



ta oceânica jovem, anfibolitizada, em zona de elevado grau geotérmico, numa época posterior à colocação dos gnaisses de Sete Voltas; (ii) a presença de enclaves de composições semelhantes às dos ultrabásitos do GRS, aliada as idades modelo iguais nas duas unidades — em que pese a evidente imprecisão na definição das básicas do GRS — sugere que os protólitos do CSI tenham sido gerados pela fusão parcial de um segmento da mesma crosta oceânica que originou os termos básicos e ultrabásicos do GRS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, J. S. F. & DOMINGUEZ, J. M. L., ed. (1996) Geologia da Bahia. Texto Explicativo para o mapa geológico ao milionésimo. Gov. Est. Bahia, UFBA/IGEO. Convênio SCIT/UFBA/SGM/PPPG/FAPEX. BARBOSA, J. S. F. 1986. Constitution lithologique et metamorphique de la region granulitique du sud de Bahia - Brésil. (Tese de Doutorado. Memoires des Sciences de la Terre 86-34. Université Pierre et Marie Curie).

BARKER, F. & ARTH, J. G. (1976) Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archaean bimodal trondhjemitic-basalt suites. *Geology*, 4: 596-600.

CONDIE, K. C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from

surface samples and shales. *Chem. Geology*, 104: 1-37.

CPRM/CBPM, em execução. Projeto Vale do Paramirim.

LEAL, L. R. B. (1998) Geocronologia U/Pb (SHIRIMP), $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, Rb/Sr, Sm/Nd e K/Ar dos terrenos granito-greenstone do bloco do Cavião: implicações para a evolução arqueana e Proterozóica do cráton do São Francisco, Brasil. S. Paulo. (Tese Doutorado. IG-USP).

MARTIN, H. (1994) Chapter 6. The Archaean grey gneisses and the genesis of continental crust. In: K. C. Condie, ed., *Archaean Crustal Evolution*. Devel. in Precam. Geol. n.11. Elsevier.

MARTIN, H.; PEUCAT, J.J.; SABATÉ, P.; CUNHA, J. C. (1997) Crustal evolution in the Archaean of South America: example of the Sete Voltas Massif, Bahia State, Brazil. *Precambrian Research*, 82: 35-62.

O'CONNOR, J. T. (1965) A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. *U. S. Geol. Surv. prof. pap.*, 525-B: 79-84.

PEIXOTO, W. S. & GARRIDO, I. A. A. (1998) Projeto Riacho de Santana. CBPM/Sec. Ind. Com. e Min., Ba. 72 p. Anexos. Inédito.

TEIXEIRA, L. R. (1997) O complexo Caraíba e a suíte São José do Jacuípe no cinturão Salvador-Curaçá (Bahia, Brasil): Petrologia, Geoquímica e Potencial Metalogenético. Salvador. (Tese de Doutorado. UFBA).

OCORRÊNCIA E VARIAÇÕES COMPOSICIONAIS DE CHEVKINITA-Ce E ALLANITA (-Fe) EM QUARTZO-SIENITOS DO MACIÇO CORUPÁ (SC), PROVÍNCIA SERRA DO MAR

S.R.V. VLACH

srfvlach@usp.br – Depto de Mineralogia e Geotectônica, IG-USP

INTRODUÇÃO

Na região sudeste do Brasil, diversos maciços graníticos e sieníticos constituem uma importante província magmática pós-colisional, a Província Serra do Mar (ca. 600 Ma), em que afloram rochas sieníticas e graníticas de ambas as associações alcalina e aluminosa de granitos de tipo A (Kaul, 1984; Vlach *et al.*, 1996). O estudo mineralógico detalhado de maciços selecionados tem revelado a ocorrência de diversos minerais acessórios típicos de grande importância petrológica, entre os quais se destacam chevkinita, até então não descrita nesta província, e allanita, incluindo uma possível nova espécie (allanita-Fe), sem similar na literatura no saber do presente autor. Alguns resultados químicos obtidos para estes minerais em rochas sieníticas e graníticas do Maciço Corupá, SC, e algumas implicações genéticas são apresentados e discutidos neste trabalho.

