



Intercrescimento nefelina-feldspato alcalino em rochas do maciço alcalino do Banhadão, Brasil: quimismo e implicações petrogenéticas

Nepheline-alkali feldspar intergrowth in rocks from the Banhadão alkaline massif, Brazil: chemistry and petrogenetic implications

E. Ruberti¹, G.E.R. Enrich¹, C.B. Gomes¹, R.G. Azzone¹ e P. Comin-Chiaramonti²

¹ Instituto de Geociências/Universidade de São Paulo

² Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Trieste, Italia
e-mail: exrubert@usp.br

Resumo

O maciço alcalino do Banhadão é constituído de rochas com afinidade potássica, representadas por nefelina sienitos diversos e melteigito-ijolito, além de diques fonolíticos tardios. Quantidade significativa de pseudoleucita está presente num corpo de pseudoleucita-nefelina sienitos, exposto na porção centro-oeste do maciço. A pseudoleucita ocorre na forma de estruturas trapezoédricas {211} gigantes, mostrando complexo intercrescimento de nefelina-feldspato potássico. A composição química (microsonda WDS) global reconstituída das fases intercrescidas, 60% KAlSi_2O_6 e 40% $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$, projeta-se no campo de solução sólida da leucita no diagrama residual petrogenético, sugerindo que o processo de intercrescimento possivelmente se deu por meio de trocas iônicas com a difusão de Na^+ e K^+ associada à transformação de uma fase sólida preexistente homogênea de leucita rica em sódio, instável em temperatura subsolidus. Considerando a paragênese anidra dessas rochas, reunindo nefelina-feldspato potássico-kalsilita, aegirina-augita e carbonato primário, sugere-se que CO_2 representa o fluido dominante, sendo responsável pela geração da pseudoleucita, antes que analcima.

Palavras chave: química mineral, pseudoleucita, nefelina sienito, maciço alcalino, Banhadão

Abstract

The Banhadão alkaline massif is composed of rocks of potassic affinity, represented by various nepheline syenites and melteigite-ijolite, and late phonolitic dykes. Significant amount of pseudoleucite is found in pseudoleucite-nepheline syenites cropping out in the central-western part of the massif. The pseudoleucite occurs as giant trapezohedron {211} structures, showing complex intergrowth of nepheline-potassic feldspar. The whole chemical composition (microprobe WDS) of the intergrown phases, 60% KAlSi_2O_6 e 40% $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$, lies within the leucite solid solution field in the residual petrogenetic diagram, suggesting that the intergrowth process took place by ion exchange with the Na^+ and K^+ diffusion associated with the breakdown from a preexisting homogeneous solid phase of sodium-rich leucite, unstable under subsolidus temperature. Considering the anhydrous assemblage of these rocks, including nepheline-potassic feldspar-kalsilite, aegirine-augite and primary carbonate, is suggested that CO_2 represents the dominant fluid, being responsible by the pseudoleucite generation rather than analcime.

Keywords: mineral chemistry, pseudoleucite, nepheline syenite, alkaline massif, Banhadão.

Introdução

Estruturas de intercrescimento reunindo nefelina e feldspato potássico estão presentes em alguns dos litotipos do maciço alcalino do Banhadão. Consistem em uma matriz de feldspato potássico extremamente límpido, incolor e sem geminação, com farta inclusão de nefelina vermicular, pouco orientada, conferindo às estruturas aspecto similar ao da mirmequita. Em geral, elas são pouco comuns (e.g. melanita-nefelina sienitos e melteigito-ijolito) e ocorrem na forma de material intersticial. Entretanto, em uma determinada litologia, os pseudoleucita-nefelina sienitos, elas se mostram muito abundantes. Neste caso, as estruturas constituem extensas massas irregulares ou agregados de grânulos com contornos arredondados, levemente ovalados ou poligonais.

Feições semelhantes às observadas foram também descritas em ocorrências de diversas regiões do mundo, com o propósito de procurar explicações sobre os possíveis mecanismos atuando na sua formação. Assim, por exemplo, nas rochas alcalinas de Kaminak Lake (Canadá), Davidson (1970) descreveu estruturas idênticas, sugerindo para elas algumas possíveis origens: a) por demisturação subsolidus de leucita sódica; b) por reação de leucita precoce com o fundido; c) por precipitação cotética de feldspato potássico e nefelina a partir de um resíduo magmático alcalino. Já nos larvikitos de Oslo, Noruega, Widenfalk (1972) propôs que elas seriam o resultado de solução sólida de nefelina com feldspato potássico. Por sua vez, Gittins et al. (1980), investigando as rochas ultramáficas alcalinas de Batbjerg, Groenlândia, fizeram uma revisão sobre o problema do intercrescimento nefelina-feldspato potássico e pseudoleucita, terminando por concluir que estruturas que não exibem hábito idiomórfico, além de presentes como material intersticial, são melhor explicadas como fenômenos de cristalização magmática nos estágios tardios no sistema $\text{NaAlSiO}_4\text{-KAlSiO}_4\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$.

