

Os fenocristais são raros, e a matriz da rocha é constituída por feldspatos sodi-potássicos, nefelina, egrina e potássicos, nefelina, egrina e mangano-pectolita (um silicato de cálcio e sódio, com manganês) a serandita cálcica (um silicato de manganês e sódio, com cálcio) (Figs. 2 e 3). Acessoriamente, ocorrem minerais de Ti-Zr, acentuando o caráter tipicamente agpaítico, ou seja, de predomínio dos elementos alcalinos sobre o alumínio, bem como fluorita e criolita. Dados sobre a composição química de cada um desses minerais constam dos trabalhos de Scheibe² e Traversa *et al.*⁴

Em sondagens e nas frentes de lavra do minério, observa-se pequeno aumento do tamanho de grão com a profundidade, passando a constituir um nefelina microssienito, chamado localmente de nefelina sienito, mantendo-se porém praticamente constantes os teores dos elementos maiores e a mineralogia essencial. Essas amostras não foram analisadas quanto aos elementos menores e traços, e em exames

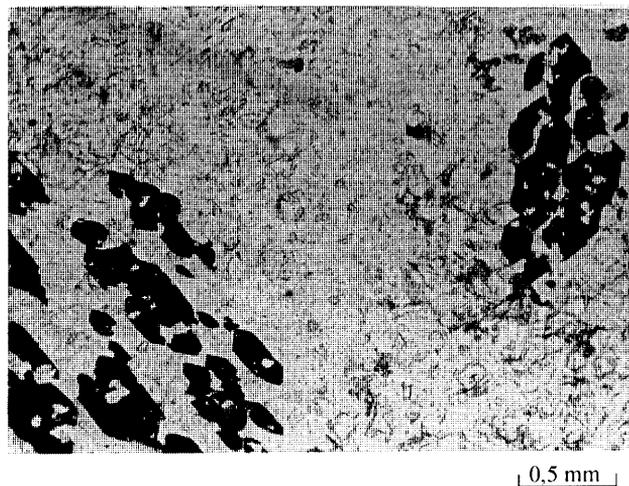


Figura 2.

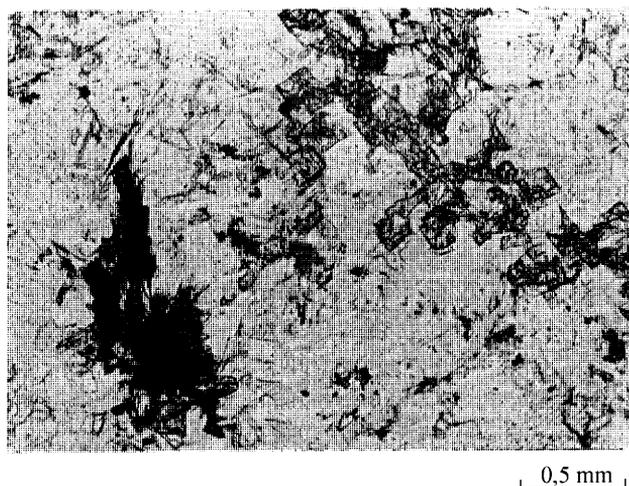


Figura 3.

preliminares na microsonda eletrônica não foi constatada a presença dos minerais de Ti-Zr nem da fluorita ou criolita.

Os fonolitos porfíricos da Farinha Seca (Mun. de Correa Pinto e Otacílio Costa) e os nefelina sienitos porfíricos do Cerro Alto (Mun. de Lages) têm composição química semelhante à dos fonolitos e nefelina sienitos da Chapada dos Índios, mas caracterizam-se por textura bem mais grossa e especialmente pela presença de fenocristais de salita (clinopiroxênio calci-ferro-magnesiano), geralmente zonado e com bordas de crescimento de egrina (Fig. 4).

Ensaio e resultados

Na Tabela 1 estão relacionados vários fonolitos e nefelina sienitos procedentes da Chapada dos Índios, Município de Lages, bem como um nefelina sienito (ou fonolito porfírico) de Otacílio Costa (am. 17), além de dois fílitos, com suas respectivas composições químicas.

As análises químicas das amostras 1 a 14 foram fornecidas pela Cerâmica Portobello S.A.; as análises 15 e 16 foram extraídas de Santos (1975) e as análises 17 e 18 de laudo da Companhia Carbonífera Urussanguense.

