

DISTRIBUIÇÃO DE Ca, Ba, Sr, E Rb ENTRE LEUCITA E "MAGMA" SANIDÍNICO A 2 kbar E 1030°C

ANA HELENA PACHECO MOREIRA*, JOSÉ VICENTE VALARELLI** e FRANÇOIS DELBOVE***

ABSTRACT DISTRIBUTION OF Ca, Ba, Sr, AND Rb BETWEEN LEUCITE AND SANIDINIC MAGMA AT 2 kbar AND 1030°C. Data from experimental works concerning the distribution coefficients of Rb, Ca, Sr and Ba between leucite and hydrothermal solutions and between silico-sanidinic fusion and equivalent solutions (at 1.030°C and 2 kbar) were used to obtain the distribution coefficients between leucite and experimental sanidinic magma. These data are: $K_{dRb} = 2.36$; $K_{dCa} = 0.088$; $K_{dSr} = 0.12$; and; $K_{dBa} = 1.89$. They show that the Rb and me Ba would prefer better the leucite than the experimental "magmatic liquid and that Ca and the Sr have opposite behavior. Normalized calculations based on these data and on thermodynamic considerations about the reactions permit the contraction of graphical variation of the relations trace elements/K and trace element 1/trace element 2 as function of degree of leucite crystallization. As well the leucite grows in equilibrium from the insaturated (system $KAlSi_2O_6-SiO_2$), experimental "magma", the ratios Ca/K and Sr/K increase exponentially and the ratios Ba/K and Rb/K decrease gently on the residual experimental magmatic liquid. At the same time, the ratio Rb/Ba decreases slowly and the ratios Ba/Sr and Rb/Sr decrease considerably, under the experimental conditions.

Keywords: Thermodynamic, leucite, sanidinic magma.

RESUMO Baseando-se em dados experimentais de coeficientes de partição de Rb, Ca, Sr e Ba entre leucita e soluções hidrotermais e entre fusões sílico-sanidínicas e soluções hidrotermais equivalentes, a 1.030°C e 2 kbar, são estabelecidos os coeficientes de partição desses oligoelementos entre a leucita e magma sanidínico, nas mesmas condições de PT. Esses valores são $K_{dRb} = 2,36$; $K_{dCa} = 0,088$; $K_{dSr} = 0,12$ e $K_{dBa} = 1,89$; e demonstram a preferência do Rb e do Ba pela leucita e do Ca e Sr pela fusão sílico-sanidínica. Com a ajuda desses coeficientes, das reações de troca iônica entre as fases envolvidas e de equações de equilíbrio, são estabelecidos gráficos normalizados da variação das relações elemento traço/potássio e elementos traço entre si, em função da cristalização de leucita em equilíbrio com "magma" sílico-sanidínico experimental. Com o avanço da cristalização da leucita, em condições de equilíbrio, a partir de um "magma" alcalino insaturado do sistema $KAlSi_2O_6-SiO_2$, as relações Ca/K e Sr/K aumentam exponencialmente no "magma residual", ao passo que Ba/K e Rb/K diminuem ligeiramente nesse mesmo "magma". Nessas mesmas condições, a relação Rb/Ba diminui ligeiramente quando comparada com a mesma razão do "magma" inicial, e as relações Ba/Sr e Rb/Sr diminuem consideravelmente dentro das condições experimentais.

Palavras-chaves: Termodinâmica, leucita, magma sanidínico.

INTRODUÇÃO Por meio de experiências de síntese hidrotermal a 1.030°C e 2 kbar, Moreira *et al.* (1989a,b,c,d) determinaram os coeficientes de distribuição de Ca, Ba, Sr e Rb entre leucita ($KAlSi_2O_6$) e soluções hidrotermais (SH), e entre fusões sílico-sanidínicas ($0,93KAlSi_3O_6-0,07SiO_2$) e soluções hidrotermais equivalentes. A escolha da composição do ponto peritético do sistema Lc-Qz (Shaw 1963) (Fig. 1).

Os materiais de partida para a síntese dos sólidos eram constituídos por mistura de gels amorfos na estequiometria desejada; e as soluções de partida eram constituídas por solução aquosa de KCl e cloretos de Ca, Ba, Sr e Rb, nas quais teores conhecidos de elementos radioativos ^{133}Ba , ^{85}Sr , ^{86}Rb e ^{45}Ca facilitaram as análises desses elementos em traços sólidos (cristais de leucita ou vidro sílico-sanidínico) e nas soluções.

Nesses trabalhos foram estabelecidos os coeficientes de distribuição dos oligoelementos e os limites de concentrações até os quais as distribuições são lineares, refletindo comportamento ideal, segundo a lei de Henry, das fases sólidas (extremamente diluídas) e das soluções hidrotermais. A tabela I resume esse resultados.

DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS *Distribuição do Rubídio* A reação de troca iônica Rb-K entre a leucita sintetizada e a solução hidrotermal por ser expressa por:

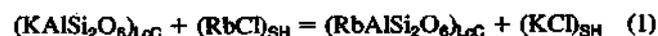
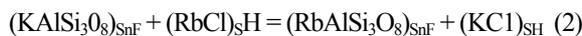


Tabela 1 - Coeficiente de partição de Rb, Ca, Sr e Ba entre leucita cristalizada (Lc) e solução hidrotermal (SH) e entre sanidina fundida (SnF) e SH obtidos por meio de experimentos de síntese a 1.030 °C e 2 kbar, acompanhados dos limites de idealidade (Henry) e expressos em ppm do elemento traço nos "sólidos" (Moreira et al. 1989a, b, c, d)

Table 1 - Distribution coefficients of Rb, Ca, Sr and Ba between crystallized leucite (Lc) and hydrothermal solution (SH) and between fused sanidine (SnF) and SH obtained by means of synthesis experiments at 1.030 °C and 2 kbar, with ideality limits (Henry) and expressed in ppm of trace element in the "solids" (Moreira *et al.* 1989a, b, c, d)

Coeficientes de Partição	Elementos				Limite de Idealidade (Teor em ppm no "sólido")			
	Rb	Ca	Sr	Ba	Rb	Ca	Sr	Ba
K_d 1.030 °C Lc-SH	1,30	0,69	1,05	17,00	15,200	2,000	200	9400
K_d 1.030 °C SnF-SH	0,55	6,70	8,50	9,0	> 150	> 500	> 10,000	> 80.000

A reação de troca Rb-K entre a fusão sanidínica sintetizada e a solução hidrotermal pode ser representada por:



onde Lc = leucita cristalina, SH = solução hidrotermal e SnF = sanidina fundida nas condições experimentais ou vidro sanidínico nas condições ambientes.

* Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Outeiro de São Joao Batista, s/n, Centro, CEP 24000, Niterói, RJ, Brasil

** Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 20899, CEP 01498, São Paulo, SP, Brasil

*** Centre de Recherches sur la Synthèse et Chimie des Minéraux, CNRS IA, Rue de La Ferrollerie 45075, Orleans, Cedex, France

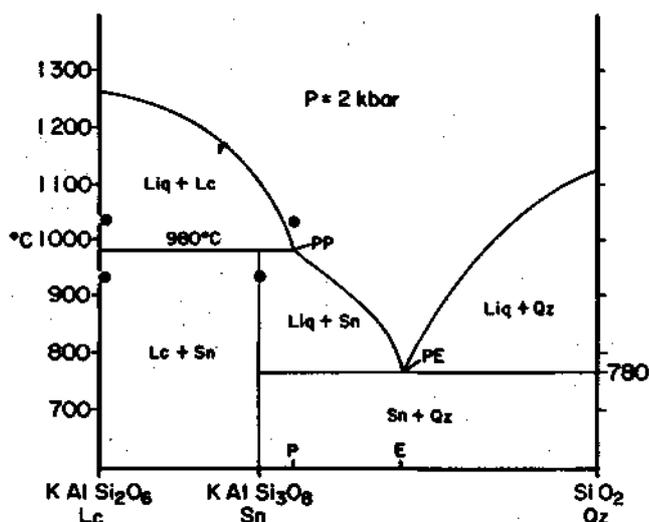
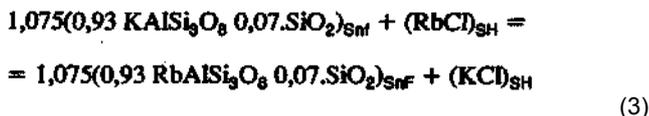


Figura 1 - Diagrama de fase do sistema $KAlSi_2O_6-SiO_2$ a 2 kbar, adaptado de Shaw (1963), mostrando as condições de temperatura e de composição mássica dos experimentos (Moreira 1988). PP = ponto peritético; PE = ponto eutético; P = composição peritética e E = composição eutética; Liq = líquido; Lc = leucita; Sn = sanidina; Qz = quartzo

Com todo o rigor, a reação (2) deveria ser escrita como a troca Rb-K entre fusão silico-sanidínica e SH:



No entanto, o pequeno excesso de sílica nas suas fusões, potássica ou rubídica, e dado os teores muito baixos deste último elemento, a relação (2) simplificada pode ser usada.

