

26. Nefelina Sienito

João Alves Sampaio¹
Sílvia Cristina Alves França²

1. INTRODUÇÃO

A nefelina é um mineral $(\text{Na,K})(\text{AlSiO}_4)$ aluminossilicato de sódio, do sistema hexagonal, pertencente ao grupo dos feldspatóides, que se forma nas rochas magmáticas subsaturadas em sílica. O magma, com sílica insuficiente para combinar com o sódio e formar feldspato, favorece a formação da nefelina, cujo nome deriva do grego, *nephelē*, que significa nuvem, dado que, quando imerso em ácido, o mineral torna-se turvo.

Nefelina sienito é uma rocha ígnea rica em feldspatos sódicos, praticamente livre de quartzo, com a presença de minerais ferromagnesianos, tais como piroxênio sódico, o anfibólio alcalino e a biotita. A rocha ocorre em geral na forma irregular em corpos intrusivos de tamanhos variados e a textura é do tipo granítica ou gnáissica, cuja individualização dos grãos se obtém na granulometria que varia desde poucos milímetros até 100 μm .

A nefelina sienito constitui uma das matérias-primas essenciais para as indústrias de vidros e cerâmicas. Na fabricação de vidros, esse insumo mineral é utilizado cada vez mais como fonte de álcalis, que favorece o processo de vitrificação em temperaturas mais baixas, com substancial redução no consumo de combustível.

Na indústria cerâmica, a nefelina sienito é um substituto virtual do feldspato, em decorrência do seu elevado teor de alumina. Além disso, o elevado teor de álcalis diminui a fusibilidade, melhora a capacidade fluxante e permite a sinterização de corpos cerâmicos a baixas temperaturas ou com uma menor quantidade de agente vitrificante. Tais razões justificam a procura pelos produtos de nefelina sienito, por parte das indústrias de vidro e cerâmica.

¹ Eng^o de Minas/UFPE, D.Sc. Eng. Metalúrgica/COPPE-UFRJ, Tecnologista Sênior do CETEM/MCT

² Eng^a Química/UFS, D.Sc. Eng. Química/COPPE-UFRJ, ex-Tecnologista do CETEM, atualmente no MPEG.

A aplicação dos produtos de nefelina sienito em diversos setores da indústria, especialmente de vidros e de cerâmicas, encontra, no entanto, dificuldade em relação ao teor de Fe_2O_3 e da granulometria de liberação dos minerais portadores de ferro. Em alguns casos inviabiliza o aproveitamento do depósito mineral, embora a separação magnética seja efetiva na remoção desses minerais, dentre os quais destacam-se a magnetita e os hidróxidos de ferro. Assim, o aproveitamento econômico dos depósitos de nefelina sienito torna-se viável, especialmente, quando o teor de Fe_2O_3 situa-se abaixo de 2,0%. De forma paradoxal, quando o ferro se encontra na forma de sulfetos, a sua remoção constitui uma etapa árdua do processo. Em alguns casos, a conjugação dos processos de flotação seguido de lixiviação, torna-se de uma alternativa tecnológica para o caso (França, 2002; Braga, 1999).

Embora o mercado seja favorável à nefelina sienito, há dificuldades em se obter produtos com baixo teor de ferro. Essas dificuldades tornam-se mais acentuadas nas indústrias de vidro e cerâmica, nas quais sofre a concorrência de feldspato e aptitos. No Brasil a rocha ainda não é utilizada nessas aplicações, embora haja registro de tentativas nesse sentido.

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

2.1. Mineralogia

Sempre que se fala sobre nefelina, um feldspatóide, torna-se indispensável o conhecimento básico dos conceitos mineralógicos relacionados aos feldspatos, sobre os quais é feita uma abordagem preliminar. Feldspato é um termo genérico para um grupo de aluminossilicato contendo potássio, sódio e cálcio. Os principais minerais são ortoclásio albita ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$), anortita ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) e ortoclásio/microclínio ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$).