Os resultados das análises dos fonolitos e nefelina sienitos da Chapada dos Índios, amostras 1 a 14, mostram que os teores de sódio variam de 7,20% até 10,74% e os teores de potássio, entre 5,20% e 7,0%. A soma destes dois elementos alcalinos varia entre 13,80% e 16,68%, justificando seu papel de fundente enérgico.

Observa-se na Tabela 1 que outro clássico fundente brasileiro, o filito, apresenta teores de potássio entre 4,20% a 4,80% e teores de sódio de 0,13% a 0,14%, com soma inferior a 5%, menos que 1/3 da soma nos fonolitos e nefelina sienitos procedentes da Chapada dos Índios. Nos fílitos há um predomínio absoluto do potássio sobre o sódio, e nos fonolitos/nefelina sienitos o sódio predomina sistematicamente sobre o potássio. Este fato é também relevante, porque o sódio é conhecido como um fundente

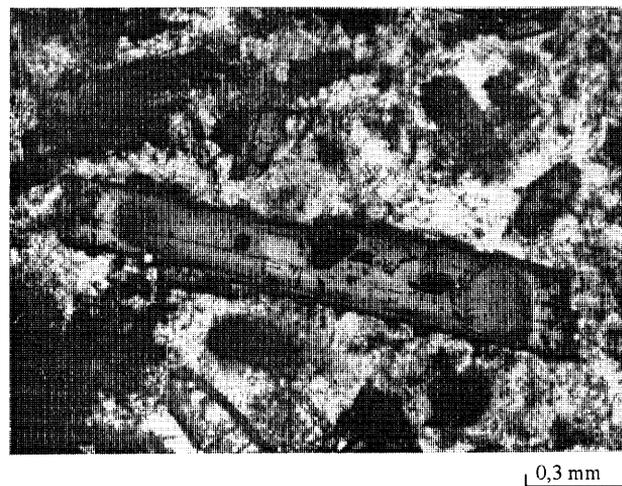


Figura 4.

Tabela 1. Amostra, Tipo Petrográfico, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, MnO, P.F.

01	Fonolito	57,97	22.61	2.01	0.09	0.80	---	5.20	10.27	---	0.96
02	Fonolito	57.54	22.06	0.13	1.44	0.73	0.05	5.94	10.74	---	0.70
03	Fonolito	57.20	21.60	2.50	0.13	0.95	0.16	5.90	8.60	0.16	---
04	Fonolito	56.60	21.90	2.50	0.12	1.00	0.10	5.80	9.00	0.19	---
05	Fonolito	55.90	21.20	2.40	0.14	1.80	0.10	5.90	10.10	0.17	---
06	Fonolito	57.50	21.50	3.30	0.11	0.77	0.10	5.90	9.40	0.17	---
07	Nefelina sienito	56.10	21.30	3.00	0.18	1.10	0.10	6.50	9.00	0.16	---
08	Nefelina sienito	56.10	21.20	3.00	0.18	1.10	0.10	6.60	7.90	0.13	---
09	Fonolito	57.80	21.20	3.60	0.10	0.68	0.10	5.80	9.40	0.17	---
10	Fonolito	57.30	20.80	3.00	0.12	1.20	0.10	6.30	9.20	0.16	---
11	Nefelina sienito	56.20	21.20	3.50	0.20	1.20	0.10	7.00	8.70	0.15	---
12	Nefelina sienito	54.80	22.60	2.90	0.21	1.40	0.16	6.60	8.90	0.22	---
13	Nefelina sienito	55.10	22.80	2.60	0.21	1.50	0.25	6.60	7.20	0.23	---
14	Fonolito	57.20	22.60	1.50	0.11	0.77	0.06	6.31	9.57	0.10	---
15	Filito Itapeva	64.00	23.40	1.60	---	0.50	0.70	4.20	0.14	---	3.80
16	Filito São Roque	67.60	21.10	1.60	---	0.40	0.70	4.80	0.13	---	2.90
17	Nefelina sienito (porf.)	48.39	23.86	2.50	0.03	1.27	0.45	4.58	11.29	---	5.75
18	Fonolito	50.76	24.68	1.97	0.04	0.44	0.32	7.38	11.80	---	1.90

mais enérgico que o potássio. Por outro lado, a soma dos principais componentes refratários (SiO₂ e Al₂O₃) do filito é da ordem de 88%, enquanto no fonolito é da ordem de 78%.