O presente trabalho tem por objetivo discutir aspectos químicos e petrogenéticos do intercrescimento de nefelina com feldspato potássico em pseudoleucita-nefelina sienitos do Banhadão, com base em dados de química mineral integrados a informações obtidas a partir de relações texturais e de imagens de elétrons retroespalhados.

Contexto geológico

O maciço alcalino do Banhadão (24°23'S e 49°23'W), Estado do Paraná, representa um stock elíptico segundo EW, com área aproximada de 8 km² (Fig. 1). Compõe-se de uma associação litológica do Cretáceo (K-Ar, 106±5 Ma) alojada em rochas graníticas do Complexo Três Córregos, de idade Neoproterozóica. De afinidade fortemente potássica, é a ocorrência mais velha dentre as demais da região (e.g. Tunas, Mato Preto, Itapirapuã, Barra do Itapirapuã) associadas tectonicamente ao Lineamento São Jerônimo-Curiúva do Arco de Ponta Grossa (Ruberti et al., 2005). Em suas características petrográficas e de campo, distingue-se pela grande abundância de nefelina sienitos diversos e pela presença expressiva de rochas da série melteigito-ijolito, formando, assim, no conjunto uma suíte fortemente insaturada em sílica e sem plagioclásio.

As relações de campo configuram claramente intrusões múltiplas, subcirculares a circulares: nefelina sienitos e melanita-nefelina sienitos cinzas são cortados por nefelina sienitos róseos, flogopita melteigitos e raros noseana-sodalita-nefelina sienitos junto à porção centro-leste do maciço, e por pseudoleucita-nefelina sienitos na centro-oeste. Fonólitos formam diques decimétricos verticais recortando as variedades sieníticas e o embasamento, enquanto diques de sodalita fonólitos carbonatados afloram na borda extremo oeste do maciço, próximo dos pseudoleucita-nefelina sienitos.

Estudos de balanço de massa e dados geoquímicos (Ruberti et al., em preparação) sugerem que os diferentes litotipos do Banhadão foram originados a partir de pulsos magmáticos independentes, contando, no seu processo evolutivo, com importantes acumulações minerais, responsáveis pelo excepcional enriquecimento de elementos incompatíveis nas variedades mais máficas.

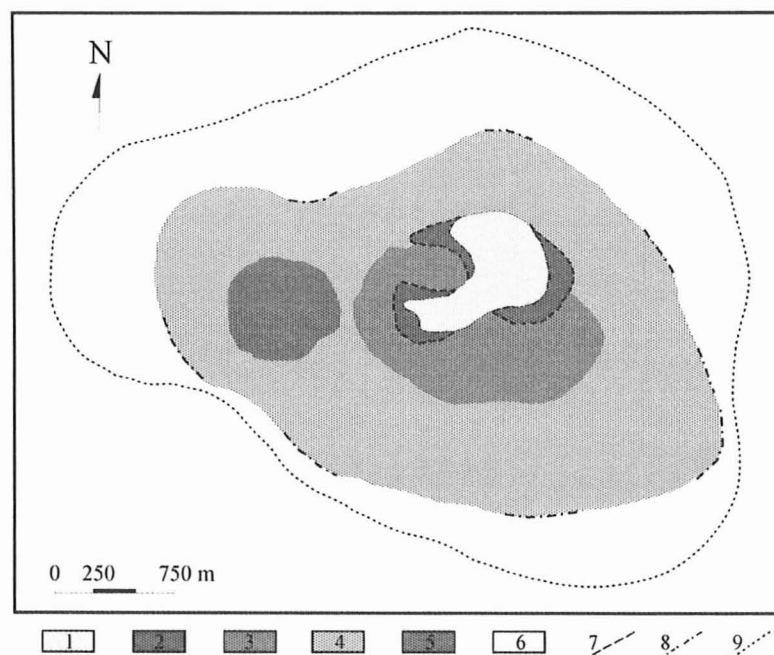


Figura 1. Mapa geológico do maciço alcalino do Banhadão, Estado do Paraná (modificado de Ruberti e Gomes, 1984). 1- Cobertura sedimentar; 2- Flogopita melteigito; 3- Nefelina sienito róseo; 4- Nefelina sienito e melanita—nefelina sienito; 5- Pseudoleucita nefelina sienito; 6- Granito Três Córregos; 7- contatos gradacionais; 8- contato com encaixante; 9- limite topográfico do maciço.

