cerâmica. Uma das principais características exigida para esse material é o teor dos minerais de ferro, os quais são considerados contaminantes extremamente danosos aos processos de produção de vidro e cerâmica.

Os minerais de ferro, óxidos ou sulfetos, quando presentes na amostra em teores acima de 0,5%, são causadores de imperfeições no produto cerâmico, uma vez que promovem a coloração escura no material pela presença dos óxidos (Fe_2O_3), e a formação de bolhas e outras irregularidades na superfície do corpo cerâmico, devido à formação de gases de sulfetos, SO_2 , provenientes de reações com a pirita (FeS_2), durante os processos de cozimento da massa cerâmica. Daí a importância da sua purificação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O material objeto de estudo foi uma amostra de 100 kg da fração pedrisco (-4,8+11 mm), de nefelina sienito da pedreira Vigné. Foi feita uma pilha de homogeneização, da qual foram retiradas alíquotas de 1 kg, designadas para análises química e caracterização mineralógica, ensaios de flotação, separação magnética e lixiviação ácida.

3.1. Ensaios de Moagem

Foram realizados ensaios para os seguintes tempos de moagem: 15, 20, 25, 37 e 45 min, com o objetivo de se determinar o tempo necessário para cominuição da amostra na granulometria 90% abaixo de 147 μm ; nessa condição, 90% da pirita (principal contaminante) encontra-se liberada (Braga, 1999). Esses ensaios de moagem foram conduzidos a úmido em moinhos de barras de laboratório (300 x 165 mm), fabricado em aço inoxidável, e como meio moedor foram utilizadas 10 barras de diâmetro de 20 mm. Para cada ensaio utilizou-se amostras de 1 kg e a percentagem de sólidos na polpa de moagem foi de 50%.

3.2. Ensaios de Flotação

Optou-se pelo estudo da flotação reversa da nefelina sienito, em virtude do seu elevado conteúdo na amostra; acima de 95% do material é nefelina sienito.

Nos ensaios de flotação utilizou-se uma célula DENVER MOD. 12 de laboratório, com capacidade de 5,0 L e amostra de 1,0 kg de nefelina sienito, previamente moída (-150+37 μm). Esses ensaios objetivaram a remoção do ferro contido no minério sob a forma de sulfetos, basicamente pirita, e óxidos (Fe_2O_3).

Os ensaios de flotação foram realizados em duas etapas, *rougher* e *scavenger* (Figura 1). Como a flotação é reversa, o rejeito dessa última etapa é o material de interesse desse estudo.

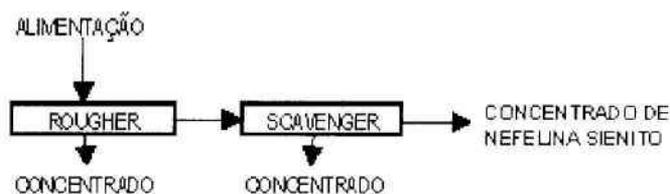


Figura 1- Fluxograma utilizado no processo de flotação

Foi utilizado como coletor a oleína fluida (ácidos graxos com alto teor de ácido oléico) nas concentrações de 300 g/t (*rougher*) e 150 g/t (*scavenger*) e como espumante MIBC (metil isobutil carbinol) nas concentrações de 100 g/t (*rougher*) e 50 g/t (*scavenger*). O tempo de condicionamento de cada etapa foi aproximadamente 4,0 min, com a velocidade de

rotação da célula de flotação de 1000 rpm e pH = 8,0, utilizando-se o hidróxido de sódio como regulador de pH.

As condições operacionais citadas anteriormente foram determinadas por Braga (1999) e utilizadas, nesse trabalho, como valores de referência para a otimização das variáveis operacionais do processo de flotação.

3.3. Ensaios de Separação Magnética

A separação magnética foi realizada a úmido, em um separador RAPID, com intensidade de campo de 1.8 T. A polpa alimentada no separador foi o concentrado de nefelina sienito, proveniente da flotação, para que fossem removidos os minerais de ferro ainda remanescentes no rejeito *scavenger*, uma vez que a flotação é um processo de concentração e não de purificação.

A alimentação da polpa no equipamento foi feita com o auxílio de um alimentador, para garantir que a vazão mássica de alimentação fosse mantida constante, bem como para facilitar a comparação entre os diversos ensaios.

3.4. Ensaios de Lixiviação Ácida

A lixiviação ácida surge nesse fluxograma como a etapa final do processo de purificação da nefelina sienito. Embora sejam conhecidas as características de alto custo e impacto ambiental, que são inerentes a esse processo, a sua utilização mostrou-se inevitável, uma vez que, para a granulometria na qual é feita a flotação, ainda existem óxidos de ferro remanescentes na nefelina sienito, tanto na forma livre como na forma de uma película (*coating*) prejudicando, de modo significativo, a utilização dos processos de flotação e floculação seletiva, por exemplo.