Na Fig. 5, curva de gressificação, observa-se a absorção da água e a retração dos corpos de prova de um nefelina sienito porfirítico (de Otacílio Costa), um filito, um feldspato comercial e um fonolito da Chapada, todos queimados a 1000 °C, 1020 °C, 1040 °C, 1060 °C e 1080 °C. Os corpos de prova foram elaborados a partir das respectivas rochas *in natura*, utilizando-se a mesma sistemática na preparação. Após a moagem a um resíduo de 2%, foram prensados os corpos de prova com 240 kgf/cm² com um teor de umidade de 11% , sendo 5,5% de água e 5,5% de amisol. Os corpos de prova assim preparados foram queimados nas várias temperaturas em ciclo de 30 min.

Na Fig. 5 observa-se que o fonolito apresenta um decréscimo praticamente linear na absorção entre 1000 °C e 1040 °C. Nesta última temperatura, ele apresenta uma absorção de 8% de água, contra 14,3% do filito, 6% do nefelina sienito porfirítico e 26,5% do feldspato comercial. Entre 1040 °C e 1060 °C há uma queda acentuada na absorção de água do fonolito, atingindo o corpo de prova o estado vítreo com absorção zero aos 1080 °C. O filito só atinge o mesmo estágio na temperatura de 1180 °C. O feldspato comercial (potássico) a 1180 °C ainda absorve 11,5% de água, evidenciando uma refratariedade muito maior. Já o nefelina sienito porfirítico atinge o estado vítreo a 1060 °C, caracterizando um patamar mais curto rumo à vitrificação. Conclui-se que tanto o fonolito como o nefelina sienito porfirítico são fundentes muito mais enérgicos

e que o fonolito, por apresentar uma gressificação mais constante com o aumento de temperatura, se caracteriza como um fundente mais adequado para uso em massas cerâmicas do tipo “Grês”.

Com o intuito de observar o efeito de aquecimento progressivo sobre o fonolito foi realizado um teste ao microscópio de aquecimento Leitz, comparando-se o seu comportamento ao de um outro clássico fundente brasileiro, o granitóide Jundiá, procedente de São Paulo e utilizado em algumas massas do tipo “Grês” (Fig. 6).

O teste, que consiste na observação do comportamento de um pequeno cubo de rocha *in natura*, com uma velocidade de aquecimento de 10 °C por min, evidencia para o fonolito uma temperatura de 1.100 °C para início de retração. As temperaturas para arredondamento das faces, de pontos de esfera e de semi-esfera e de fusão completa são respectivamente, 1.180 °C, 1.240 °C, 1.280 °C e 1.340 °C para o fonolito, e 1.400 °C, 1.490 °C, 1.560 °C e 1.620 °C, para o granitóide Jundiá. Da análise das imagens conclui-se que o fonolito é um fundente mais enérgico, evidenciando uma sinterização gradativa, em temperaturas mais baixas. Ressalte-se que, com a moagem convencional para a indústria cerâmica, essas temperaturas são significativamente rebaixadas, conforme evidenciado nos demais testes efetuados.

Visando avaliar o efeito de formação da fase vítrea em massas cerâmicas convencionais com teores crescentes de fonolito, foram testadas várias massas tendo como outros componentes apenas um caulim silicoso residual, refratário, resultante de alteração dos riolitos da Formação Campo

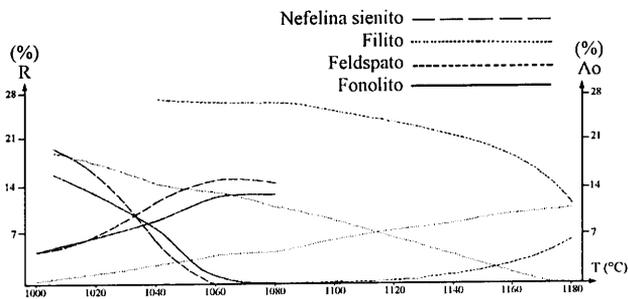


Figura 5. Gráfico de gressificação de um nefelina sienito de Otacilio Costa, filito, feldspato comercial e um fonolito da Chapada dos Índios.

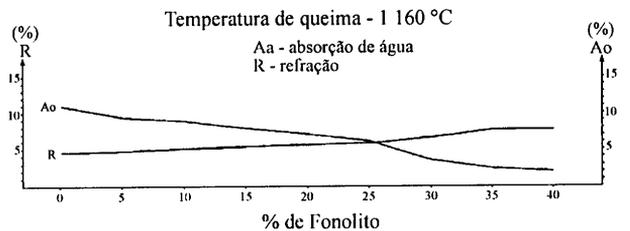


Figura 7. Gráfico de absorção e retração de várias massas com teores

tração evidencia um comportamento dimensional bastante estável e previsível.

