

COEFICIENTE DE PARTIÇÃO DO Ca ENTRE LEUCITA, SANIDINA, FUSÃO SÍLICO-SANIDÍNICA
E SOLUÇÃO HIDROTHERMAL A 2kb E ALTAS TEMPERATURAS (920° E 1030°C)

A.H.P. Moreira¹
F. Delbove²
J.V. Valarelli³

RESUMO

Foram realizadas séries de experimentos de síntese de leucita, sanidina e de sanidina fundida com pequeno excesso de sílica a partir de gels amorfos dos óxidos na estequiometria desejada, em contato com solução hidrotermal de KCl, contendo proporções variáveis de traços de cloreto de cálcio "marcado" (⁴⁵Ca).

As relações Ca/K determinadas nos materiais sintetizados e na solução hidrotermal após os experimentos permitiram a obtenção dos coeficientes de partição médios $K_d = Ca/K$ do material sintetizado/Ca/K da solução hidrotermal, dentro de intervalo de comportamento ideal das soluções hidrotermais, das soluções sólidas (minerais) e da fusão sílico-sanidínica (sanidina fundida).

Os valores de K_d obtidos foram:

$$K_d \begin{matrix} 2kb, 930^\circ C \\ Lc-SH \end{matrix} = 0,95; \quad K_d \begin{matrix} 2kb, 1030^\circ C \\ Lc-SH \end{matrix} = 0,59;$$

e

$$K_d \begin{matrix} 2kb, 930^\circ C \\ San-SH \end{matrix} = 0,74; \quad K_d \begin{matrix} 2kb, 1030^\circ C \\ fusão-SH \end{matrix} = 6,7$$

ABSTRACT

Results of synthesis experiments of leucite (Lc), sanidine (San) and fused sanidine, the latter with slightly excess SiO_2 are reported. Starting materials were amorphous oxide gels with the appropriate stoichiometric compositions in contact with KCl hydrothermal

¹ Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.

² Centre de Recherches sur la Synthèse et Chimie des Minéraux, C.N.R.S., Orléans, France.

³ Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências/USP, São Paulo.

solutions (HS) containing variable amounts of tagged $\text{CaCl}_2(^{45}\text{Ca})$ at pressures of 2 kbars and temperatures of 930° and 1030°C. The distribution coefficients

$$K_d = \frac{\text{Ca/K (synthetic material)}}{\text{Ca/K (hydrothermal solution)}}$$

were obtained from the Ca/K ratios measured in both ideal synthesized materials and solutions. The results were as follows:

$$K_d^{2\text{kb}}_{\text{Lc-HS}} = 0.95 \text{ (930°C) and } 0.59 \text{ (1030°C)}$$

and

$$K_d^{2\text{kb}}_{\text{fused San-HS}} = 6.7 \text{ (1030°C); } K_d^{2\text{kb}}_{\text{San-HS}} = 0.74 \text{ (930°C)}$$

INTRODUÇÃO

A verificação experimental do comportamento ideal de elementos em traços substituindo outro elemento maior na estrutura de um mineral (considerado solução sólida ideal extremamente diluída) é uma ferramenta importante para a geoquímica desses elementos em traços (ORVILLE, 1963; IYAMA, 1972, 1974a, 1974b; LAGACHE, 1984; ROUX et al., 1971; VOLFINGER, 1980; WYART & SABATIER 1971), com aplicações em petrologia de rochas ígneas (DEBRON, 1965; DELBOVE, 1978; MOREIRA, 1988; etc.). Esse é o objetivo deste trabalho.

Procurou-se sintetizar leucita KAlSi_2O_6 em temperaturas de 930° e 1030 ° C e sanidina, KAlSi_3O_8 (feldspato potássico de alta temperatura) à 930 ° C, a partir de gel amorfo constituído por mistura de óxidos com estequiometria desses minerais, em contato com solução hidrotermal de KCl de normalidade constante, mas com relações Ca/K variáveis (10^{-6} a 10^{-1}) e de teores de CaCl_2 conhecidos.