Os grupos dos feldspatos formam duas séries cristalinas ou soluções sólidas de minerais. O diagrama da Figura 1 ilustra as séries de produtos comerciais de feldspatos, ***$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$*** . ***$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$*** . ***$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$*** As áreas em negrito representam feldspatos homogêneos, enquanto a área na cor cinza ilustra as variações nas composições para as pertitas e as antipertitas. No diagrama constam as diferenças de composições entre produtos comerciais, embora não esteja indicada a composição modal do feldspato de produtos individuais (isto é, se cada ponto corresponde a um monomineral ou a um produto feldspato)

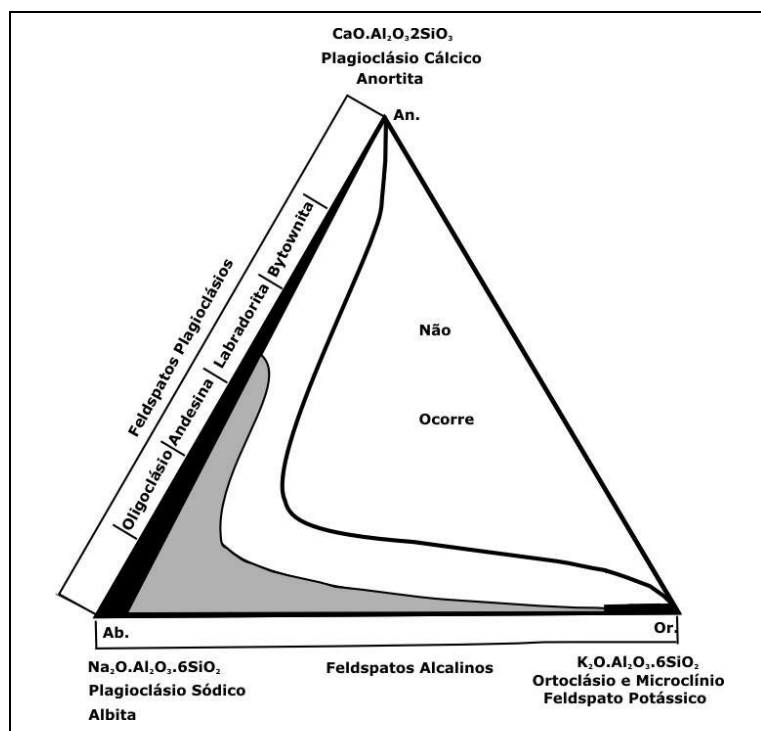


Figura 1: Diagrama ilustrativo sobre os produtos comerciais de feldspatos, série plagioclásios (Smith e Bates citados por Kauffman e Dyk (1994)).

As composições das fases finais das séries referem-se aos feldspatos com predominância de sódio, cálcio e potássio. Os feldspatos cuja composição química varia entre sódio e potássio são ditos feldspatos alcalinos; enquanto aqueles entre sódio e cálcio são ditos calco-sódicos ou feldspatos plagioclásios. Com base nos aspectos de estrutura e composição química, esses grupos podem ainda ser subdivididos dentro da série alcalina e plagioclásio. A distinção e proporção das fases são importantes na classificação das rochas ígneas (Deer *et al.*, 1996).

As propriedades físicas de ambas as séries são muito similares. Os feldspatos têm dureza 6, densidade variando de 2,54 a 2,76 e um lustre vítreo. A cor é mais específica e pode variar do translúcido ao transparente, branco ao cinza, verde, amarelo e vermelho.

Os aspectos diagnósticos dessas duas séries geralmente exigem auxílios de outros recursos como: ópticos, de análises químicas, de raios-X, entre outros. Não obstante, a presença de albita pode facilitar a distinção, até mesmo a olho nu, entre os plagioclásios e os feldspatos rico em potássio.