Com o intuito de avaliar o efeito de fraturamento e brechação geológica no comportamento cerâmico, fez-se uma análise comparativa de gressificação entre amostras de um nefelina sienito fraturado e outro maciço, ambos da Chapada. Na Fig. 8 (sienito fraturado x não fraturado), observa-se a curva de gressificação de um nefelina sienito coletado em zona fraturada (amostra 7, Tabela 1) e um nefelina sienito com textura semelhante, mas não fraturado (amostra 11, Tabela 1).

A Fig. 8 evidencia uma sinterização mais acentuada na amostra 11 desde os 1.000 °C, atingindo aos 1040 °C uma absorção de 7,7% contra 10,2% da amostra 7 na mesma temperatura. O teste mostra também que o nefelina sienito 11 atinge a uma temperatura ligeiramente mais baixa a absorção zero. Na Tabela 1 observa-se que a semelhança na composição química dos dois nefelina sienitos é grande. Na amostra 11, o Fe_2O_3 é 0,5% maior que na amostra 7, e o K_2O é também 0,5% maior. Na soma do Na_2O e K_2O , o nefelina sienito 11 é 0,2% maior que no nefelina sienito 7. A maior refratariedade do nefelina sienito fraturado (amostra 7) pode estar relacionada a essas pequenas diferenças químicas e/ou a diferenças de textura causadas pelo fraturamento local, o que é mais provável: diversos ensaios de sinterização em uma frente de lavra contendo fonolito e nefelina sienito, localizada na área estudada, têm registrado sistematicamente um aumento da refratariedade quando o fonolito e/ou o nefelina sienito apresentam evidências de fraturamento e brechação.

Por outro lado, verifica-se que a granulação mais grossa torna a rocha mais refratária. Assim, entre um fonolito e um nefelina sienito com composição química semelhante, desde que não hajam fenômenos secundários de brechação, silicificação etc., este último será sempre mais refratário que o fonolito, conforme resultados de inúmeros testes de laboratório.

Utilização industrial

Com base nas características físico-químicas do fonolito e nos inúmeros ensaios de massas contendo teores variados do mesmo, decidiu-se utilizar este minério industrialmente em uma cerâmica de porte. Inicialmente, foram utilizados teores de 3% e, com os resultados positivos, esse

	Fonolito Chapada	Granitoide Jundiá
Velocidade de Aquecimento	10 °C/min	10 °C/min
	20 °C	20 °C
Temperatura de início de retração	1 100 °C	
Temperatura de arredondamento das bordas	1 180 °C	1 400 °C
Temperatura de aponto de esfera	1 240 °C	1 490 °C
Temperatura de semi-esfera	1 280 °C	1 560 °C
Temperatura de fusão completa	1 340 °C	1 620 °C
Intervalo de arredondamento	100 °C	

Figura 6. Teste ao microscópio de aquecimento (Leitz) do Fonolito da Chapada dos Índios - SC e do Granito de Jundiá - SP.

Alegre e uma *ball clay* para imprimir resistência aos corpos de prova à seco.

Na Tabela 2 estão relacionadas as proporções das três matérias-primas nas oito massas avaliadas.

Na Fig. 7, que mostra a variação da absorção e retração, com base nos teores crescentes de fonolito, queimados em ciclo de 30 min a 1.160 °C, observa-se uma queda acentuada do percentual de absorção de água do corpo cerâmico após a queima.

A absorção da massa com 5% de fonolito é de 9,5%. Com 35% de fonolito, ela cai para 2,4%, portanto já dentro dos padrões internacionais de “Grês” (Tabela 3).

Ao aumento progressivo do percentual de fonolito na massa corresponde uma queda gradual na absorção de água. Por outro lado, a retração vai aumentando quase linearmente, apesar da queda acentuada de absorção, especialmente entre os 25% e os 30% de fonolito, evidenciando um importante ganho nesta característica cerâmica. A re-

Tabela 2.

Matérias Primas (%)	Massas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Fonolito Chapada	5	10	15	20	25	30	35	40
Caulim Campo Alegre	45	45	43	40	37,5	35	32,5	30
“Ball Clay”	50	45	42	40	37,5	35	32,5	30

Massas cerâmicas compostas por um caulim refratário, uma argila plástica “ball clay” e teores crescentes de fonolito.

Table 3.