ASPECTOS GEOLÓGICOS E PETROGRÁFICOS GERAIS

O Maciço Corupá ("Granito Corupá" de Albuquerque *et al.*, 1971) aflora no extremo meridional da Província Serra do Mar - próximo à cidade homônima - por uma área com cerca de 50 km² com forma semi-anelar, em bumerangue. As variedades petrográ-

ficas que constituem o maciço incluem rochas leucocráticas e hololeucocráticas com estrutura maciça e granações variadas, colocadas em níveis crustais relativamente rasos. Compreendem principalmente álcali-feldspato sienitos e quartzo-sienitos meta-aluminosos, aos quais se associam quantidades menores de álcali-feldspato granitos peralcalinos mais diferenciados (Kaul, 1984; Chiessi *et al.*, 1998). Variedades monzoníticas, leucocráticas e mesocráticas, aparecem na forma de enclaves escuros de dimensões variadas incluídos nas rochas sieníticas.

Ao microscópio, as texturas das variedades relativamente mais máficas são hipidiomórficas, dominadas por uma trama de feldspato perfitico ou mesoperfitas tabulares, com quartzo e minerais máficos localizados intersticialmente. Nas rochas mais félsicas, o quartzo é maior e globular e são comuns os intercrescimentos micro-granofíricos e as cavidades micro-miarolíticas. Nos sienitos, os minerais máficos compreendem piroxênios e anfibólios cálcicos e cálcio-sódicos, acompanhados por faialita, ilmenita, apatita, zircão, chevkinita e allanita, além de minerais de alteração deutérica e/ou hidrotermal. Os minerais máficos primários nos granitos são anfibólios sódicos, ilmenita, apatita, zircão, fluorita, chevkinita (rara) e opacos não identificados. Aspec-

tos texturais e químicos mais típicos dos minerais máficos principais do Maciço Corupá estão sintetizados em Chiessi *et al.* (1998).

METODOLOGIA

Imagens de elétrons retroespalhados em modo composicional (BEI-COMPO) e análises quantitativas pontuais (WDS) para os minerais estudados foram obtidas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do IG-USP, com o equipamento JEOL-8600S e o sistema de automação NORAN-Voyager. As condições analíticas empregadas foram 20 kV, 50 nA, 5 mm e 15 kV, 20 nA e 1 mm para a voltagem de aceleração, corrente e diâmetro do feixe eletrônico para as análises pontuais e para a obtenção de imagens, respectivamente. As análises quantitativas foram efetuadas ao longo de perfis núcleo-borda de cristais com as maiores variações composicionais, evidenciadas pelas imagens eletrônicas.

A metodologia geral de preparação de amostras, incluindo a seleção de linhas espectrais para análise dos elementos terras raras (ETR), além de outros elementos menores ou traços, e tipos de padrões naturais e artificiais utilizados para as análises WDS seguiram os procedimentos sumarizados em Vlach (1996). As condições analíticas utilizadas resultam em desvios-padrão (para um nível de confiança de 95 %) devidos ao procedimento de integração dos pulsos sempre inferior a 1% para os elementos maiores (> 5 % p/p do elemento), entre 1 e 4% para os elementos menores (entre 1 e 5 % p/p) e, em geral, superiores a 4% para os elementos traços (< 1% p/p). A correção dos efeitos de matriz e a redução final dos dados foram computados com o programa PROZA (Bastin *et al.*, 1984).

ASPECTOS TEXTURAIS E QUIMISMO MINERAL

Ao microscópio, a *chevkinita* constitui cristais tabulares idiomórficos com dimensões submilimétricas, de cristalização relativamente precoce, que aparecem isolados ou inclusos em anfíbios - às vezes com leves halos pleocróicos - e em feldspatos perfiticos. Apresenta zoneamento composicional complexo evidenciado pelas cores que variam em tons de castanho escuro (zonas mais internas) até laranja ou amarelo claro (zonas externas), sempre com pleocroísmo bem marcado. Em alguns cristais são observados diminutos núcleos corroídos e virtualmente opacos. As zonas marginais mais claras são em geral menos refringentes ou quase isotrópicas, sugerindo efeitos metamórficos mais intensos.

A figura 1A ilustra os complexos padrões de zoneamento químico e estrutural apresentados pelos cristais de *chevkinita* nas rochas sieníticas, os quais são devidos em parte às variações químicas decorrentes da cristalização magmática e, em parte, aos processos posteriores de metamictização - também evidenciados pela baixa cristalinidade em padrões de difratometria de raios X - que provocam forte micro-fraturamento dos cristais. Apenas os núcleos opacos (mais claros na imagem BEI-COMPO) parecem estar totalmente preservados.