Química mineral

Os pseudoleucita-nefelina sienitos, de textura inequigranular hipidiomórfica média a grossa (Fig. 1), distinguem-se dentre as rochas do maciço pelo intercrescimento abundante de nefelina e feldspato potássico na forma de estruturas centimétricas a decimétricas, arredondadas a subarredondadas ou poligonais (trapezoidal octogonal), que respondem por até 40% em volume modal da rocha (Fig. 2A). Ao microscópio (óptico e de varredura), essas estruturas constituem-se num denso intercrescimento de feldspato potássico com nefelina vermiciforme, às vezes contendo segregações de kalsilita, arranjadas de maneira a lembrar texturas em chamas, plumas ou *fingerprints* (Figs. 2B,C). Ressalte-se que as duas fases intercrescidas apresentam continuidade óptica distinta. Kalsilita parece ser uma fase tardia, provavelmente um produto subsolidus de exsolução-segregação de nefelina rica em potássio ou de leucita rica em sódio (Ferry e Blencoe, 1978). Cristais individuais bem desenvolvidos de feldspato potássico (ortoclásio) e nefelina representam a fase félsica principal da rocha (>50% em volume). Clinopiroxênio e melanita (até 12% em volume) estão sempre presentes, com biotita, titanita, hematita e apatita aparecendo como os acessórios mais comuns; por vezes, calcita é encontrada como fase primária.

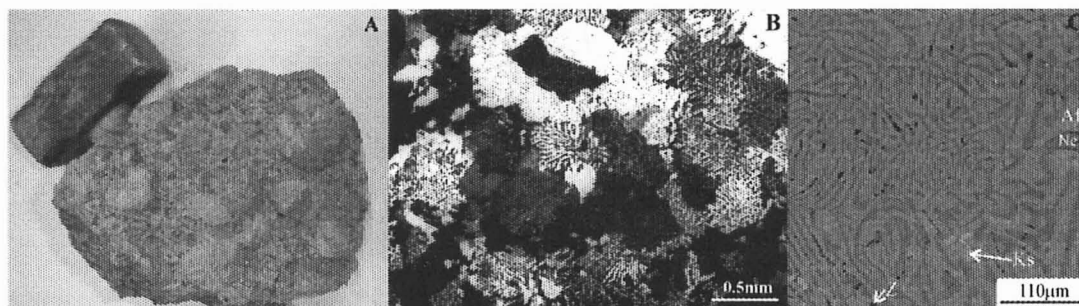


Figura 2A: Foto de bloco mostrando grânulos arredondados de pseudoleucita. B: Fotomicrografia de intercrescimento nefelina-feldspato potássico. C: Imagem de elétron retroespalhado de intercrescimento nefelina-feldspato potássico: cinza claro, feldspato potássico; cinza escuro, nefelina; mancha branca, kalsilita.

Análises de elementos maiores e menores das fases componentes (feldspato potássico, nefelina e kalsilita) das estruturas acima foram realizadas nos laboratórios do Instituto de Geociências, empregando-se microsonda de fabricação Jeol, modelo JXA-8600s, equipada com cinco espectrômetros de dispersão de comprimento de onda (WDS) e automatizada com sistema Tracor. O intervalo de variação composicional de cerca de 15 análises de cada fase da estrutura, com Fe total calculado como Fe_2O_3 , acham-se reunidos na Tabela 1, juntamente, com os componentes moleculares Qz-Ne-Ks e Or-Ab-Na.

Os resultados indicam um comportamento químico homogêneo da nefelina, com as concentrações de Na_2O e K_2O , respectivamente, em torno de 15,4 e 8%. Esses valores são comparáveis aos obtidos por Ruberti (1984) para cristais isolados da rocha. Os membros finais Qz-Ne-Ks possuem teores baixos do componente Qz (<1,7%), sugerindo equilíbrio em temperaturas inferiores a 500°C (Hamilton, 1961). Por outro lado, os valores de Ks são muito altos (até 26%) quando comparados aos determinados em nefelinas de outras rochas do maciço. Esses conteúdos elevados encontram justificativa na presença da fase kalsilita coexistente, que aparece como segregação subsolidus de cristais isolados de nefelinas potássicas.