Pertitas são produtos de exsoluções de uma solução sólida, inicialmente homogênea, de feldspatos potássio-sódio que formam (em um ambiente de temperatura decrescente) um intercrescimento de feldspatos ricos em sódio no cristal hospedeiro de feldspato rico em potássio. Antipertitas são produtos de exsolução, na qual o mineral hospedeiro é um feldspato plagioclásio rico em sódio e os intercrescimentos são feldspatos ricos em potássio.

A nefelina é o mais comum dos feldspatóides (aluminossilicatos de potássio, tendo sódio e cálcio como elementos principais), entretanto, com quantidades menores de íons metálicos. O conteúdo de sílica faz a diferença química entre feldspatos e feldspatóides, os quais contêm cerca de dois terços de sílica a menos que os feldspatos alcalinos e, por isso, tendem a formar soluções ricas em álcalis, especificamente, em sódio e potássio. O grupo dos feldspatóides inclui também leucita, sodalita e cancrinita.

A estrutura dos feldspatóides é semelhante àquela dos feldspatos e minerais de sílica. Contudo, vários deles desenvolveram cavidades estruturais maiores que as dos feldspatos, como resultado de ligações de quatro e seis células tetraédricas. Esse aumento na abertura de estruturas para um certo número de feldspatóides, em relação aos feldspatos, responde pela diferença nas densidades desses minerais. Assim, se explica a diferença nas faixas de densidade entre esses minerais como entre 2,15 e 2,50, para feldspatóides, e entre 2,54 e 2,75, para os feldspatos. (Klein *et al.*, 1985).

A nefelina se cristaliza no sistema hexagonal e pode se alterar, formando sodalita, cancrinita e zeólita. A sua fórmula química é $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, com a possibilidade de ocorrer a substituição do sódio pelo potássio. O cálcio está presente em alguns casos, com quantidade variável de 3 a 12%. Na Tabela 1 encontram-se as composições teóricas da nefelina comparadas aos principais minerais do grupo dos feldspatos, bem como as composições de nefelina, albita e microclínio, provenientes da província de Ontário, Canadá, e de uma nefelina sienito do Brasil.

Tabela 1: Composições teóricas (%) da nefelina e dos minerais que compõem as séries dos feldspatos, bem como a nefelina, a albita e o microclínio da província de Ontário, Canadá.

Composições teóricas da nefelina e dos principais membros das séries dos feldspatos.					
Feldspatos	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Nefelina	21,8			35,9	42,3
Microclínio	-	16,9	-	18,4	64,7
Ortoclásio		16,9	-	18,4	64,7
Albita	11,8	-	-	19,5	68,7
Anortita			20,1	36,6	43,3

Composições químicas de nefelina, albita e microclínio da província de Ontário				
Óxidos	Brasil	Ontário – Canadá		
	Nefelina	Nefelina	Albita	Microclínio
SiO ₂	58,40	43,01	67,90	64,50
Al ₂ O ₃	23,80	34,01	20,60	19,31
MgO	0,60	0,04	0,06	0,42
CaO	2,60	0,36	0,24	0,07
Na ₂ O	7,24	15,42	10,78	2,03
K ₂ O	5,57	6,15	0,15	13,59
H ₂ O	-	0,99	0,22	0,28
Fe ₂ O ₃	3,30	0,14	ND	ND
FeO	-	ND	ND	ND
Densidade	-	2,62	2,59	2,55

Fontes: Klein (1985); Kauffman e Dyk(1994) e Guillet (1994)

2.2. Geologia

A nefelina sienito é uma rocha ígnea e se caracteriza pela escassez de quartzo e presença do feldspatóide, nefelina. A rocha é formada com base em magmas alcalinos com baixo teor de sílica, o que favorece a formação da nefelina em vez do feldspato albita, muito embora, haja nefelina sienito com origem em gnaisses.