Estudos semelhantes foram feitos por MOREIRA et al. (1989a e 1989b) enfocando o Ba e o Sr.

Procurou-se também efetuar a partição de Ca em equilíbrio entre "sanidina fundida" de composição $0,93 \text{ KAlSi}_3\text{O}_8 + 0,07 \text{ SiO}_2$ com as mesmas soluções hidrotermais. Esse coeficiente de partição magma-SH, comparado com o da sanidina-SH e leucita-SH permite interpretar o

comportamento do Ca quando da cristalização desses minerais a partir do magma sanidínico, semelhante ao das condições experimentais.

METODOLOGIA

As experiências foram realizadas nos laboratórios do "Centre de Recherche sur la Synthèse et Chimie de Minéraux" do CNRS de Orleans, França. As sínteses foram efetuadas em autoclaves de aquecimento interno, com duração aproximada de 24 horas, à 2 kb de pressão total ($P = P_{H_2O}$) nas seguintes temperaturas: 930°C, sínteses de sanidina e leucita cristalizadas; 1030°C, sínteses de leucita cristalizada e de fase fundida de composição $0,93 \text{ KAlSi}_3\text{O}_8 + 0,07 \text{ SiO}_2$.

Os materiais de partida para síntese dos "sólidos" eram constituídos por misturas de óxidos amorfos na estequiometria da fase desejada (HAMILTON & HENDERSON, 1968). Esses gels sintéticos homogêneos estavam em contato com solução de cloreto de potássio, com traços de cloreto de cálcio (^{45}Ca).

Esses materiais foram colocados em tubos de platina de 3,5 mm de diâmetro interno e 4 cm de comprimento, selados numa das extremidades em proporções mássicas exemplificadas abaixo:

- Carga sólida da composição desejada (sanidina, leucita ou vidro sanidínico) pesando 70 ± 3 mg.
- Carga aquosa correspondente de 50 μl de solução 4N de KCl, acrescida de 90 μl de solução de cloreto de cálcio. O título e o volume de solução foram calculados afim de obter-se relações de concentrações Ca/K entre 10^{-6} e 10^{-1} , volume inicial de 140 ± 10 μl e título global de $1,50 \pm 0,10$ N.

Após a selagem da outra extremidade o tubo porta-amostra foi colocado na autoclave, onde permanecia por 24 horas após serem atingidas as condições de T e P programadas. A variação da temperatura durante o experimento foi $\pm 5^\circ\text{C}$ e da pressão ± 50 bars.

Os tubos, após serem retirados da autoclave, foram controlados mediante pesagem, em seguida abertos e seu conteúdo submetido a procedimento analítico como segue: os produtos de síntese (fração sólida cristalizada feldspática, feldspatoídica ou os glóbulos vítreos de sanidina) foram separados da fração líquida e submetidos a moagem em gral de quartzo. Essa moagem teve a finalidade de eliminar as possíveis gotas de líquido aprisionadas no interior da fase sólida. Em seguida, o pó foi lavado cuidadosamente com solução acética a 2%, depois separado dessa solução de lavagem através de filtração em "millipore" 0,45 μ . Após secagem em estufa a 150°C/24 h as fases sólidas foram analisadas por microscopia óptica e por difração de raios X, antes de serem submetidas às análises químicas. A fração aquosa (solução hidrotermal + solução de lavagem dos sólidos) foi também analisada.