Já o feldspato é de natureza essencialmente potássica ($\text{K}_2\text{O} \sim 17\%$), fato também ressaltado pela baixa concentração de Na_2O , sendo composicionalmente similar à fase isolada de cristalização principal investigada por Ruberti (1984). Ainda segundo este autor, o feldspato tem estrutura de ortoclásio, com uma composição representada por $\text{Or} > 98\%$ e An virtualmente ausente, enquanto o membro celsiana está presente em pequena quantidade (BaO até 0,25%).

A composição global de uma das estruturas de intercrescimento foi reconstituída integrando os dados químicos das distintas fases analisadas (média ponderada) com as respectivas áreas obtidas por meio da imagem de elétrons retroespalhados (BEI, Fig. 2C). Notavelmente, obteve-se a composição de uma leucita que, uma vez projetada no diagrama residual petrogenético (Fig. 3), cai dentro do campo das leucitas em condições anidras, próximo da composição de pseudoleucita (G) de Gittins et al. (1980).

Tabela 1. Análises representativas das fases presentes no intercrescimento nefelina-feldspato potássico dos pseudoleucita-nefelina sienitos. (*) Composição média (% em peso) de intercrescimento nefelina-feldspato potássico com base no volume modal de cada fase obtida em imagem de elétrons retroespalhados. Fórmula estrutural calculada na base de 32 oxigênios para feldspato, nefelina e kalsilita, e na base de 6 oxigênios para leucita.

Amostra	EX38 A1	EX38 A1	EX38 A1	EX34 A1	EX34 A1	EX34 A1	EX34 P1
Mineral	FK	nef	leucita*	FK	nef	leucita*	kalsilita
SiO_2	64,30	41,35	57,20	64,30	40,97	54,55	36,84
Al_2O_3	18,17	34,35	23,17	18,16	34,39	24,94	31,09
Fe_2O_3	0,16	0,70	0,32	0,23	0,69	0,42	0,57
CaO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na_2O	0,07	15,59	4,87	0,09	15,31	6,45	0,08
K_2O	17,06	8,38	14,38	16,81	7,92	13,09	29,57
BaO	0,07	0,02	0,06	0,06	0,00	0,03	0,00
Total	99,83	100,38	100,00	99,64	99,28	99,49	98,14
Si	11,971	8,035	2,016	11,977	8,024	1,936	7,954
Al	3,987	7,867	0,973	3,987	7,937	1,057	7,910
Fe	0,022	0,102	0,009	0,032	0,101	0,011	0,093
Ca	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,027	5,873	0,344	0,033	5,812	0,459	0,032
K	4,052	2,077	0,645	3,995	1,979	0,591	8,144
Ba	0,005	0,001	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000
Total	20,064	23,955	3,988	20,028	23,852	4,055	24,133
Or	99,3			99,2			
Ab	0,7			0,8			
An	0,0			0,0			
Ne		73,1			72,4		0,4
Ks		25,9			24,7		99,6
Qz		1,0			2,9		
Lc			34,8			43,7	
$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$			65,2			56,3	

Considerações finais

Intercrescimento vermicular de nefelina e feldspato potássico é a principal característica mineralógica dos pseudoleucita-nefelina sienitos do Banhadão (Figs. 2B,C), sendo interpretado como o resultado de processos de trocas iônicas subsolidus (Gittins et al., 1980). A composição reconstituída das fases que o compõem, em média 60,1% KAlSi_2O_6 e 39,9% $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$, sobrepõe o campo de solução sólida da leucita no diagrama petrogenético residual. Esse valor situa-se próximo do máximo de Na em solução sólida de leucitas em sistemas anidros (40% $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$), e aquém do valor alcançado a $P_{\text{H}_2\text{O}}=1000$ bar (28% $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$) (Fudali, 1963).

Abaixo do solidus, leucita rica em sódio mostra-se instável e sofre transformação, dando origem a nefelina e feldspato potássico: esta reação subsolidus continua até a leucita ser completamente convertida em uma estrutura de intercrescimento reunindo nefelina-feldspato potássico e denominada pseudoleucita (Fig. 2), ou o cristal remanescente, progressivamente mais pobre em sódio, tornar-se instável. A maioria das rochas alcalinas plutônicas que cristaliza leucita durante a sua história de resfriamento, e que agora contém feldspato e nefelina, deve sua assembléia final à transformação subsolidus da solução sólida de leucita (Fudali, 1963; Gittins et al., 1980; Mitchel, 1996). Por outro lado, a pressão relativamente alta de água na presença de feldspato alcalino e nefelina produz analcima durante os estágios tardios ou pós-magmáticos por reações metassomáticas (Comin-Chiaramonti et al., 1979).