As nefelinas sienitos são compostas essencialmente de nefelina, plagioclásios sódicos (em geral albita ou oligoclásio) e microclínio, todavia, a proporção desses minerais pode variar segundo faixas extensas. Esses tipos de rocha contêm de 20 a 30% de nefelina, no entanto, são encontradas segregações aproximadamente puras. Os minerais acessórios mais encontrados são: hornblenda, piroxênio, pirita, biotita, moscovita, magnetita, calcita, entre outros que podem ocorrer em proporções que variam desde traços até poucos pontos percentuais, tais como: sodalita, cancrinita, granada, zircônio, apatita, coríndon,

titanita, ilmenita, escapolita, calcita, turmalina, vesuvianita, clorita e zeólitas. Para melhor aproveitamento comercial, as jazidas de nefelina sienito devem conter menos que 5% de minerais ferromagnesianos e ausência de coríndon.

No Brasil, há vários depósitos de grande porte de nefelina sienito distribuídos principalmente nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Bahia, entre outros. Mesmo assim, a produção de matéria-prima contendo álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) ainda advém do feldspato produzido a partir de pegmatitos.

3. LAVRA E PROCESSAMENTO

3.1. Lavra

A lavra é feita em geral por métodos a céu aberto. Como se trata sempre de rocha compacta, o desmonte, feito por explosivos na maioria dos casos, utiliza relação estéril:minério sempre baixa, igual a 1:1. O transporte também é feito de forma convencional, por meio de carregadeiras frontais e caminhões.

3.2. Processamento

Os depósitos comerciais de nefelina sienito devem ter granulometria de liberação dos minerais de ganga (biotita, hornblenda, pirita, magnetita, etc) numa faixa que permita a remoção dos mesmos por processos convencionais de concentração e, ainda, possibilite o emprego industrial do produto final. Tais processos devem proporcionar produtos finais com pureza adequada à sua utilização nas indústrias que exigem insumos com elevado índice de alvura, para os quais os minerais escuros são os mais nocivos. O êxito no emprego dos processos de remoção desses minerais está relacionado à granulometria de liberação dos mesmos. Assim, para liberação em granulometria grossa, torna-se essencial o emprego da separação magnética e da flotação, processos, em alguns casos, seguidos de lixiviação.

No processamento de nefelina sienito é prática universal iniciar com dois estágios de britagem, primária e secundária, seguidos da remoção dos minerais de magnetita e ferromagnesianos, em geral por meio de separação magnética a úmido de baixa e alta intensidade. O produto, após secagem, é então moído em moinhos com meio moedor de quartzito e classificado em aerosseparadores, de acordo com as especificações comerciais.

A flotação é também empregada em alguns casos, quando há minerais de ferro com baixa susceptibilidade magnética (por exemplo, pirita) ou há chance de obter concentrados de moscovita como subproduto.

4. USOS E FUNÇÕES

As indústrias de vidro e cerâmica são as principais usuárias de produtos nefelina sienito. Outras aplicações do produto nefelina sienito incluem a produção de alumina, carbonatos de sódio e potássio, cimento “portland”, apatita, entre outros. Também tem-se ampliado o uso da nefelina sienito para obtenção de agregados para a construção civil, visto que essa rocha contém pouca sílica e por isso sua resistência a altas temperaturas é superior a do granito, tradicionalmente utilizado nesse segmento.

Nefelina sienito para a indústria de vidro

O vidro é um sólido iônico, com estrutura amorfa, lembrando a de um líquido. (Atkins, 2001; Chang, 2001). A composição e seleção da matéria-prima para manufatura de vidros estão vinculadas de forma significativa aos sistemas produtivos dos vidros e ao mercado dos seus produtos. Portanto, as especificações para a matéria-prima baseiam-se em circunstâncias específicas e econômicas, exigindo rígidos controles das características químicas, físicas, além da ausência de material volátil, materiais refratários e baixo custo de produção.

A manufatura de vidro inclui uma variedade de formulações e produtos, cujos materiais podem ser resumidos em três grupos: vidros de reciclagem, estabilizadores e fluxantes. Estes últimos são óxidos que atuam no vidro a baixas temperaturas, enquanto os estabilizadores são os óxidos que imputam ao vidro elevada resistência química.

