

**GEOQUÍMICA DOS ANFIBOLITOS DE SANTANA DO GARAMBÉU (MG):
IMPLICAÇÕES SOBRE A EVOLUÇÃO DO GRUPO ANDRELÂNDIA**

M.L. Gonçalves^{1,2}, M.C.H. Figueiredo²

1. Fundação Municipal do Meio Ambiente, Joinville, SC
2. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

ABSTRACT

In Santana do Garambéu region, Minas Gerais State, amphibolites occur only in the basal unit of São João del Rei Group, while in Andrelândia Group they are present in all the three mapped units. These amphibolites correspond, essentially, to different types of tholeiitic basalts with variable composition, including the REE distribution patterns.

São João del Rei amphibolites are characterized by compositions similar to immature island arc low-K tholeiites or enriched ocean ridge basalts (E-MORB).

In Andrelândia Group, the amphibolites of the basal unit seem to correspond to high-Ti continental basalts; metabasites with E-MORB characteristics occur in the middle unit; and in the upper unit the amphibolites correspond to N-MORB. Subordinate continental basalts also occur in the middle and upper units.

The geochemical characteristics of Andrelândia Group amphibolites suggest an initial rifting stage dominated by high-Ti continental basalts produced by partial melting of subcontinental lithospheric enriched mantle, an intermediate stage (E-MORB) with a mixture of lithospheric-asthenospheric components, and finally an oceanic stage producing N-MORB by partial melting of depleted asthenospheric mantle.

RESUMO

Na região de Santana do Garambéu (MG), ocorrem anfíbolitos na unidade basal do Grupo São João del Rei e nas três unidades mapeadas do Grupo Andrelândia. Todos os anfíbolitos correspondem, essencialmente, a diferentes tipos de basaltos toleíticos de composição variada, incluindo os padrões de distribuição de elementos Terras Raras.

Os anfíbolitos do Grupo São João del Rei têm composições similares a toleitos de baixo-K de arco insular imaturo ou a basaltos enriquecidos de cadeia oceânica (E-MORB).

No Grupo Andrelândia, os anfíbolitos da unidade basal correspondem a basaltos continentais de alto-Ti; os da unidade média comparam-se a E-MORB; e os da unidade superior assemelham-se a N-MORB. Tanto na unidade média quanto na superior ocorrem basaltos continentais subordinadamente.

As características geoquímicas dos anfíbolitos do Grupo Andrelândia sugerem um estágio de fendilhamento (*rifting*) inicial, dominado por basaltos continentais produzidos por fusão parcial de manto litosférico subcontinental enriquecido, seguido de mistura de componentes litosféricos e astenosféricos (E-MORB) e, finalmente, um estágio oceânico (N-MORB), com a produção de basaltos por fusão parcial de manto astenosférico empobrecido.

INTRODUÇÃO

Os grupos São João del Rei e Andrelândia têm sido estudados, na parte sul do Estado de Minas Gerais, por diversos autores (Ebert, 1956a, 1956b, 1968; Trouw et al., 1984, 1986) que lhes atribuíram idades do Proterozóico Médio a Superior. Esses grupos são constituídos predominantemente de metassedimentos, que exibem evidências de terem sofrido três fases de deformação e dois eventos metamórficos (Trouw et al., 1980, 1983, 1984, 1986).

Segundo Gonçalves (1987), o Grupo São João del Rei, na região de Santana do Garambéu (Fig. 1), é composto principalmente por gnaisses finamente bandados, muscovita xistos, quartzitos finos, biotita xistos e, secundariamente por anfíbolitos, rochas meta-ultramáficas e cálcio-silicáticas. O Grupo Andrelândia, por sua vez, pode ser subdividido em três unidades ma-

peáveis na escala 1:50.000: Unidade AI, constituída de gnaisses finamente bandados, com intercalações de quartzitos, filitos cinza, anfíbolitos e meta-ultramáficas; Unidade AII, representada predominantemente por biotita gnaisses homogêneos, com lentes de quartzito grosso, anfíbolitos e meta-ultramáficas; e Unidade AIII, composta por muscovita-biotita xistos, quartzitos grossos, gnaisses grossos, biotita gnaisses homogêneos, anfíbolitos, meta-ultramáficas e cálcio-silicáticas. O contato entre esses grupos é tectônico e expressa-se como um grande cavalgamento do Grupo Andrelândia sobre o Grupo São João del Rei (Fig. 1).