Para a realização dos ensaios de lixiviação ácida foram utilizadas soluções de ácido sulfúrico e clorídrico, em concentrações que variaram de 10 a 50% em volume. A metodologia dos ensaios consistiu no preparo de uma polpa, a 25% de sólidos, onde a fase líquida foi a solução ácida. O tempo de lixiviação foi preestabelecido em 60 min e os ensaios foram realizados em uma célula DENVER, com o objetivo de manter a polpa sob agitação (800 rpm) durante o tempo de contato. Ainda como parte desses ensaios, a etapa final consiste da neutralização da lixívia com carbonato de cálcio (CaCO_3) moído, para que essa seja descartada dentro dos padrões ambientais requeridos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização Química e Mineralógica

Os resultados da caracterização mineralógica e das análises químicas da amostra média de nefelina sienito estão apresentados na Tabela I.

Tabela I – Composição mineralógica e química da amostra de nefelina sienito utilizada

Composição mineralógica da amostra de nefelina sienito			
Minerais		Peso (%)	
Feldspato alcalino		90,3	
Pirita		3,2	
Dolomita		3,3	
Nefelina/sodalita		2,4	
Monazita		0,3	
Biotita		0,3	
Limonita		0,2	
Composição química da amostra da nefelina sienito			
Compostos	Peso(%)	Compostos	Peso(%)
Na_2O	6,97	SiO_2	58,55
K_2O	5,64	Al_2O_3	23,50
Cão	2,65	Fe_2O_3	3,45
MgO	0,74	SO_2	1,43

Observa-se na Tabela I a predominância feldspato alcalino na amostra de nefelina sienito estudada, o que justifica o interesse no desenvolvimento de novas rotas de purificação desse material, com o objetivo de utilizá-lo como insumo para a indústria cerâmica.

Curvas de Moagem

A Figura 2 ilustra os resultados dos testes de moagem realizados. Pode-se concluir que o tempo de moagem necessário para que se obtenha uma amostra com 90% abaixo de 104 μm , é de 38 min. Com esse tempo de moagem é possível obter mais de 90% de liberação para a pirita, para que essa seja flotada.

Pode-se notar, pela análise da na Figura 3(a), a presença dos cristais de pirita (partículas de coloração mais clara e forma cúbica) já liberados; porém ainda podem ser vistos cristais não liberados [Figura 3(b)], evidenciando a necessidade de etapas posteriores no processo de purificação da nefelina sienito. As imagens mostradas foram produzidas em microscópio eletrônica de varredura (MEV).