A nefelina sienito é também utilizada como fonte de alumina na produção do vidro do tipo cal-soda, que é uma combinação de sílica com os óxidos Na_2O e CaO em igual proporção, cerca de 12% em peso para cada composto alcalino. Essa combinação é responsável pela maior parte dos vidros produzidos, com destaque para os vidros planos e para embalagem. Quando se reduzem as proporções de Na_2O e CaO e adiciona-se Ba_2O_3 , obtém-se o chamado vidro de borossilicato, dos quais o pírex é o mais comum. Essa composição resulta em um produto com baixo coeficiente de dilatação térmica, que, por essa razão, é adequado à produção de embalagens para uso em laboratório.

Embora a alumina (Al_2O_3) não seja majoritária na composição da maior parte dos vidros, a sua participação na mistura varia entre 2 e 15% e depende do tipo de vidro a ser obtido. Quando presente, o Al_2O_3 confere aos vidros elevada resistência aos ataques químicos, aumenta a dureza e a durabilidade, acentuando ainda as características de trabalho dos vidros fundidos. Neste contexto, a nefelina sienito é uma importante fonte de alumina (Al_2O_3), além de prover os óxidos alcalinos (K_2O e Na_2O). O conteúdo de álcalis atua como fluxante, baixando a temperatura de fusão da mistura e, conseqüentemente, reduzindo a quantidade de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a ser adicionado. Isso reduz substancialmente, os custos de produção (Kendall, 1993).

A alumina atua ainda como estabilizador, promove a durabilidade pelo aumento da resistência ao impacto, à flexão, ao choque térmico, aumenta a viscosidade durante a formação dos vidros e inibe a desvitrificação. As composições para vidros planos e para embalagens demandam de 1,5 a 2,0% em peso de Al_2O_3 , valor que chega a 15% para certas fibras de vidro. A alumina é o componente majoritário na fabricação da fibra de vidro, tipicamente o vidro aluminossilicato; por outro lado, nos vidros borossilicatos, além daqueles para tubo de TV e vidros cal-soda, é o menor componente.

Quando há carência na oferta de alumina, soda e potássio, a indústria de vidro utiliza a nefelina sienito, que se transforma numa fonte econômica desses constituintes, em decorrência, dentre outras, das seguintes vantagens:

- baixo ponto de fusão e menor temperatura de trabalho do vidro;
- redução da viscosidade do vidro fundido e aumento sua trabalhabilidade;
- aumento das resistências química e física do vidro;
- redução do consumo de carbonato de sódio, pelo conteúdo de álcalis
- fusão mais rápida e elevada produtividade;
- redução, de forma significativa, do consumo de combustível.

Para ser usado na indústria de vidro, esse insumo mineral deve ter granulometria que varia entre 350 e 74 μm e seu conteúdo de ferro não deve exceder a 0,1% de Fe_2O_3 . Há uma tolerância aos teores mais elevados desse metal, desde que não haja controle rígido do ferro para coloração do vidro, como na produção do vidro verde, âmbar, fibra de vidro, dentre outros. Mesmo assim, o máximo permitido é de 0,35% de Fe_2O_3 (Harben, 1996).

Os teores de alumina e álcalis na nefelina sienito devem ser os mais elevados possíveis, isto é, 23 e 14%, respectivamente. Além disso, não deve haver minerais refratários, porque eles resistem ao processo de fusão em temperaturas até 1.600°C e permanecem no vidro como pelotas, causando defeitos no produto final e inviabilizando sua comercialização (Harben, 1995). Os produtores de vidros exigem ausência de minerais refratários nas nefelinas sienito, areias feldspáticas e aplitos, que, além disso, não devem conter:

- grãos de quartzo acima de 1,19 mm;
- caulim ou espinélios com granulometria acima de 0,84 mm;
- silicatos de alumínio, cianita, mulita, sillimanita, andalusita, com granulometria acima de 0,60 mm;
- coríndon com granulometria acima de 0,42 mm;
- zircônio, cassiterita e cromita com granulometria acima de 0,25 mm.