Das quatro unidades litológicas do Grupo São João del Rei na região estudada (Gonçalves, op. cit.), apenas a unidade basal, caracterizada por gnaisses finamente

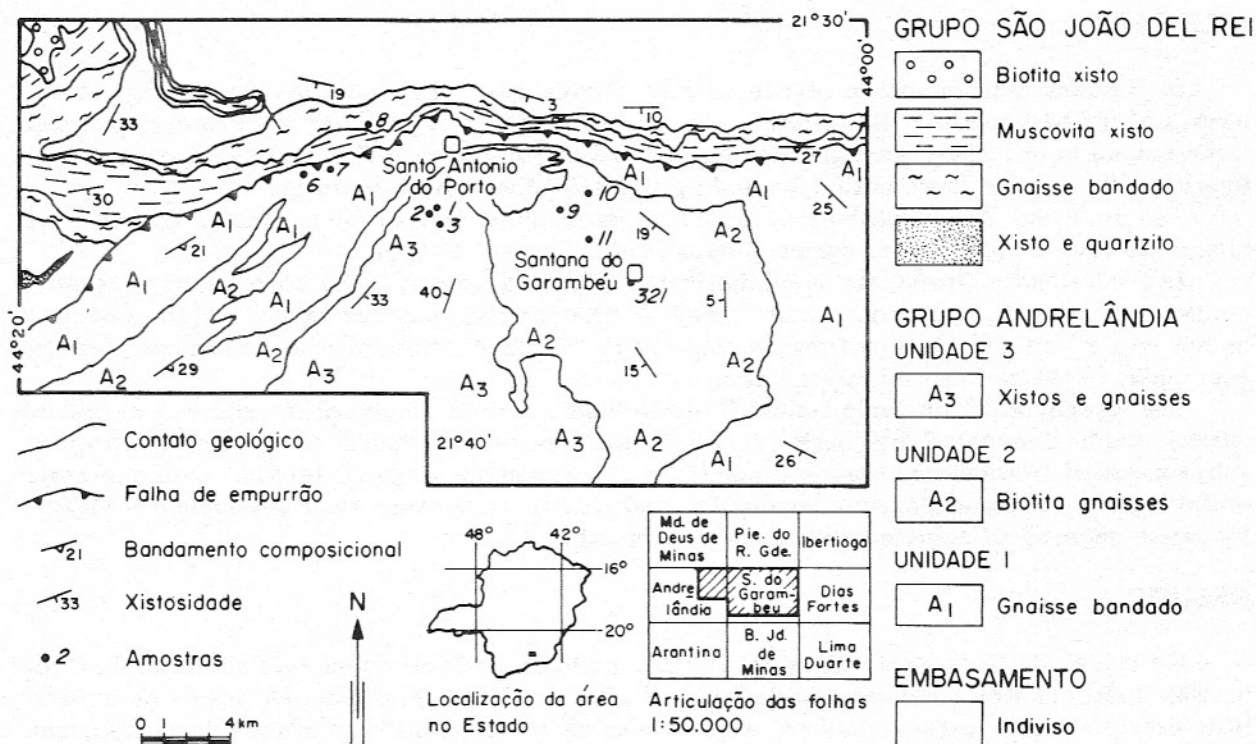


Figura 1 - Esboço geológico da área de Santana do Garambéu, sul de Minas Gerais, com a localização das amostras analisadas.

bandados, contém anfibolitos, além de muscovita xistos, quartzitos finos e meta-ultramáficas. Os anfibolitos ocorrem esparsamente, principalmente quando se procura coletar amostras de rochas não intemperizadas. Alguns afloramentos de gnaisses finamente bandados apresentam bandas de cor ocre, interpretadas como sendo anfibolitos alterados, com espessuras de 10-15 cm e contatos variando de brusco a gradacional. No interior de alguns córregos, ocorrem blocos frescos de anfibolitos (ponto SJ-8, Fig. 1), que certamente pertencem a esse nível estratigráfico, pois voltam a aflorar gnaisses finamente bandados rio acima. Os anfibolitos têm cor preta e granulometria fina e, mineralogicamente, são compostos por hornblenda, plagioclásio, quartzo e, subordinadamente, opacos, titanita, zoisita, apatita, epidoto, biotita e clorita.

Os anfibolitos do Grupo Andrelândia ocorrem nas três unidades mapeadas e serão descritos separadamente a seguir, conforme a unidade a que estão associados. Estas três unidades parecem ter conotação estratigráfica.