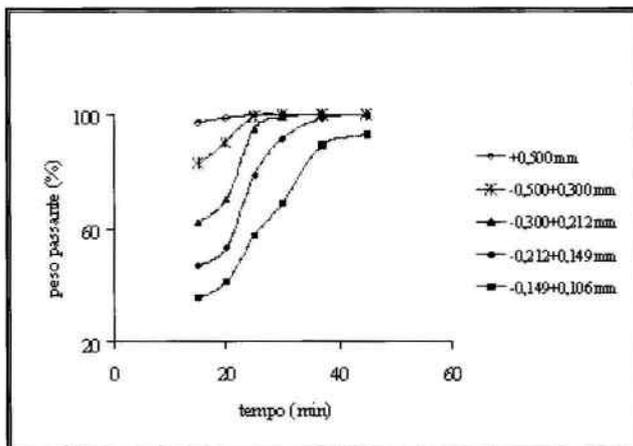


Figura 2 – Curvas de moagem para a amostra de nefelina sienito da pedraira Vigné

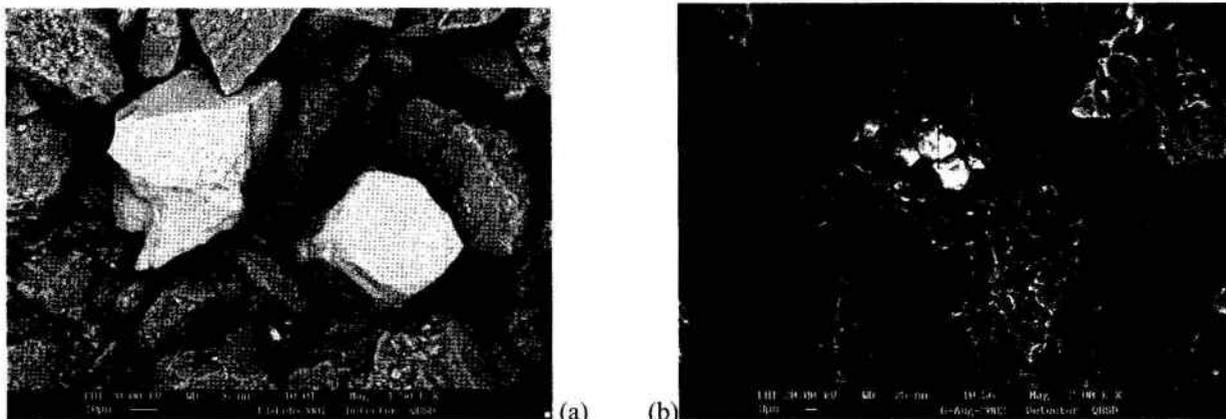


Figura 3 – Imagens (MEV) da amostra de nefelina sienito antes da flotação: (a) cristais de pirita liberados e (b) cristais de pirita ainda incrustados na estrutura da nefelina sienito

Ensaio de Flotação

Esses ensaios foram realizados em dois grupos, utilizando a nefelina sienito moída (-149+37 μm), porém com diferentes concentrações de reagentes na etapa *scavenger*.

Grupo 1 - Foi feita a moagem por 38 min, em seguida, fez-se a deslamagem e a flotação do material -149+ 37 μm , obtendo-se o concentrado *rougher* e os concentrado e rejeito *scavenger*.

Grupo 2 - Foi feita a moagem por 38 min, em seguida, fez-se a deslamagem e a flotação do material -149+37 μm , utilizando-se 30% a mais na dosagem de reagentes na etapa *scavenger*, obtendo-se o concentrado *rougher* e os concentrado e rejeito *scavenger*.

Na Figura 4 podem ser visualizados resultados de recuperação de Fe_2O_3 e em massa para o concentrado *scavenger*. Nota-se que o processo de flotação apresenta boa eficiência na remoção dos minerais de ferro liberados, com um leve aumento na eficiência do processo, quando utilizam-se concentrações maiores de reagentes na etapa *scavenger*.

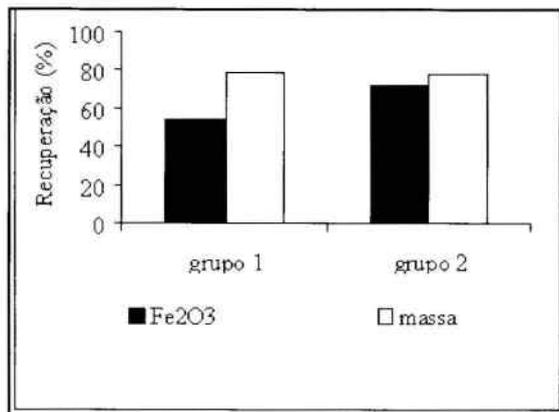


Figura 4- Resultados da flotação para as duas primeiras baterias de ensaios

Na Tabela II está ilustrado o desempenho do processo de flotação, com relação aos demais compostos presentes e de interesse para a indústria cerâmica, como os álcalis (Na₂O e K₂O), a sílica (SiO₂) e o óxido de alumínio (Al₂O₃).

Na avaliação da qualidade do concentrado de nefelina sienito para a indústria cerâmica, também são importantes os teores de alumínio, que deve ser superior a 19%, e dos álcalis, Na₂O e K₂O, que somados devem ser maior que 12%. Para os minerais de ferro já foi conseguida uma redução dos teores para valores na faixa de 1,0%; embora esse valor ainda seja elevado, já representa uma redução de cerca de 65% dos minerais de ferro contidos nos finos de nefelina sienito, possibilitando que o material seja empregado na indústria de cerâmica vermelha.

Tabela II: Teor dos elementos para os produtos obtidos por flotação

Grupo 1	Massa (%)	Teor(%)			Distribuição (%)		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Conc. rougher	15,5	46,4	16,6	9,6	11,8	16,1	52,84
Conc. scavenger	5,43	54,9	17,3	5,5	4,89	4,73	10,64
Rejeito	79,07	64,2	19,4	1,3	83,3	78,01	36,52
Alimentação	100	70,0	16,0	2,8	100	100	100
Grupo 2	Massa (%)	Teor(%)			Distribuição (%)		
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Conc. rougher	18,2	46,0	16,5	9,9	13,82	15,98	63,78
Conc. scavenger	4,68	55,5	17,4	5,3	4,29	4,38	8,79
Rejeito	77,12	64,3	17,6	1,0	81,89	79,63	27,34
Alimentação	100	60,6	18,8	2,8	100	100	100

Resultados de Separação Magnética

O concentrado de nefelina sienito, proveniente do processo de flotação, foi processado no separador magnético, tendo essa etapa reduzido o teor dos minerais de ferro em cerca de 37%. Na fração magnética foram encontradas partículas de filossilicatos de ferro e magnésio que, provavelmente, seriam biotita, mineral micáceo portador de ferro. A Figura 5(a) ilustra o hábito micáceo da partícula portadora de ferro, possivelmente biotita, e em (b) um espectro de energia dispersiva de raios X (EDS – Energy Dispersive X-ray Spectrum) correspondente a essa partícula.