A solução e suas respectivas águas de lavagem foram dosadas como segue: o cálcio foi separado por análise sistemática e fracional. Após a separação do sólido restava uma solução contendo potássio, cálcio e seu isótopo radioativo. Inicialmente, a solução foi tratada de maneira a obter-se a separação do potássio. Juntou-se 1 cm^3 de solução CaCl_2 -1M, com a finalidade de carrear todas as partículas do radioisótopo e 800 mg de cristais de oxalato de amônio. Aqueceu-se para dissolver os cristais de oxalato de amônio e formar um precipitado de oxalato de cálcio. Deixou-se esfriar e juntou-se 2 cm^3 de HCl concentrado. Aqueceu-se novamente até dissolução do precipitado. Adicionaram-se algumas gotas de solução alcoólica de vermelho de metila 0,2% como indicador. Aqueceu-se e juntou-se solução 1/12 de NH_4OH , gota a gota, até viragem do róseo ao amarelo. Filtrou-se em "millipore". O precipitado recolhido de oxalato de cálcio foi lavado com solução 1/12 NH_4OH e oxalato de cálcio. Após secagem em estufa, o precipitado foi pesado e dosado pelo método radioquímico. A relação inicial entre o cálcio e seu isótopo sendo conhecida, permitiu calcular o cálcio total final da solução.

A dosagem de K foi realizada no filtrado recolhido após separação do oxalato de cálcio, por fotometria de chama.

A dosagem do cálcio, tanto nos sólidos como nas soluções, foi feita com ajuda de contador Geiger-Müller do ^{45}Ca (meia vida de 152 dias) que emite partículas β e γ com energia de 0,252 MeV, empregando-se sempre comparações com padrões.

O potássio do sólido foi calculado conhecendo-se seu grau de substituição por Ca e a composição do mineral ou da fusão.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados das medidas são apresentados nas Tabelas de I a IV e Figuras 1 e 2. Nestas utilizaram-se coordenadas logarítmicas da relação Ca/K em número de átomos nos sólidos em função dessa mesma relação nas soluções associadas.

Na Figura 1 observam-se curvas referentes a leucita nas duas temperaturas dos experimentos. A distribuição do Ca entre leucita e solução hidrotermal a 1030°C foi constante entre as relações $(\text{Ca/K})_{\text{mín}}$ de $9,98 \cdot 10^{-6}$ até $1 \cdot 10^{-2}$ correspondendo a concentrações de Ca na leucita entre 1,5 e 2000 ppm. Além desse comportamento ideal observa-se uma inflexão positiva favorecendo esse elemento no mineral em estudo. O coeficiente de distribuição, entre leucita e solução hidrotermal, na idealidade, é igual a 0,59 atingindo até 3,66 na relação $(\text{Ca/K})_{\text{mín}}$ igual a $1,88 \cdot 10^{-1}$ e concentração de Ca de 34500 ppm na leucita.

Na temperatura de 930°C os limites experimentais de idealidade da distribuição do Ca entre leucita e solução hidrotermal situam-se entre $9,33 \cdot 10^{-6}$ e $5,4 \cdot 10^{-2}$ de $(\text{Ca/K})_{\text{mín}}$, correspondentes a concentrações entre 1,7 e 1000 ppm Ca na leucita. Acima desse domínio ideal, os valores de Kd tomam inclinação positiva favorecendo o mineral com esse elemento. O coeficiente de distribuição de 0,95 passa a 1,38 na concentração $(\text{Ca/K})_{\text{mín}} = 27370$ ppm e $(\text{Ca/K})_{\text{mín}} = 1,49 \cdot 10^{-1}$.

Na Figura 2 acham-se representadas as curvas de equilíbrio da distribuição de Ca e K entre a sanidina cristalizada ou fundida e solução hidrotermal.

Os limites de idealidade do Kd medidos através $(\text{Ca/K})_{\text{mín}}$ estão compreendidos entre $1,036 \cdot 10^{-5}$ e $7 \cdot 10^{-3}$, concentrações variáveis entre 1,5 e 1000 ppm de Ca no feldspato cristalizado a 930°C. O Kd medido na idealidade como 0,74 inflte-se a 0,35 para $(\text{Ca/K})_{\text{mín}} = 7,48 \cdot 10^{-2}$ e 10.800 ppm de cálcio na sanidina cristalizada.

O Kd = 6,7 de Ca/K entre sanidina fundida e solução hidrotermal a 1030°C permanece constante nos limites de $(\text{Ca/K})_{\text{fusão}} = 1,75 \cdot 10^{-5}$ a $1,53 \cdot 10^{-3}$ cujas concentrações correspondentes de Ca na fusão variam de 0,23 a 500 ppm.