Na Unidade AI, de gnaiss finamente bandado, os anfibolitos, mais abundantes,

também ocorrem como bandas, geralmente com espessuras inferiores a 0,5 m, mas que quando mais espessas são mapeáveis na escala 1:25.000. Nesta unidade também ocorrem quartzitos e rochas meta-ultramáficas, embora com espessura e frequência maior que no Grupo São João del Rei. O bandamento composicional, resultante da alternância de camadas gnáissicas, anfibolíticas, quartzíticas e meta-ultramáficas, é paralelo à foliação principal. Petrograficamente, os anfibolitos são constituídos de hornblenda e plagioclásio, com quartzo, opacos e apatita subordinados e traços de biotita e mica branca.

A Unidade AII é litologicamente muito homogênea, constituída de biotita gnaisses com a ocorrência, na escala 1:50.000, de duas lentes de quartzito grosso e uma de meta-ultramáfica (clorita xisto). A nível de afloramento, observa-se, freqüentemente, veios de quartzo concordantes com a foliação. Na escala microscópica, foram observados, no biotita gnaiss homogêneo, níveis milimétricos compostos exclusivamente de apatita.

Os anfibolitos da Unidade AII aparecem como lentes com comprimento de 0,7 a 3 m e largura de 0,1 até 1 m. No interior

destas lentes, nota-se uma foliação que não possui continuidade na porção externa da lente. Mesoscopicamente, observa-se, eventualmente, a presença de granada. Os contatos das lentes anfíbolíticas com o biotita gnaisse homogêneo são sempre bruscos. No afloramento AII-11 foi encontrado um tipo de anfíbolito cinza mais claro com estrutura linear, e não planar como os restantes. Microscopicamente, esses anfíbolitos são compostos por hornblenda, plagioclásio, apatita, epidoto, zoisita e titanita, sendo que esses dois últimos minerais apresentam crescimento tardio associado ao plagioclásio e hornblenda, respectivamente.

A Unidade AIII, com predominância de biotita xistos grossos, é a mais diversificada em termos litológicos. Possui intercalações de biotita gnaisses homogêneos, quartzitos grossos, nêveis muito ricos em cianita, outros em rutilo, e menos, frequentemente, ocorrem anfíbolitos, talco xistos e rochas cálcio-silicáticas.

Nessa unidade foram encontrados dois tipos de anfíbolitos, cujos contatos com as encaixantes não foram observados. Um deles apresenta textura "pseudo-orbicular" composta por uma coroa de reação, entre granada e grãos de hornblenda, caracterizada por uma massa branca. Essa variedade de anfíbolito, caracterizada por uma matriz cinza escura circundando as massas esbranquiçadas de diâmetro de cerca de 0,3 cm, só foi encontrada no ponto AIII-1. Em lâmina delgada, observa-se que a massa branca possui hábito fibroso e comportamento quase isotrópico, passando gradativamente para hornblenda. Localmente, vê-se fragmentos ou restos de hornblenda no interior dessa massa. Biotitização ocorre ao redor de grãos de granada e hornblenda.

O outro tipo de anfíbolito, da Unidade AIII, é muito mais freqüente, especialmente na região do córrego Ponte de Pedra (AIII-3), onde os seus afloramentos possuem até 8 m de espessura, formando uma camada ou mega-lente mapeável na escala 1:50.000. Em geral, os anfíbolitos parecem estar estruturalmente concordantes com a trama geral da encaixante. Esses anfíbolitos possuem granulometria fina a média e cor cinza escuro. Bolsões de quartzo com prismas de anfíbolio de até 1,5 cm de comprimento tem ocorrência restrita. A foliação do anfíbolito está por vezes ondulada. Em lâmina delgada, esses anfíbolitos exibem mirmequita e abundantes titanitas idioblásticas, além de epidotos relacionados aos grãos de

hornblenda.

GEOQUÍMICA

As análises químicas aqui apresentadas (Tabela 1) foram efetuadas na GEOLAB-GEOSOL, sendo que Si, Al, Fe total, Mg, Ca, Ti, P, Ni, Co, Cr, Ba, Rb, Sr, Nb, Zr e Y foram dosados por fluorescência de raios-X; Na, K e Mn, por espectrometria de absorção atômica; CO₂, por via úmida; FeO, por volumetria; H₂O, pelo método Penfield; e F e S, pela técnica de eletrodo de íon específico. Os elementos Terras Raras (REE) foram dosados pelo método de espectrometria de plasma (ICP) (Dutra, 1984). A localização dos pontos de coleta de amostras é indicada na Figura 1.

Cabe salientar que o número restrito de análises aqui apresentado é consequência da dificuldade de se coletar amostras frescas na região em estudo. Contudo, as composições obtidas são bastante consistentes e coerentes e permitem tecer considerações sobre as características geoquímicas dos anfíbolitos e suas implicações genético-evolutivas.