Nefelina sienito para a indústria cerâmica

A nefelina sienito empregada na indústria cerâmica forma uma fase vítrea no biscoito, promovendo tanto a vitrificação como a translucidez. É também empregada como fonte de álcalis e alumina nos esmaltes, além de prover a formação de compostos alcalinos insolúveis em água. O produto, finamente moído, é usado na indústria cerâmica de revestimento, pisos, louças sanitárias e de mesa, bem como vários produtos cerâmicos para isolamento elétrico e utilização odontológica, entre outras finalidades. A baixa temperatura de fusibilidade e elevada capacidade fluxante permitem a nefelina sienito atuar como um agente vitrificante, contribuindo para a formação de uma fase vítrea que liga outros constituintes da formulação. Isso permite um conteúdo de fundente mais baixo no corpo cerâmico, menor temperatura e período de queima. Sua longa faixa de queima resulta numa resistência física mais elevada do produto final. Para cada tipo de produto cerâmico, há uma percentagem em peso da nefelina sienito e outros feldspatos na composição, conforme consta na Tabela 2.

Nefelina sienito é também usada na formulação da maioria dos esmaltes cerâmicos, particularmente por atuar como fluxante nos ciclos de queima rápida e convencional.

Tabela 2: Faixa percentual de participação dos feldspatos inclusive a nefelina sienito na composição dos produtos cerâmicos.

Produtos	(%)	Produtos	(%)
Louças	17-20	Pb vitrificado	25
Cozinha (louça)	10	Isolante elétrico	25-35
Azulejos	0-11	Pisos	55-60
Porcelana dental	60-80		

Fonte: Singer, citado por Kauffman e Dyk (1994)

Na indústria cerâmica, a nefelina sienito é, em geral, utilizada moída na granulometria abaixo de 74 μm ; ainda assim, há casos de moagem abaixo de 53 ou mesmo 37 μm , dependendo do processo e do produto final a ser obtido.

A ausência de minerais escuros no produto de nefelina sienito resulta num corpo cerâmico uniformemente branco, isto é, sem mancha. Na prática, o comum é misturar o produto de nefelina sienito à argila plástica, caulim, talco, entre outros, de acordo com a mistura ponderada das matérias-primas. Para alguns produtos cerâmicos, alguns porcelanatos, a nefelina sienito e feldspatos podem participar com até 60% em peso da mistura.

Nefelina sienito usada na pigmentação e nas cargas

O desempenho de um mineral quando empregado como carga está ligado às suas próprias características e àquelas impostas pelo beneficiamento a que o insumo mineral foi submetido. Entre as operações do beneficiamento destacam-se a moagem, classificação, calcinação, flotação, separação magnética, tratamento de superfície. Das propriedades mais relevantes que se atribuem ao insumo mineral para uso como carga, destacam-se: dureza, granulometria, forma das partículas, cor, índice de refração e propriedades químicas.

Quando finamente moída, a nefelina sienito é usada como carga nas indústrias de tintas (latex e sistemas alcalinos) para uso nas áreas de tráfego intenso; como cobertura primária nas pinturas metálicas; nas madeiras para evitar manchas; nas tintas selantes. As vantagens consistem na alvura elevada, ausência de reatividade, maior valor agregado, melhores facilidades para formular e aplicar.

Nos plásticos, a nefelina sienito é usada como carga na manufatura do carpete de espuma. A vantagem é que ela possui densidade mais baixa que o carbonato de cálcio e o talco.

Para uso em cargas, o produto de nefelina sienito deve também possuir alvura elevada, cerca de 96-98%, o que implica um conteúdo significativamente baixo de minerais escuros. No Canadá são comercializados produtos com granulometria abaixo de 4,5 μm , índice médio de refração de 1,53, absorção em óleo de 22 a 29%.

Nefelina sienito usada como fonte de alumina, carbonatos de metais alcalinos e insumo na produção de cimento portland.