As equações de equilíbrio das duas reações podem ser expressas por:

$$-RTLn \frac{(Rb)_{LcC} \cdot (K)_{SH}}{(K)_{LcC} \cdot (Rb)_{SH}} = -RTLn \frac{(Rb)_{LcC}(K)_{LcC}}{(Rb)_{SH}(K)_{SH}} = -RTLn Kd_{Rb,LcC-SH} = (\Delta G)_{Rb,LcC-SH} \quad (4)$$

$$-RTLn \frac{(Rb)_{SnF} \cdot (K)_{SH}}{(K)_{SnF} \cdot (Rb)_{SH}} = -RTLn \frac{(Rb)_{SnF}(K)_{SnF}}{(Rb)_{SH}(K)_{SH}} = -RTLn Kd_{Rb,SnF-SH} = (\Delta G)_{Rb,SnF-SH} \quad (5)$$

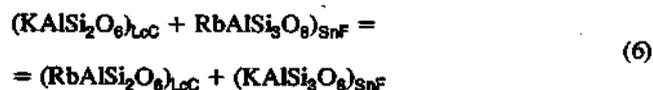
Essas equações são válidas para os limites de linearidade dos valores dos coeficientes de distribuição (Kd) determinados experimentalmente, que equivale a considerar as soluções sólidas e as soluções hidrotermais como ideais, segundo a lei de Henry (T = Temperatura em graus Kelvin). As quantidades (Rb) e (K) representam as frações molares do Rb e do K nas fases consideradas:

$$(Rb)_{SnF} = \frac{Rb}{Rb+K} \text{ na sanidina fundida;}$$

$$(Rb)_{SH} = \frac{Rb}{Rb+K} \text{ da solução hidrotermal.}$$

$(\Delta G)_{Rb,LcC-SH}$ e $(\Delta G)_{Rb,SnF-SH}$ são, respectivamente, as energias livres de Gibbs das reações de troca (1) e (2).

Combinando-se as reações (1) e (2), obtém-se:



que representa a troca iônica Rb-K entre leucita cristalizada e magma sanidínico a 1030°C e 2 kbar ou partição dos dois elementos entre leucita em equilíbrio com a fusão, cuja equação de equilíbrio é:

$$-RTLn \frac{(Rb)_{LcC}/(K)_{LcC}}{(Rb)_{SnF}/(K)_{SnF}} = -RTLn Kd_{Rb,LcC-SnF} = (\Delta G)_{Rb,LcC-SnF} \quad (7)$$

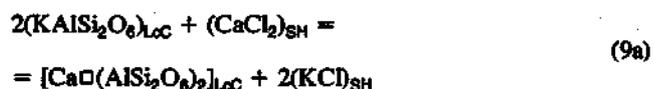
que por sua vez, reação (1) - (2), pode ser escrita:

$$-RTLn Kd_{Rb,LcC-SnF} = -RTLn \frac{Kd_{Rb,LcC-SH}}{Kd_{Rb,SnF-SH}} = (\Delta G)_{Rb,LcC-SH} - (\Delta G)_{Rb,SnF-SH} \quad (8)$$

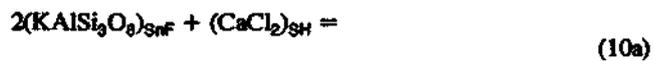
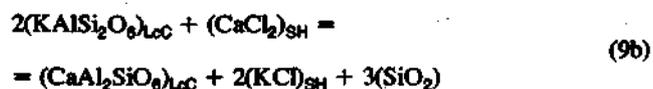
Conhecendo-se os valores de Kd entre as fases LcC e SnF e as soluções hidrotermais, é possível estabelecer o coeficiente de partição do Rb entre a leucita cristalizada e a fusão sanidínica = 1,30/0,55 = 2,36 (Tabelas 1 e 2).

Outras considerações termodinâmicas podem ser vistas em Moreira (1988), Delbove (1978) e Lagache (1974a e b).

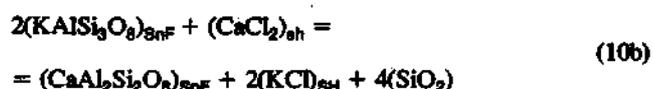
Distribuição dos elementos alcalinos terrosos As reações que exprimem a troca do potássio da leucita ou do magma sanidínico por um elemento alcalino terroso, de SH, a exemplo do cálcio, são as seguintes:



ou



ou



em que \square = vacância reticular.

Na análise por difração de raios X não foi constatada a presença de quartzo como nos trabalhos experimentais de Wyart & Sabatier (1965) e Iiyama (1972). Acrescente-se o

fato de que, nas condições experimentais, o quartzo é incompatível. Se porventura a reação (9b) predominasse sobre a (9a), a sílica somente poderia estar dissolvida na solução hidrotermal. Na fusão, a sílica ficará dissolvida no magma silico-sanidínico, conservando-se sempre a relação Si/Al do sistema. O grau de substituição do Si, nas condições experimentais, pode ser desprezado em vista da diluição dos elementos traços alcalinos terrosos.