CONCLUSÕES

Foram determinados experimentalmente os coeficientes de distribuição (Kd), em equilíbrio e no domínio de traços do cálcio entre leucita, sanidina cristalizada, sanidina fundida e uma solução hidrotermal de KCl. Nas condições fixadas das experiências notou-se:

- que o coeficiente de distribuição do Ca entre leucita e solução hidrotermal, $Kd_{\text{L-C-SH}}$ a 930°C é maior que a 1030°C, salientando que em temperatura mais baixa houve maior tendência de incorporação de Ca na leucita em detrimento da solução hidrotermal;
- os desvios da idealidade do $Kd_{\text{L-C-SH}}$ nas duas temperaturas são positivos, talvez devido a formação de outra fase cristalina;
- a idealidade do Kd nos domínios da lei de Henry para a solução sólida leucita-Ca a 930°C realiza-se dentro de um campo um pouco maior que a 1030°C;

Tabela I - Dados experimentais dos equilíbrios de troca entre soluções sólidas de leucita, (K,Ca)AlSi₃O₆ e Fluidos hidrotermais (KCl-CaCl₂-H₂O) a 1030°C e 2kb (atg = átomo grama).

Exper.	ANTES DO ENSAIO				DEPOIS DO ENSAIO								kd	
	No	mg	atg Solução		mg	Mineral				Filtrado				
			K	Ca		atg K	atg Ca	Ca/K	atg K	atg Ca	Ca/K			
												Ca		Ca/K
1001	36,40	88,06	5,97·10 ⁻³	28,60	131,08	1,31·10 ⁻³	9,98·10 ⁻⁶	113,81	1,95·10 ⁻³	1,72·10 ⁻⁵	0,58			
1005	36,40	93,21	5,425·10 ⁻³	24,30	111,37	1,35·10 ⁻³	1,21·10 ⁻⁵	102,30	2,38·10 ⁻³	2,33·10 ⁻⁵	0,52			
1004	35,70	102,36	1,27·10 ⁻²	33,30	152,62	2,83·10 ⁻³	1,87·10 ⁻⁵	118,67	3,86·10 ⁻³	3,25·10 ⁻⁵	0,57			
1002	36,60	105,23	2,36·10 ⁻²	28,20	129,25	6,003·10 ⁻³	4,64·10 ⁻⁵	162,66	1,37·10 ⁻²	8,40·10 ⁻³	0,55			
1006	35,70	119,90	2,94·10 ⁻²	32,10	147,12	9,53·10 ⁻³	6,48·10 ⁻⁵	141,43	1,39·10 ⁻²	9,84·10 ⁻³	0,66			
1003	37,80	133,23	0,167	32,60	149,41	4,45·10 ⁻²	2,28·10 ⁻⁴	143,48	8,00·10 ⁻²	5,58·10 ⁻⁴	0,53			
1008	69,70	219,99	2,74	59,60	273,16	0,907	3,32·10 ⁻³	279,28	1,62	5,79·10 ⁻³	0,57			
1007	73,40	275,55	7,59	71,10	325,86	2,802	8,599·10 ⁻³	324,04	3,83	1,181·10 ⁻²	0,72			
1009	36,20	102,03	17,40	34,10	156,29	7,997	5,12·10 ⁻²	147,57	5,53	3,74·10 ⁻²	1,37			
1016	70,00	159,22	44,98	60,09	275,40	25,696	1,021·10 ⁻¹	269,31	10,29	3,82·10 ⁻²	2,67			
1017	68,70	129,00	75,69	64,60	296,07	47,87	1,88·10 ⁻¹	238,82	13,27	5,13·10 ⁻²	3,66			

Tabela II - Dados experimentais de sínteses em equilíbrio entre soluções sólidas de leucita (K,Ca)AlSi₃O₆ e fluidos hidrotermais (KCl-CaCl₂-H₂O) a 920°C e 2kb (atg = átomo grama).