Concentrados de nefelina sienito são usados na Rússia para extrair alumina e, em maior parte, alumínio metálico. O processo também inclui a recuperação dos carbonatos de sódio e potássio, cujo resíduo é aproveitado na produção de cimento “portland”. O processo de obtenção do alumínio metálico com base em nefelina sienito, ainda não se tornou uma alternativa viável, uma vez que o metal extraído de bauxita continua mais competitivo, em termos de processo e custo de produção.

5. ESPECIFICAÇÕES

Os produtos de nefelina sienito são comercializados segundo os valores das suas unidades fluxantes (isto é, o total de Al_2O_3 mais o conteúdo de álcalis) e com preço mais elevado do que o dos derivados do feldspato. Esse custo, entretanto, é compensado pela economia no consumo de fluxante, particularmente o carbonato de sódio. Geralmente, a escolha de uma determinada matéria-prima leva em conta as vantagens e desvantagens técnicas, muito embora prevaleça como critério o custo total de toda matéria-prima utilizada, caso das indústrias de vidro e cerâmica, esta última com mais flexibilidade que a primeira.

Suprir o mercado das indústrias de vidros e cerâmica com produtos competitivos exige atenção especial na obtenção de produtos sempre com as mesmas características físicas e químicas. Essas características variam entre regiões e países, advindas, entre outros, dos seguintes fatores:

- origem e/ou natureza da matéria-prima, além do tipo de beneficiamento empregado;

- tipos de produtos a serem manufaturados e dos seus índices de sofisticação;
- processos de produção dos bens de consumo fabricados com bases nesses insumos minerais.

Cada particularidade confere à matéria-prima uma característica especial. Portanto, a mesma matéria-prima pode conter características diferentes, quando beneficiada por métodos distintos, embora haja o compromisso de se obter o mesmo produto final. A usual substituição de uma matéria-prima por outra de natureza diferente conduz a especificações completamente diferentes, o que deve ser evitado.

Desse modo, a uniformidade no fornecimento de matéria-prima com características químicas e físicas constantes constitui o principal desafio dos fornecedores de insumos minerais para as indústrias cerâmica, de vidro, etc.

Nas indústrias de cerâmica e de vidros, impurezas refratárias, tais como zircão e coríndon, são extremamente indesejáveis. Isso decorre das suas elevadas temperaturas de fusão, que fazem esses materiais permanecerem inalterados, após o tratamento térmico a que foram submetidos, o que causa sérias imperfeições ao produto final. Outras impurezas indesejáveis à indústria cerâmica são os minerais que emitem gases, CO₂ ou SO₂, tais como calcita, cancrinita, sodalita e pirita, aos quais se exige ausência ou limites próximos de zero na composição das massas cerâmicas. O flúor, na forma de fluorita, causa dificuldade na vitrificação, em ambos os processos, cerâmico e de vidros, por isso, reservam-se cuidados especiais na sua utilização (Kendall, 1993).

Para disponibilizar no mercado produtos uniformes, em termos de características químicas e físicas, os consumidores elaboraram um conjunto de especificações para os produtos comerciais de nefelina sienito, resumidas e ilustradas na Tabela 3. Para atender a tais especificações, é necessário um sistema rígido de monitoramento, começando com as sondagens geológicas, passando pelo circuito de beneficiamento com vários pontos de controle, incluindo determinações de Al₂O₃, Na, K, CaO, MgO, Fe₂O₃, entre outros. Além disso, análises granulométricas até a faixa ultrafina são imprescindíveis. Finalmente, cone de fusão e determinações da alvura a seco do produto final são necessárias como requisitos adicionais no controle do processo.

Tabela 3: Análises químicas de um produto de nefelina sienito e suas características físicas, bem como as especificações para um produto comercial, valores em percentagens, de nefelina sienito praticadas no Canadá e na Noruega.