As respectivas equações de equilíbrio são:

$$-RTLn \frac{(Ca)_{LcC}/(K)_{LcC}^2}{(Ca)_{SH}/(K)_{SH}^2} = -RTLnKd_{Ca,LcC-SH} = (\Delta G)_{Ca,LcC-SH} \quad (11a)$$

ou

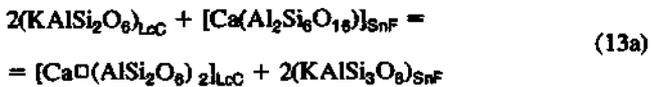
$$-RTLn \frac{(Ca)_{LcC}/(K)_{LcC}^2}{(Ca)_{SH}/(K)_{SH}^2} (a_{SiO_2})^3 = -RTLnKd_{Ca,LcC-SH} + 3RTLn(a_{SiO_2}) = (\Delta G)_{Ca,LcC-SH} + 3G^{SiO_2} \quad (11b)$$

$$-RTLn \frac{(Ca)_{SnF}/(K)_{SnF}^2}{(Ca)_{SH}/(K)_{SH}^2} = -RTLnKd_{Ca,SnF-SH} = (\Delta G)_{Ca,SnF-SH} \quad (12a)$$

ou

$$-RTLn \frac{(Ca)_{SnF}/(K)_{SnF}^2}{(Ca)_{SH}/(K)_{SH}^2} (a_{SiO_2})^4 = -RTLnKd_{Ca,SnF-SH} + 4RTLna_{SiO_2} = (\Delta G)_{Ca,SnF-SH} + 4G^{SiO_2} \quad (12b)$$

Considerando-se as reações (9a) e (10a) como representantes da troca iônica Ca-K entre leucita cristalizada e magma sanidínico à 1030° e 2 kbar (9a)-(10a), tem-se:

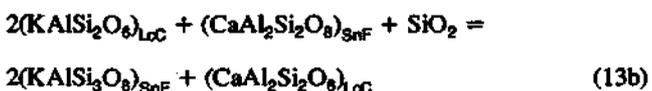


com

$$-RTLn \frac{(Ca)_{LcC}/(K)_{LcC}^2}{(Ca)_{SnF}/(K)_{SnF}^2} = -RTLnKd_{Ca,LcC-SnF} = (\Delta G)_{Ca,LcC-SnF} \quad (14a)$$

$$-RTLn \frac{Kd_{Ca,LcC-SH}}{Kd_{Ca,SnF-SH}} = (\Delta G)_{Ca,LcC-SnF}$$

Considerando-se as reações (9b) e (10b), esse equilíbrio é dado por:



As reações (13a) e (13b) são muito semelhantes, com exceção da sílica da reação (13b), cuja quantidade é mínima, uma vez que ela é dependente do teor de cálcio que se encontra como traço.

Dessa forma, as relações entre os coeficientes de partição estabelecidos na equação de equilíbrio (14a) seriam válidas para a reação (13b). Não é o mesmo em relação a (ΔG).

Os coeficientes de partição dos elementos alcalinos terrosos como traços, dentro dos limites de idealidade (Henry), entre leucita e magma sanidínico, são fornecidos na tabela 2.

Tabela 2 - Coeficiente indiretos de distribuição de Ca, Sr, Ba e Rb entre leucita e fusão silico-sanidínica ("magma" experimental) a 1.030°C e 2 kbar

Table 2 - Indirect distribution coefficient of Ca, Sr, Ba and Rb between leucite and silicic - sanidinic fusion (experimental "magma" at 1.030 °C and 2 kbar

	Kd _{LcC-SH}	Kd _{SnF-SH}	Kd _{LcC-SnF}
Ca	0,59	6,70	0,088
Sr	1,05	8,50	0,12
Ba	17,00	9,00	1,89

Outras considerações termodinâmicas a respeito dos equilíbrios das reações em questão podem ser vistas em Moreira (1988), Delbove (1978) e Volfinger & Robert (1980).

COMPORTAMENTO DE Rb, Ca, Sr E Ba DURANTE A CRISTALIZAÇÃO DA LEUCITA O diagrama da figura 1 estabelece o campo de estabilidade das fases do sistema KAlSi₂O₆-SiO₂, em função da composição e da temperatura, à pressão total constante igual à pressão de fluidos, 2 kbar. Nessa mesma figura acham-se representados os pontos das sínteses de leucita e das fusões silico-sanidínicas cujos equilíbrios foram estabelecidos pelas reações (1) e (2) para o Rb e pelas reações (9) e (10) para os demais alcalinos terrosos. Como consequência desses experimentos, foram estabelecidas as reações (6) para o Rb e (13) para o Ca.