Os dados químicos (Tabela 1) indicam tratar-se de uma *chevkinita*-Ce. As variações químicas sistemáticas núcleo → borda mais importantes relacionam os teores de ETR e Fe_m (que diminuem) com Ti

(que aumenta) e apontam para uma substituição acoplada entre estes elementos. Destacam-se também o aumento dos teores em Th, U e Nb e a diminuição dos totais analíticos, os últimos sugerindo entrada de voláteis e/ou aumento do grau de oxidação.

A *allanita* ocorre em duas gerações principais, mais comuns nas rochas mais diferenciadas. A *primeira*, tardi-magmática, ocorre intersticialmente em cristais sub- a xenomórficos submilimétricos. Reconhecê-la em seções delgadas comuns (30 mm) não é tarefa fácil, uma vez que se apresenta opaca ou translúcida com cores vermelhas muito escuras. Imagens BEI-COMPO mostram que é bem homogênea. As análises obtidas (Tabela 1) revelam teores elevados de FeO_m (20-24 % p/p) e TiO_2 (até 4 % p/p), baixos de Al_2O_3 (< 8 % p/p) e moderados de $(ETR)_2O_3$ (23-27 % p/p). Em termos catiônicos, o Fe é o cation dominante nas posições octaédricas M, o Al sendo insuficiente mesmo para completar o sítio M1 (< 0,8 c.p.f.u.). Tais características ópticas e químicas substanciam, em princípio, a proposição de uma espécie específica de *allanita* (*allanita*-Fe).

A *segunda* variedade, de cristalização pós-magmática (hidrotermal?), aparece como cristais aciculares a prismáticos submilimétricos, em geral ocupando cavidades micro-miarolíticas, com frequência desenvolvidos a partir de um substrato formado pela primeira variedade. Apresenta zoneamento oscilatório determinado principalmente pela diminuição em ETR e Fe e aumento em Al em direção às bordas, passando progressivamente para epidoto, que constitui ora bordas externas, ora zonas intermediárias, dos cristais (Figura 1, Tabela 1). Tais variações composicionais são adequadamente acomodadas pelas substituições acopladas descritas por $[Ca^{2+} + (Fe^{3+}, Al^{3+})]_{-1} [(ETR)^{3+} + Fe^{2+}]_{+1}$.

Os teores em $(ETR)_2O_3$ diminuem da *chevkinita* para a *allanita*-Fe e desta para a *allanita* comum e, em cada caso, do núcleo para as bordas dos cristais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Chevkinita-Ce é um mineral acessório primário característico nas rochas da associação alcalina na Província Serra do Mar e a sua ocorrência está associada à saturação em Al e Ca e à IO_2 relativamente baixas e reduzidas, respectivamente. É de cristalização precoce e corresponde ao principal portador dos elementos terras raras leves; sua presença explica os elevados teores destes elementos, bem como os padrões muito fracionados observados nas rochas relativamente mais máficas (P. Kaul, *com. verbal*). A diminuição dos teores e do grau de fracionamento em ETR, observada nas variedades progressivamente mais félsicas, deve-se indubitavelmente ao fracionamento de *chevkinita* durante a cristalização magmática.

Nos estágios mais tardios de cristalização, possivelmente *após* a cristalização dos piroxênios e anfíbios sódicos (*cf.* Chiessi *et al.*, 1998), o relativo incremento no potencial químico de Al e Ca, ao lado do aumento nas condições IO_2 , permitiram a cristalização de alúmino-silicatos cálcicos, entre eles *allanita*-Fe, seguida de *allanita* e, finalmente epidoto, estes últimos já sob condições pós-magmáticas, provavelmente hidrotermais. Nestes estágios de cristalização, as variedades de *allanita* concentram praticamente a totalidade dos ETR.