Finalmente, considerando que a associação nefelina-feldspato potássico-kalsilita nos pseudoleucita-nefelina sienitos do Banhadão, aliada à ausência de minerais hidratados, sugere que CO_2 representa o fluido dominante nessas rochas, levando à formação de estruturas de intercrescimento do tipo nefelina-feldspato potássico, as pseudoleucitas, antes que analcima.

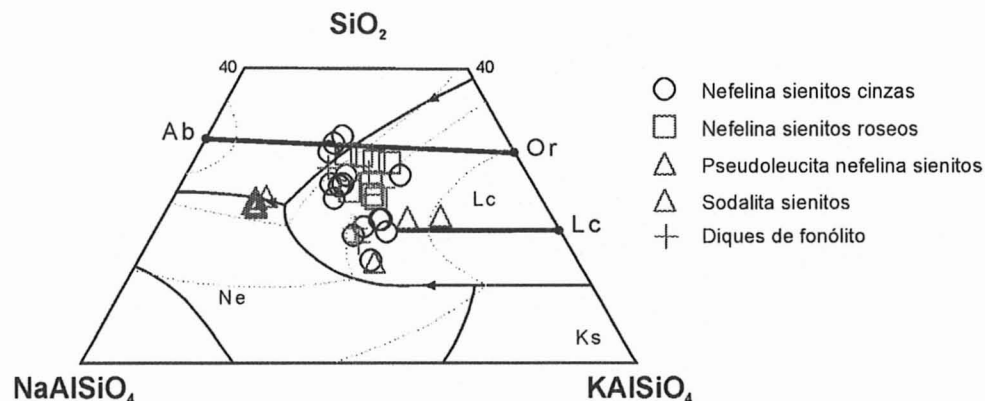


Figura 3. Diagrama petrogenético residual do sistema quartzo-nefelina-kalsilita mostrando a superfície *liquidus* em condições anidras (Fudali, 1963) para rochas do Banhadão com $\text{MgO} > 2\%$ em peso. Diagrama elaborado a partir da química de rocha total, descontando-se as quantidades relativas aos minerais máficos para cada amostra.

Referências

- Comin-Chiaramonti, P., Meriani, S., Mosca, R., Sinigoi, S., 1979. On the occurrence of analcime in the northeastern Azerbaijan volcanics (northwestern Iran). *Lithos* 12, 187-198.
- Davidson, A. 1970. Nepheline-K-feldspar intergrowth from Kaminak Lake, Northwestern territories. *Canad. Mineral.* 10, 191-205.
- Ferry, J.M. e Blencoe, J.G., 1978. Subsolvus phase relations in the nepheline-kalsilite system at 0.5, 2.0, and 5.0 kbar. *Am. Mineral.* 63, 1225-1240.
- Fudali, R.F., 1963. Experimental studies bearing on the origin of pseudoleucite and associated problems of alkalic rocks systems. *Geol. Soc. Am. Bull.* 74, 1101-1126.
- Gittins, J., Fawcett, J.J., Brooks, C.K., Rucklidge, J.C. 1980. Intergrowths of nepheline-potassium feldspar and kalsilite-potassium feldspar: A re-examination of the 'pseudo-leucite problem'. *Contrib. Mineral. Petrol.* 73, 119-126.
- Hamilton, D.L. 1961. Nepheline as crystallization temperature indicators. *J. Geology* 69, 321-329.
- Mitchell, R.H. 1996. Undersaturated alkaline rocks: mineralogy, petrogenesis, and economic potential. Manitoba, Winnipeg, 312p.
- Ruberti, E. 1984. Petrologia do maciço alcalino do Banhadão, PR. Ph.D. Thesis, University of São Paulo, 248p.

- Ruberti, E. e Gomes, C.B., 1984. O maciço alcalino do Banhadão, PR: geologia e petrologia. Anais XXXIII Congr. Bras. Geol., Rio de Janeiro, 9:4400-4412.
- Ruberti, E., Gomes, C.B., Comin-Chiaramonti, P. 2005. The alkaline magmatism from Ponta Grossa Arch. in: P. Comin-Chiaramonti and C.B. Gomes (eds.). Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform. Edusp/Fapesp, São Paulo, pp. 473-522.
- Widenfalk, L. 1972. Myrmekite-like intergrowths in larvikite feldspar. Lithos 5, 255-267.