Esses equilíbrios envolvem a fase cristalina leucita, o líquido magmático de composição peritética, à temperatura um pouco acima (50°C) da temperatura peritética e a solução hidrotermal. Qualquer que seja a composição de um magma inicial insaturado em sílica (do lado esquerdo da composição peritética), a leucita se cristaliza a partir desse magma por resfriamento e o magma residual vai se enriquecendo em sílica, tendendo a se aproximar da composição da fusão silico-sanidínica dos experimentos.

As reações mencionadas acima, válidas nas condições experimentais, provavelmente podem ser extrapoladas em até 100°C : 50°C acima das condições experimentais e 50°C abaixo até a temperatura peritética. Além disso, pode-se dizer que elas são válidas para as leucitas cristalizadas a temperaturas maiores (magmas muito pobres em sílica), desde que as trocas tônicas entre cristal já formado e magma atinjam o equilíbrio no intervalo de 100°C de temperatura antes de atingir T_p. Essa condição seria realizada em resfriamento lento.

Imaginando-se uma certa massa de magma do sistema considerado, a 2 kbar, do qual se cristaliza leucita; que esse magma seja saturado em água, com KCl, contendo uma quantidade de um elemento traço cuja concentração seja compatível com as dos experimentos; que o magma constitua uma fase única da qual começa a se cristalizar leucita, em condições de

equilíbrio perfeito com o líquido magmático residual e com uma solução hidrotermal cujo título seja semelhante ao dos experimentos $\sim 1.5N$; é possível calcular a distribuição do potássio e de um elemento traço considerado entre a leucita cristalizada, o líquido residual e a solução hidrotermal em função do grau de cristalização (% de cristalização) da leucita. Esse cálculo é baseado nos coeficientes de distribuição das tabelas 1 e 2. As figuras 2 a 3 mostram os resultados desses cálculos, respectivamente, para Rb e Ba e para Ca e Sr.

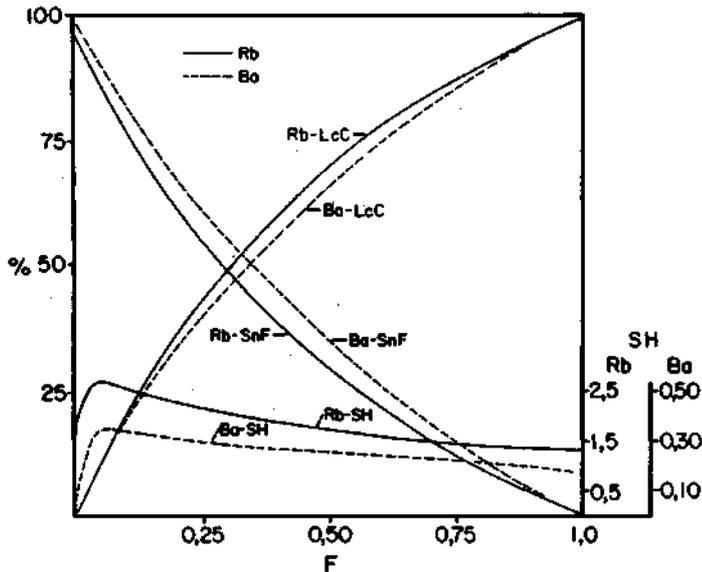


Figura 2 — Evolução da distribuição de Rb e Ba entre leucita cristalizada (LcC), solução hidrotermal (SH) e fusão sttico-sanidínica (SnF) em função de seus teores no magma primitivo, homogêneo e saturado ($\sim 10\%$) em água, à medida que a leucita se cristaliza. A escala das porcentagens desses elementos na solução hidrotermal foi sobrelevada para maior clareza. F = grau de cristalização da leucita

Figure 2 - Evolution of Rb and Ba distributed among crystallized leucite (LcC), hydrothermal solution (SH) and silic-sanidinic fusion as function of their concentrations in original magma, homogeneous and water saturated ($\sim 10\%$), in order of crystallization of leucite. The scale of these elements in hydrothermal solution was magnified. F = degree of crystallization of leucite

Como conseqüência, é possível calcular as relações entre os elementos traços/potássio no magma residual em função da porcentagem de cristalização da leucita a partir de um magma sanidínico (Fig. 4).

Da mesma forma, é possível estabelecer as relações entre elementos traço nesse mesmo magma residual, em função do grau de cristalização (Fig. 5).