Análise típica de um produto de nefelina sienito e suas características físicas							
Composto	(%)	Características Físicas					
		Densidade		2,61			
SiO ₂	61,40	Granulometria					
		aberturas (µm)				% retida	
Al ₂ O ₃	22,74	147				0,01	
Fe ₂ O ₃	0,06	104				0,04	
CaO	0,70	74				0,45	
MgO	traços	53				1,40	
Na ₂ O	9,54	43				3,10	
K ₂ O	4,95	-43				95,00	
P.F.	0,60						
Análises químicas típicas de nefelina sienito comercializada no Canadá e na Noruega							
Composto	Noruega	Noruega	Canadá	Canadá	Canadá	Noruega	Canadá
SiO ₂	57,00	56,50	60,30	59,70	60,70	57,00	59,99
Al ₂ O ₃	23,80	22,50	23,70	23,50	23,30	23,80	23,7
Fe ₂ O ₃	0,10	0,40	0,10	0,40	0,07	0,12	0,08
TiO ₂	0,10	-	-	-	-	-	0,001
CaO	1,30	2,50	0,30	0,50	0,70	1,10	0,37
Na ₂ O	7,90	7,50	10,40	10,20	9,80	7,80	10,60
K ₂ O	9,00	8,20	5,00	5,00	4,60	9,10	4,80
MgO	-	-	Traços	0,10	0,10	-	0,20
BaO	0,30	-	-	-	-	0,30	-
SrO	0,30	-	-	-	-	0,30	-
P ₂ O ₅	0,10	-	-	-	-	-	-
F	< 40 ppm	< 40 ppm	-	-	-	< 40 ppm	-
Cl (S/H ₂ O)	< 0,15 ppm	-	-	-	-	< 18 ppm	-
Cl (Total)	< 100 ppm	< 100 ppm	-	-	-	< 75 ppm	-
PF	1,2	-	0,30	0,60	0,70	-	0,37

S/H₂O = solúvel em água; PF = perda ao fogo.

Fontes: Kendall (1993) e Harben (1995)

6. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

O fonólito é o equivalente vulcânico da nefelina sienito, comercializado na França, Alemanha, Republica Tcheca, Canadá etc. No Brasil, esse bem mineral é explorado comercialmente em Lages, Santa Catarina, onde foi testado como fundente em substituição à nefelina sienito nos processos cerâmicos de revestimento (Braga, 1999). Os fonólitos, em geral, são portadores de minerais de ferro com teores mais elevados, comparados àqueles da nefelina sienito. De algum modo, esse fato dificulta o emprego dos fonólitos em substituição às nefelinas sienitos. Há casos, no entanto, em que a substituição torna-se possível; principalmente, nos processos cerâmicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINS, P. e JONES L. (2001). Princípios de Química. Bookman, Porto Alegre. 914p., p.691-734.
- CHANG, R. (2001). Química, 5ª Edição. McGraw-Hill. 1117p., p.496-519.
- FRANÇA, S. C. A. e SAMPAIO, J. (2002). Obtenção de feldspato a partir de finos de pedra de nefelina sienito e utilização como insumo para a indústria cerâmica. In: XIX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Recife, Anais, p.651-656.
- GUILLET, R. G. (1994). Nepheline Syenite. In: Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition, D. D. Carr (Senior Editor), Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, p.711- 730.
- HARBEN, P. W. (1996). Bauxite. In: Industrial Minerals – A Global Geology. 462p., p.175-185.
- HARBEN, P. W. (1995) The Industrial Minerals HandyBook II. 253p. Metal Bolletin PLC. London, p.183-186.
- KAUFFMAN, R. A. e DYK, D. V. (1994). Ferdspar. In: Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition, D. D. Carr (Senior Editor), Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, p. 473-481.
- KENDALL T. (1993). Feldspar & nepheline syenite – The alumina providers. In: Raw Materials for Glass & Ceramics Industries. IM Glass & Ceramic Survey.
- KLIEN C. e CORNELIUS S. HURLBUT, JR. (1985). Manual of Mineralogy after James D. Dana. John Wiley & Sons, Inc. New York.