% de Fonolito	Retração (%)	Absorção de água após queima a 1.160 °C.
05	4,8	9,5
10	5,2	8,95
15	5,4	7,9
20	5,6	7,07
25	5,8	6,1
30	6,6	3,6
35	7,6	2,4

* Valores nominais de retração e absorção da água nas massas cerâmicas com teores crescentes de fonolito.

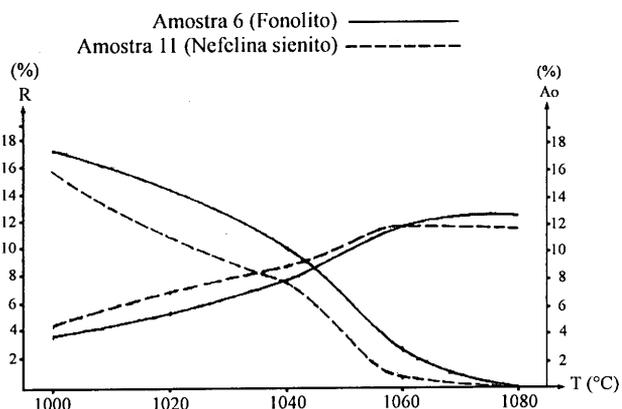


Figura 8. Variação da absorção da água e da retração de um nefelina sienito fraturado e de um nefelina sienito não fraturado.

teor foi aumentando progressivamente até atingir 20% da composição da massa dentro da indústria cerâmica.

Os resultados obtidos após quatro anos de uso do fonolito nesta indústria podem ser assim sintetizados:

1. A temperatura de queima, que chegava aos 1.190 / 1.200 °C, foi reduzida para 1.160 / 1.170 °C;

2. A absorção de água no produto acabado, que oscilava entre 4 e 7%, caiu para 0,5 a 3%; e

3. O ciclo de queima, que era de 45 minutos, pôde ser reduzido para 35 min.

Os resultados obtidos durante a produção industrial evidenciaram importantes ganhos de produtividade, uma vez que o uso do fonolito permitiu aumentar a produção efetiva nos fornos da indústria em função da diminuição do ciclo de queima. A redução da temperatura da ordem de 30 °C no patamar de queima de formação da fase vítrea permitiu expressivos ganhos em economia de combustível. A energia é um dos principais componentes do custo da indústria cerâmica, e resulta daí a relevância dos ganhos obtidos com a economia de combustível nos fornos cerâmicos. Com a adição do fonolito, foi aumentada sensivelmente a fase vítrea do corpo cerâmico e a absorção de água após a queima foi reduzida, permitindo produzir sistematicamente um produto com absorção de água após a queima abaixo de 3%. Os ganhos excepcionais obtidos nesta indústria definiram o uso permanente deste minério em sua massa cerâmica. Hoje, sabe-se que pelo menos mais três indústrias catarinenses de porte já aderiram também ao uso desta matéria prima em suas massas cerâmicas. Seu uso generalizado no parque cerâmico catarinense poderá contribuir decisivamente para melhorar a produtividade e qualidade da cerâmica do tipo “Grês”, mormente no momento em que há a abertura de mercado nacional para os produtores externos. Com o uso do fonolito na fabricação de piso, a indústria cerâmica estará em melhores condições de competir em produtividade, custo e qualidade com os concorrentes externos. O uso do fonolito configurou-se como mais uma importante alternativa genuinamente brasileira de tropicalização das massas cerâmicas do tipo “Grês”.

Bibliografia

1. Santos, P.S. - *Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras*. São Paulo Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo 1975 v.2, 802 p.
2. Scheibe, L.F. - Geologia e petrologia do Distrito Alcalino de Lages, SC. *Tese de doutoramento*, Universidade de São Paulo, 224 p., 1986.
3. Scheibe, L.F.; Gomes, C.B.; Coutinho, J.M.V. Caracterização Petrográfica das rochas alcalinas de Lages, SC. In: Congr. Bras. Geol., 34, Rio de Janeiro, *Anais*, Rio de Janeiro, SBG, v. 9, p.4377-4391, 1984.
4. Traversa, G.; Scheibe, L.F.; Barbieri, M.; Beccaluva, L.; Coltorti, M.; Conte, A.M.; Garbarino, C.; Gomes, C.B.; Macciotta, G.; Morbidelli, L.; Ronca, S. - Petrology and mineral chemistry of the alkaline district of Lages, SC, Brazil. *Geochim. Brasil.*, 8(2):179-214, 1994.