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS Os coeficientes experimentais de partição de Rb, Ca, Ba e Sr, entre leucita e solução hidrotermal e entre magma sanidínico e solução hidrotermal equivalente, a 1030°C e 2 kbar (Tab. 1), segundo Moreira *et al.* (1989a, b,c,d), permitiram a obtenção indireta dos coeficientes de partição desses elementos entre a leucita e o magma sílico-sanidínico em equilíbrio, a 2 kbar, num intervalo de temperatura entre aproximadamente 1.080°C e 980°C (Tab. 2) - esta última, temperatura do ponto peritético a 2 kbar (Shaw 1963).

Esses coeficientes demonstram a preferência do Rb e do Ba pela leucita em detrimento da fusão sílico-sanidínica. O contrário acontece com o Ca e o Sr, com preferência pelo magma em detrimento da leucita.

A figura 2 mostra que com a cristalização de 30% de

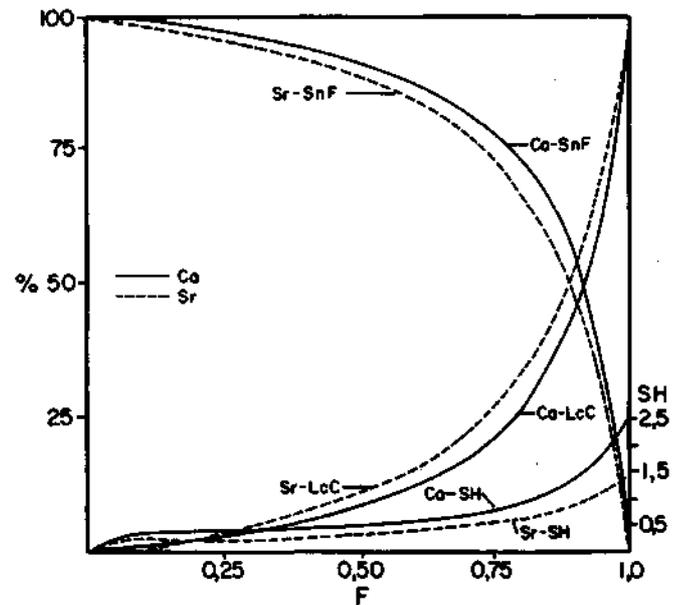


Figura 3 — Evolução da distribuição de Ca e Sr entre leucita (LcC), fusão sttico-sanidínica (SnF) e solução hidrotermal (SH) em função do grau de cristalização da leucita (F). Como na figura 2, os teores iniciais de Ca e Sr no "magma" experimental primitivo são tidos como 100%.

Figure 3 - Evolution of Ca and Sr distributed among leucite (LcC), silic-sanidinic fusion (SnF) and hydrothermal solution (SH) as function of degree of crystallization of leucite (F). As figure 2, the initial concentration of Ca and Sr in original magma are equal to 100%

leucita, 50% de todo o Rb contido no magma inicial estaria fazendo parte da fase cristalizada. Com 50% de cristalização; aproximadamente 70% do Rb inicial estaria contido nas leucitas. Esses números são pouco menores para o Ba.

A figura 3 mostra que se 30% da leucita fosse cristalizada, aproximadamente 95% do Ca e Sr iniciais estariam distribuídos na fase fundida. Quando a cristalização atingisse 50%, a massa dos cristais de leucita conteria teores aproximados de 10% do Ca e Sr iniciais e os restantes 90% estariam na fase líquida.

Como conseqüência da cristalização da leucita, as relações Ca/K e Sr/K aumentariam exponencialmente no magma residual, em relação às mesmas relações do magma inicial. Ao mesmo tempo, as relações Ba/K e Rb/K diminuiriam ligeiramente no magma residual (Fig. 4).

É preciso notar que esses cálculos são normalizados à relação inicial traço/K igual a um no magma primitivo.

A figura 5 mostra os cálculos normalizados da evolução das relações entre elementos traço Rb/Ba, Ba/Sr, Sr/Ca, Ba/Ca, Rb/Ca e Rb/Sr no magma sílico-sanidínico experimental com o avanço da cristalização da leucita.

Esses dados, conseqüência direta dos trabalhos experimentais, são válidos para 2 kbar, temperaturas entre 980 e 1080°C , dentro dos teores de elementos traços em que os valores de K_d (determinados experimentalmente) são constantes. Outra condição de validade é que as trocas K-elemento traço ocorram em equilíbrio a cada tempo, atingindo a totalidade dos cristais previamente cristalizados (até o núcleo) independente de suas dimensões e independente de considerações de ordem-desordem da leucita.