Exper.	ANTES DO ENSAIO				DEPOIS DO ENSAIO								Kd
	No	mg CeL	atg Solução		Mineral				Filtrado				
			K	Ca	atg K	atg Ca	Ca/K	atg K	atg Ca	Ca/K			
											ng	atg K	
1201	35,40	96,31	6,062·10 ⁻³	32,00	146,66	1,37·10 ⁻³	9,33·10 ⁻⁶	106,65	1,034·10 ⁻³	9,69·10 ⁻⁶	0,96		
1205	57,90	180,34	6,58·10 ⁻³	50,70	232,37	2,59·10 ⁻³	1,17·10 ⁻⁵	206,65	2,78·10 ⁻³	1,34·10 ⁻⁵	0,83		
1206	69,10	211,86	2,999·10 ⁻²	56,50	258,95	1,153·10 ⁻²	4,45·10 ⁻⁵	239,87	1,08·10 ⁻²	4,52·10 ⁻⁵	0,98		
1202	70,80	244,03	2,09	63,50	291,03	1,01	3,46·10 ⁻³	272,89	0,991	3,63·10 ⁻³	0,95		
1203	62,20	185,22	9,08	51,80	237,41	5,03	2,16·10 ⁻²	191,82	3,03	1,89·10 ⁻²	1,14		
1204	36,00	123,80	16,75	32,20	147,58	6,923	4,91·10 ⁻²	164,71	7,99	4,85·10 ⁻²	1,01		
1207	69,80	148,50	43,50	60,50	277,28	20,96	7,56·10 ⁻²	241,94	17,11	7,07·10 ⁻²	1,07		
1208	69,80	143,3	63,39	61,50	281,86	28,375	1,11·10 ⁻¹	272,63	22,91	8,40·10 ⁻²	1,32		
1209	70,20	114,06	74,68	60,50	277,28	41,31	0,149	215,09	23,15	0,108	1,38		

Tabela III - Dados experimentais dos equilíbrios de troca entre soluções sólidas de sanidina (K,Ca)AlSi₃O₈ e fluidos hidrotermais (KCl-CaCl₂-H₂O) a 930°C e 2kb (atg = átomo grama).

Exper.	ANTES DO ENSAIO				DEPOIS DO ENSAIO								Kd
	Nº	mg	atg		Mineral				Filtrado				
			K	Ca	mg	atg		Ca/K	atg		Ca/K		
						K	Ca		atg	Ca			
1503	70,80	219,34	8,78·10 ⁻³	230,04	2,38·10 ⁻³	64,01	212,53	1,036·10 ⁻⁵	3,45·10 ⁻³	212,53	3,45·10 ⁻³	1,624·10 ⁻⁵	0,64
1502	65,00	182,94	8,97·10 ⁻³	218,51	3,47·10 ⁻³	60,80	209,72	1,59·10 ⁻⁵	4,45·10 ⁻³	209,72	4,45·10 ⁻³	2,12·10 ⁻⁵	0,75
1500	57,10	176,44	8,93·10 ⁻³	180,77	3,49·10 ⁻³	50,30	189,26	1,93·10 ⁻⁵	4,85·10 ⁻³	189,26	4,85·10 ⁻³	2,563·10 ⁻⁵	0,75
1504	67,50	191,72	1,21	214,38	4,17·10 ⁻³	59,65	174,42	1,95·10 ⁻³	0,45	174,42	0,45	2,58·10 ⁻³	0,76
1501	60,00	154,35	3,52	205,21	1,59	57,10	179,90	7,73·10 ⁻³	1,77	179,90	1,77	9,86·10 ⁻³	0,78
1505	81,90	106,91	56,45	269,47	20,16	74,98	152,43	7,48·10 ⁻²	33	152,43	33	2,16·10 ⁻¹	0,35

Tabela IV - Dados experimentais de obtenção de coeficientes de partição do Ca entre fusões sílico-satúrficas 0,23 (K,Ca)/AlSi₃O₈-0,07SiO₂ e fluidos hidrotermais (KCl-CaCl₂-H₂O) a 1030°C e 2kb (atg = átomo grama).