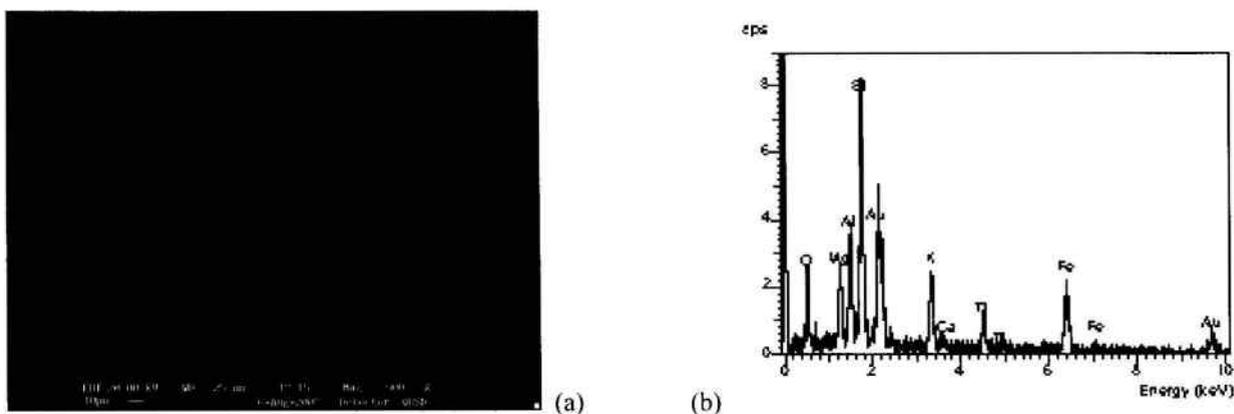


Figura 5 – Imagem MEV (a) e espectro de energia dispersiva de raio-X (b) de partícula portadora de ferro com hábito micáceo

Resultados de Lixiviação Ácida

Para os ensaios de lixiviação ácida foram utilizadas amostras dos concentrados obtidos por flotação. Esses ensaios foram realizados com soluções de 10% a 50% de ácido sulfúrico e clorídrico. A avaliação dos resultados foi feita por meio de microscopia eletrônica de varredura, que revelou uma redução sensível na quantidade de minerais de ferro presentes na amostra, especialmente pirita, mas ainda pode-se identificar partículas portadoras de ferro, como por exemplo alguns alumino-silicatos.

5. CONCLUSÕES

Embora a etapa de flotação tenha promovido uma redução de cerca de 65% dos contaminantes ferrosos da amostra de nefelina sienito, o teor residual ainda não é aceitável pelas indústrias de vidro e cerâmica em alguns casos. A etapa de separação magnética certamente reduzirá ainda mais esse teor, mas, objetivando a produção de uma nefelina sienito de alto valor agregado, outras etapas de beneficiamento serão necessárias.

Sabe-se que a lixiviação ácida é um processo caro e que acarreta danos ao meio ambiente; por isso propôs-se a utilização de ensaios de floculação seletiva para a remoção das impurezas causadas por minerais de ferro ou compostos com esse metal. Porém, a caracterização mineralógica mais aprofundada do material mostra uma certa impossibilidade de aplicação dessa técnica para a remoção das impurezas, pois elas ainda se encontram agregadas às partículas de nefelina sienito, na granulometria de flotação.

Uma etapa adicional de moagem poderia ser adicionada ao processo, na tentativa de uma maior liberação da pirita, porém a granulometria muito fina seria tida como fator limitante para a aceitação do produto nas indústrias de vidro e cerâmica. Todavia, estudar a possibilidade da floculação seletiva com amostra mais fina constitui objeto de estudo em andamento.

6. BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA

- Almada, M.M, Vlack, T.F, "Pilhas de homogeneização: Uma nova visão para feldspato cerâmico" *Cerâmica Industrial*, 2000, pp.31-34, 2000.
- Braga,P.F " Desenvolvimento de processo para o aproveitamento do feldspato contido em finos de pedreira de nefelina sienito". Dissertação de mestrado. São Paulo, USP, 112p, 1999.
- Guillet, G.R, "Nepheline Syenite" *Industrial mineral and Rocks*, pp 711-730, 1995.
- Jesus, C.A.G., "Feldspato", *Sumário Mineral, DNPM*, pgs. 61-62, 2001.
- Kauffman, ROGER A., Dyk, D.V " Feldspars". In: Carr, D.D. (Editor). *Industrial Minerals and Rocks*. 6th. Edition, pp. 473-480, 1995.