O modelo aqui estabelecido pode ser usado para processos de diferenciação por cristalização fracionada e segregação magmática. Basta para isso que cada magma derivado pela segregação de leucitas seja considerado para novas diferencia-

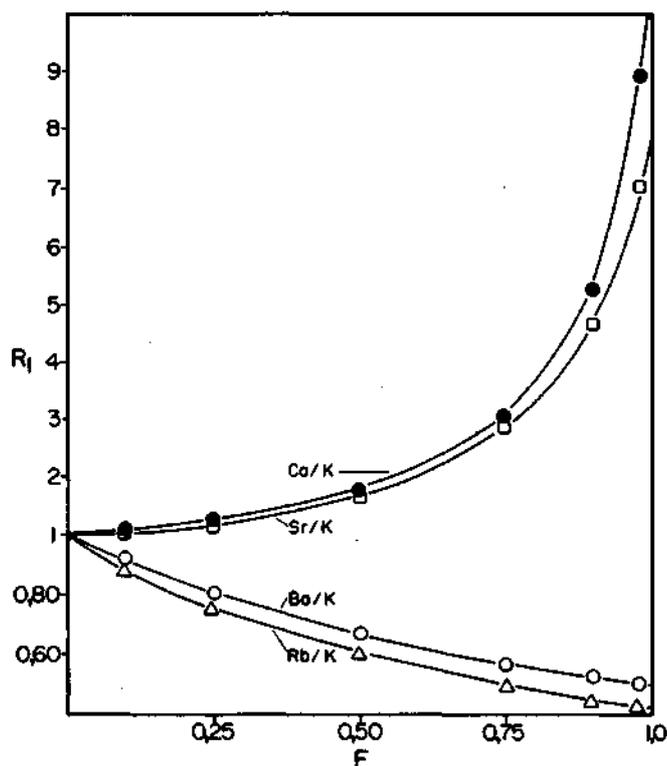


Figura 4 — Evolução das relações entre os elementos traços e potássio na fusão sílico-sanidínica residual experimental, em função da cristalização da leucita (F). Essas relações são tomadas como unitárias no "magma" original. A escala vertical para valores maiores que 1 é diferente dos valores menores que a unidade. $R_1 = (ET_1/K)_{\text{residual magma}} / (ET_1/K)_{\text{magma primitivo}}$; ET = elemento traço

Figure 4 - Evolution of trace elements and potassium relations for silic-sanidinic fusion, as function of crystallization of leucite (F). These relations are equal one for original magma. The vertical scale is different for values greater than one for that lesser than one. $R_1 = (ET_1/K)_{\text{residual magma}} / (ET_1/K)_{\text{original magma}}$; ET = trace element

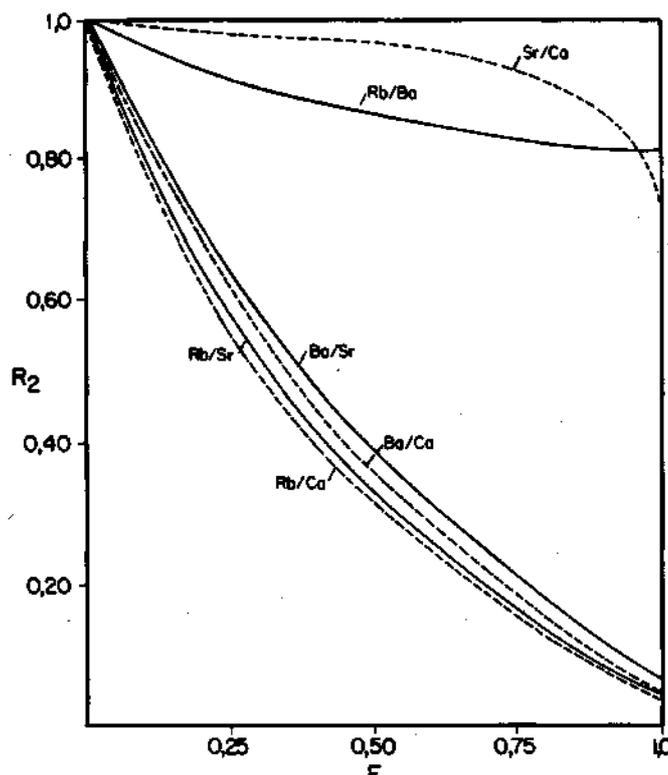


Figura 5 — Evolução das relações entre os elementos traços na fusão sílico-sanidínica residual experimental em função do grau de cristalização (F) da leucita. Essas relações no "Magma" inicial (vide texto) são tidas como unitárias. $R_2 = (ET_1/ET_2)_{\text{residual magma}} / (ET_1/ET_2)_{\text{magma primitivo}}$; ET = elemento traço

Figure 5 - Evolution of trace elements in silic-sanidinic fusion as function of degree of crystallization of leucite (F). Those relations are assigned to one for original magma. $R_2 = (ET_1/ET_2)_{\text{residual magma}} / (ET_1/ET_2)_{\text{original magma}}$; ET = trace element

ções, ainda acima do ponto peritético, com ajuda dos cálculos normalizados (Moreira 1988).