Experi.	ANTES DO ENSAIO				DEPOIS DO ENSAIO				Kd			
	mg	atg			mg	Mineral				Filtrado		
		Ca	K	Solução		atg K	atg Ca	C _{Ca} /K Ca/K			atg Ca	Ca/K
1303	36,40	116,33	2,07·10 ⁻³		33,50	106,19	1,86·10 ⁻³	1,75·10 ⁻⁵	100,51	2,59·10 ⁻⁴	2,57·10 ⁻⁶	6,81
1302	35,40	111,13	3,97·10 ⁻³		30,50	96,68	4,06·10 ⁻³	4,198·10 ⁻⁵	99,74	6,33·10 ⁻⁴	6,35·10 ⁻⁶	6,62
1305	53,10	152,07	0,27		45,40	143,91	0,22	1,53·10 ⁻³	120,20	2,62·10 ⁻²	2,35·10 ⁻⁴	6,51

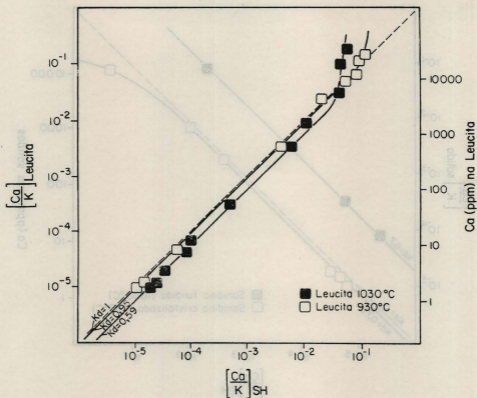


Figura 1 - Curvas de equilíbrio da distribuição de Ca e K, obtidas a 930° e 1030° e 2 kb (pH₂O), entre uma solução hidrotermal de KCl a 1,5N e leucita cristalizada. A reta tracejada corresponde a um equilíbrio de K_d constante igual a um.

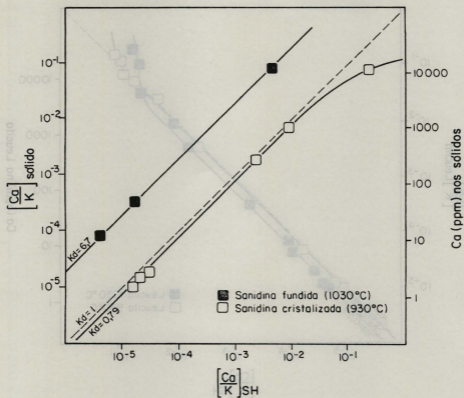


Figura 2 - Curvas de equilíbrio da distribuição de Ca e K, obtidas a 930° e 1030°C e 2 kb (pH_2O), entre uma solução hidrotermal de KCl a 1,5N e sanidina cristalizada e fundida. A reta tracejada corresponde a um equilíbrio de K_d constante igual a um.