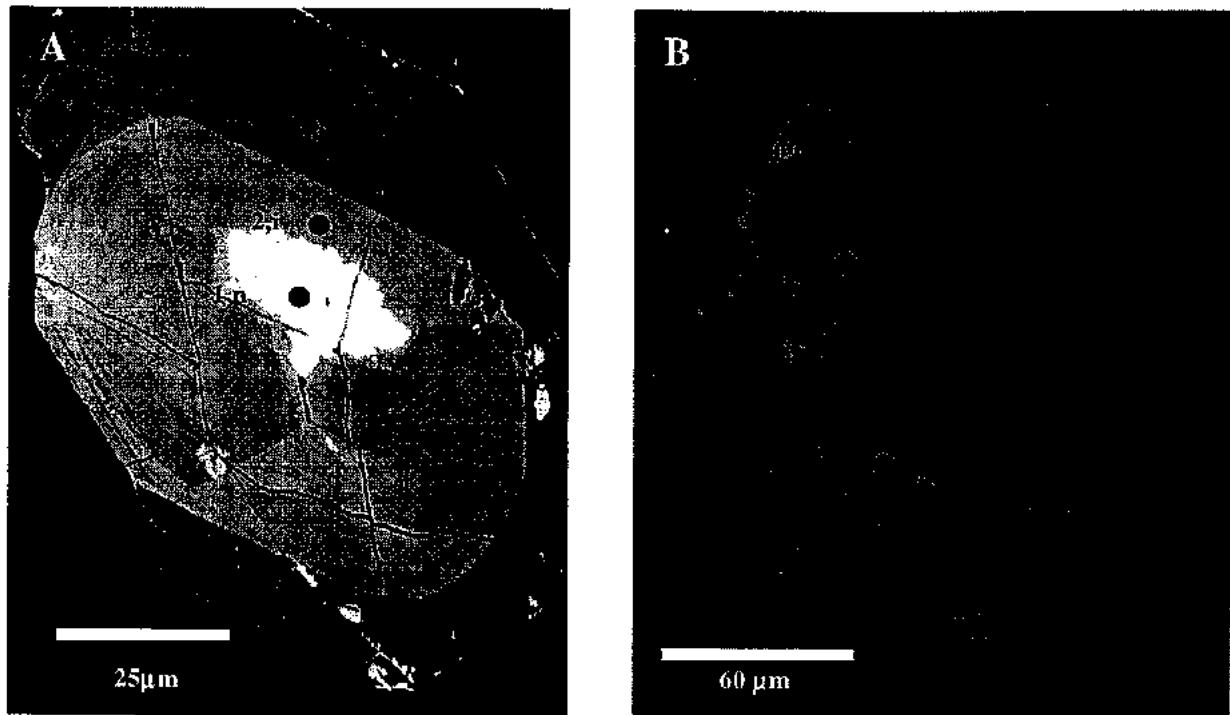


Figura 1. Imagens de eletrons retro-espalhados em modo composicional de chevkinita, allanita e epidoto *A:* chevkinita idiomórfica com zonamento complexo. Núcleo cristalino irregular claro envolvido por zonas variavelmente metamícticas em tons de cinza apresentando micro-fraturamento típico. *B:* cristais idiomórficos com zonamento composicional oscilatório de allanita (zonas mais claras) para epidoto (bandas mais escuras). Pontos identificam as análises representativas na Tabela 1.

Tabela 1. Análises químicas pontuais representativas para chevkinita, allanita e epidoto do Maciço Corupá, SC: chevkinita: 1,n; 2,i e 3,b; Fe-allanita: 4,n; 5,i e 6,n; allanita: 7,i; 8,i e 9,i; epidoto: 10,b. (°): Fe total calculado como Fe₂O₃. A localização dos volumes analisados esta representada nas imagens da Figura 1.