Em condições normais de cristalização, abaixo da temperatura peritética, a leucita reagirá com o líquido residual formando feldspato potássico (sanidina) a altas temperaturas, segundo a reação genérica:



Nesse caso, para o controle da partição dos elementos traços contidos na leucita, na fusão e no feldspato seria necessário o estabelecimento dos valores dos coeficientes de distri-

buição desses elementos entre leucita e sanidina e entre sanidina e fusão (Moreira 1988).

Agradecimentos Os autores agradecem os auxílios recebidos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e (CAPES); e apoio do Centre de Recherches sur la Synthèse et Chimie de Minéraux (CNRS) de Orleans, do Instituto de Geociências da Universidade Federal Fluminense (IGc/UFF) e do Departamento de Mineralogia e Petrologia/Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (DMP/IG/USP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DELBOVE, F. 1978. Étude expérimentale de la distribution des alcalins K, Rb, Cs et des alcalino-terreux Ca, Sr, Ba entre albite cristallisée et fondue et solution hydrothermale. *Bull. Mineral.*, 101:317-333.
- HIYAMA, J.T. 1972. Fixation des elements alcalino-terreux Ba, Sr et Ca dans les feldspaths - Etude expérimentale. In: INT. GEOL. CONGR., 24, Montreal, 1972. *Proceeding...* Montreal, IUGS. p.122-130.
- LAGACHE, M. 1974a. Calcul des propriétés thermodynamiques des solutions ternaires de leucite par le modèle de Kohler. Application expérimentale dans le cas où l'un des composants est à l'état de traces. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 278:2497-2500.
- LAGACHE, M. 1974b. Utilisations du modèle de F.Kohler pour le calcul de la distribution d'un élément en trace entre une solution solide binaire et une solution hydrothermale. *Bull. Soc. Franc. Mineral. Cristall.*, 97:117-121.
- MOREIRA, A.H.P. 1988. *Síntese de leucita, sanidina e vidro sanidínico a 930-1030°C e 2 kb: Coeficientes de partição de Rb, Ca, Sr e Ba entre essas fases e solução hidrotermal de KCl. Aplicações geológicas.* São Paulo. 149p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP).
- MOREIRA, A.H.P.; DELBOVE, F.; VALARELLI, J.V. 1989a. Partição de Ba entre fluidos hidrotermais (930-1030°C e 2kbar) e leucita, sanidina ou fusão sílico-sanidínica. *Rev. Bras. Geoc.*, 19(4):436-439.
- MOREIRA, A.H.P.; DELBOVE, F.; VALARELLI, J.V. 1989b.

- Partição experimental do ST entre fluido hidrotermal (H₂O-KCl-SrCl₂) e leucita, sanidina e fusão sílico-sanidínica a 2 kb e altas temperaturas & *Anais da Acad.bras.Ciênc.* 61(3):275-284.
- MOREIRA, A.H.P.; DELBOVE, F.; VALARELLI, J.V. 1989c. Coeficiente de distribuição do Rb entre solução hidrotermal, sanidina, leucita e fusão sílica-sanidínica a altas temperaturas e 2 kb. *Geochimica Brasiliensis*. (No prelo).
- MOREIRA, A.H.P.; DELBOVE, F.; VALARELLI, J.V. 1989d. Coeficiente de partição do Ca entre leucita, sanidina, fusão sílico-sanidínica e solução hidrotermal a 2 kb e altas temperaturas (930°C e 1030°C). *Boletim IG-USP*, 21:1-12. (Série Científica).
- SHAW, H.R. 1963. The four-phase curve sanidine-quartz-liquid-gas between SOO and 4.000 bars. *Amer. Miner.* 18:883-896.
- VOLFINGER, M. & ROBERT, J.L. 1980. Structural control of the distribution of trace elements between silicates and hydrothermal solutions. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 44:1455-1461.
- WYART, J. & SABATIER, G. 1965. Réactions des feldspaths alcalins avec des solutions hydrothermales de CaCl₂. *C. JR. Acad. Sá. Paris*. 260:1681-1685.

MANUSCRITO A625

Recebido em 27 de outubro de 1989

Revisão do autor em 13 de fevereiro de 1990

Revisão aceita em 14 de fevereiro de 1990