- d) pelo coeficiente de distribuição do Ca entre sanidina e SH ($K_d = 0,79$) nota-se que há maior afinidade desse elemento pela solução hidrotermal. Essa afinidade aumenta com a concentração, até haver inflexão negativa da curva, favorecendo a permanência do cálcio na solução hidrotermal;
- e) uma grande afinidade de cálcio pela sanidina fundida é evidenciada pelo $K_d_{\text{fusão-SH}} = 6,7$.
- f) o cálcio concentra-se 9 vezes mais na fusão sílico-sanidínica (1030°C) que na sanidina cristalizada (930°C), 7 vezes mais nessa fusão que na leucita (930°C) e 11,3 vezes mais nessa mesma fusão comparada com a leucita sintetizada a 1030°C.
- g) nas mesmas condições experimentais (930°C e 2 kb) e em contato com os mesmos fluidos hidrotermais, o cálcio concentra-se um pouco mais (1,28 vezes) na leucita do que na sanidina.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos: à CAPES cujos auxílios permitiram o estágio de um dos autores (A.H.P.M.) no CRSCM-CNRS de Orleans, França e bolsa de demanda social para doutoramento no IG-USP; ao Departamento de Química Analítica do IQ da UFF por ter permitido esses afastamentos; ao CNPq por bolsa de pesquisa a um dos autores (J.V.V.); e à FAPESP por auxílio a pós-doutorado em Orleans (J.V.V.) e pela vinda do Prof. F.Delbove ao IG-USP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DEBRON, G. (1965) Contribution à l'étude des réactions d'échange des ions alcalins et alcalino-terreux dans les feldspaths. *Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie*, 88(1):69-96.
- DELBOVE, F. (1978) Etude expérimentale de la distribution des alcalins K, Rb, Cs et des alcalino-terreux Ca, Sr, Ba entre albite cristallisée et fondue et solution hydrothermale. *Bulletin de Minéralogie*, 101(3):317-333.
- IYAMA, J.T. (1972) Fixation des éléments alcalino-terreux, Ba, Sr et Ca dans les feldspaths. Etude expérimentale. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 24., Montreal, 1972. *Proceedings*. Montreal. sec.10, p.122-130.
- IYAMA, J.T. (1974a) Behaviour of trace elements in feldspars under hydrothermal conditions. In: MACKENZIE, W.S. & ZUSSMAN, J. (eds.) *The feldspars: proceedings of a NATO Advanced Study Institute Manchester*, Manchester University Press. p.551-573.
- IYAMA, J.T. (1974b) Substitution, déformation locale de la maille et équilibre de distribution des éléments en traces entre silicates et solution hydrothermale. *Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie*, 97(2):143-151.
- LAGACHE, M. (1984) The exchange equilibrium distribution of alkali and alkaline-earth elements between feldspars and hydrothermal solutions. In: BROWN, W.L. (ed.) *Feldspars and feldspathoids: structures, properties and occurrences; proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Feldspars and Feldspathoids*. Dordrecht, D. Reidel Publishing Company. 247-279 (NATO ASI Series C. v.137).

- MOREIRA, A.H.P. (1988) Síntese de leucita, sanidina e vidro sanidínico a 930-1030°C e 2kbar: 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. (1989) Partição experimental do Sr entre fluido hidrotermal ($H_2O-KCl-SrCl_2$) e leucita, sanidina e fusão sanidínica a 2kb e altas temperaturas. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 61(3):275-284.
- MOREIRA, A.H.P.; DELBOVE, F.; VALARELLI, J.V. (no prelo) Sínteses de leucita, sanidina e fusão sílico-sanidínica para determinação dos coeficientes de partição do Ba entre essas fases e fluido hidrotermal a altas temperaturas e 2kb. *Revista Brasileira de Geociências*.
- ORVILLE, P.M. (1963) Alkali ion exchange between vapor and feldspar phases. *American Journal of Science*, 261(3):201-237.
- ROUX, J.; VOLFINGER, M.; LAGACHE, M.; IYAMA, J.T.; SABATIER, G.; WYART, J. (1971) Ideal solid solution formation by substitution of alkali and alkali earth elements in silicates. In: GENERAL MEETING OF THE INTERNATIONAL MINERALOGICAL ASSOCIATION, 7., Tokyo, 1970; GENERAL MEETING OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION ON THE GENESIS OF ORE DEPOSITS, 3., Tokyo, Mineralogical Association of Japan, 1971. p.214-221 (Special Paper, 1).
- VOLFINGER, M. (1980) Structural control of the distribution of trace elements between silicates and hydrothermal solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44(10):1455-1461.
- WYART, J. & SABATIER, G. (1971) Distribution du rubidium à l'état de trace, entre une solution hydrothermale et l'albite fondue et cristallisée. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 272:2745-2748.

Recebido para publicação em 18/05/1989