Óxid. (% p/p)	1,n	2,i	3,b	4,n	5,i	6,n	7,i	8,i	9,i	10,b
SiO ₂	19,47	20,75	20,47	30,75	29,80	29,91	32,19	32,58	31,76	37,00
ZrO ₂	0,60	1,06	0,83	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
ThO ₂	0,24	0,35	0,68	b.d.	b.d.	0,03	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
UO ₂	b.d.	0,03	0,09	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
TiO ₂	19,74	24,67	28,91	2,34	3,51	1,75	0,32	0,25	0,32	0,04
Al ₂ O ₃	0,23	0,60	0,60	6,85	7,32	6,75	10,96	12,22	13,95	18,36
La ₂ O ₃	13,36	10,95	7,88	3,95	5,96	7,35	6,16	4,47	4,40	0,22
Ce ₂ O ₃	22,50	18,75	16,33	11,58	12,27	12,26	9,61	8,40	10,12	0,34
Pr ₂ O ₃	2,02	1,65	1,56	1,54	1,40	1,30	0,91	0,90	1,36	b.d.
Nd ₂ O ₃	6,37	5,20	4,97	6,15	4,56	4,40	3,07	3,47	4,96	0,14
Sm ₂ O ₃	0,60	0,47	0,53	1,51	0,55	0,70	0,42	0,62	0,82	b.d.
Gd ₂ O ₃	0,30	0,23	0,32	0,51	0,16	0,14	0,25	0,60	0,44	0,07
Dy ₂ O ₃	0,08	0,14	0,23	0,10	0,08	b.d.	0,08	0,21	0,14	0,12
Er ₂ O ₃	0,03	0,10	0,10	b.d.	0,03	b.d.	b.d.	0,04	b.d.	0,05
Y ₂ O ₃	0,32	0,50	0,69	0,19	0,12	0,05	0,18	0,41	0,20	0,68
FeO _T	10,54	8,20	7,72	22,36	20,94	23,35	20,81	19,27	16,39	16,0
MnO	0,20	0,30	0,45	0,45	0,67	0,35	0,30	0,49	0,41	0,40
MgO	0,02	0,05	0,04	0,02	b.d.	0,02	b.d.	b.d.	0,04	b.d.
CaO	2,79	3,50	3,30	9,78	9,85	9,48	12,50	12,52	11,42	20,95
SrO	b.d.	0,10	0,20	0,17	0,16	0,09	0,28	1,62	0,85	2,15
BaO	b.d.	0,10	0,15	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,05	b.d.
Na ₂ O	b.d.	0,06	0,10	0,02	0,02	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
K ₂ O	b.d.	0,04	0,09	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Nb ₂ O ₅	0,32	0,47	0,85	0,04	b.d.	b.d.	b.d.	0,04	0,15	b.d.
Total	99,73	98,27	97,09	98,31	98,40	97,93	98,04	98,11	97,78	97,32
ΣETR ₂ O ₃	45,26	37,49	31,92	25,34	25,01	26,15	20,50	18,71	22,24	0,94



A allanita-Fe descrita no presente trabalho não se encontra descrita na literatura de conhecimento do presente autor. As suas características ópticas e químicas justificam a proposição de uma nova espécie mineral, a ser submetida futuramente.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à FAPESP pelo continuado suporte à infraestrutura necessária para o Laboratório de Microsonda Eletrônica do DMG-IGUSP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, L.F.F.; ARIOLI, E.E.; DIAS, A.D.A.; KIRCHNER, C.A. (1971) Geologia das quadrículas Blumenau e Joinville, SC. DNPM/CPRM. Relatório Interno. Porto Alegre. 101 p.
BASTIN, G.F.; VAN LOO, F.J.J.; HEIJLIGERS, H.J.M. (1984) Evaluation and use of Gaussian (fz) curves in quantitative

electron probe microanalysis: a new optimization. *X-ray Spectrometry*, **13**:91-97.

CHIESSI, C.M.; OLIVEIRA, D.G.G.; GUALDA, G.A.R.; VLACH, S.R.F. (1998) Texturas e quimismo de minerais máficos do Maciço Sienítico Corupá (SC). *In: Simp. Inic. Científica*, 6, São Carlos, USP-CNPq. Resumos. **2**: 498.

KAUL, P.E.T. (1984) Significado dos granitos anorogênicos da Suíte Intrusiva Serra do Mar na evolução da crosta do sul-sudeste do Brasil, no âmbito das folhas SG-22, Curitiba, e SG-23, Iguape. *In: Congr. Bras. Geol.*, 33, Rio de Janeiro, SBG. Anais. **6**:2815-2825.

VLACH, S.R.F. (1996) Geoquímica de elementos terras raras em allanita e titanita de rochas graníticas de Morungaba (SP) e implicações preliminares. *Boletim IG-USP*. **18**:67-69.

VLACH, S.R.F.; JANASI, V.A.; ULBRICH, H.H.G.J. (1996) Ages and typology of the Brasiliano granitic magmatism close to the Proterozoic-Phanerozoic boundary, States of São Paulo and Paraná, SE Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68**(4):597-598.