Com base em critérios químicos (e.g., Leake, 1964; Gokhale & Gothe, 1978; Peggion & Figueiredo, 1991), pode-se evidenciar que os anfíbolitos são orto derivados. Além disso, a coerência geoquímica dos diversos agrupamentos de metabásicas encontrada indica que não devem ter havido modificações químicas significativas durante o metamorfismo, o que é reforçado pelos critérios de avaliação de alterações (e.g., Irvine & Baragar, 1971; Beswick & Soucie, 1978; Condie, 1985). Com base nesses critérios, umas poucas amostras parecem ter sofrido remobilizações de alguns elementos e podem ser consideradas como "alteradas". Por exemplo, a amostra AIII-1B apresenta H₂O + CO₂ maior que 2,5% e as amostras AI-7B, AI-6A e AIII-1B afastam-se um pouco do "trend" das rochas ígneas no diagrama log CaO/K₂O-log Al₂O₃/K₂O de Beswick & Soucie (op. cit.). Estas três últimas amostras que, como veremos adiante, têm características geoquímicas de basaltos continentais, apresentam teores mais baixos de potássio do que os esperados para esse tipo litológico, sugerindo que o mesmo deva ter sido parcialmente removido durante o metamorfismo. O Na₂O que, com exceção das amostras AI-7B e AI-6A, apresenta teores mais baixos que os tipicamente encontrados (2 a

3%) em rochas basálticas, também pode ter sido preferencialmente removido. Os teores de Rb são baixos e relativamente uniformes para os diferentes tipos de anfibolitos analisados, o que sugere que também possam ter sido empobrecidos durante o metamorfismo. O Ba apresenta, em geral, valores baixos, com uma amostra (AI-7B) com teor muito elevado. O Sr pode ter sido remobilizado na amostra AIII-1B, pois seu teor é muito inferior ao das amostras do seu agrupamento químico. Contudo, a provável remobilização de elementos incompatíveis de raio iônico grande (LILE) não prejudica a caracterização dos diferentes tipos de anfibolitos aqui estudados, nem a discussão sobre os ambientes de formação de seus protolitos, devido ao fato de serem baseadas em elementos relativamente imóveis, como Zr, Ti, Nb, Y e P (e.g., Winchester & Floyd, 1977), além de REE, para os quais não encontramos, normalmente, evidências de remobilizações.

Geoquimicamente, pode-se subdividir as amostras analisadas em quatro agrupamentos distintos que, em geral, correspondem às subdivisões do mapeamento geológico, com exceção dos anfibolitos de alto-Ti que ocorrem nas três unidades do Grupo Andrelândia, embora mais caracteristicamente na Unidade AI (unidade inferior).

Todos os anfibolitos estudados correspondem a composições de basaltos toleíticos.

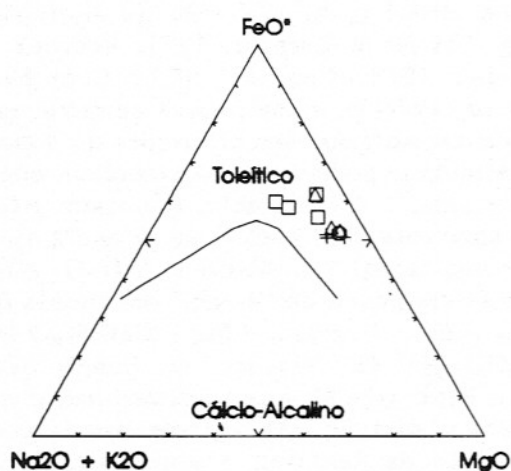


Figura 2 - Diagrama AFM, com a linha divisória de Irvine & Baragar (1971), para os anfibolitos do Grupo São João del Rei (círculos) e das unidades inferior (AI) e amostras AII-11A e AIII-1B (quadrados), média (AII) (triângulos) e superior (AIII) (cruzes) do Grupo Andrelândia.

cos (Figs. 2 e 3), sendo que os anfibolitos de alto-Ti (AI-6A, AI-7B, AII-11A e AIII-1B) são também muito mais ricos em Fe, P, Sr, Zr, Nb e REE leves (LREE), destacando a afinidade toleítica. As demais amostras, tanto do Grupo São João del Rei quanto das unidades AII e AIII do Grupo Andrelândia, são mais pobres naqueles elementos relativamente enriquecidos nos anfibolitos de alto-Ti e mais enriquecidos em Mg, Ca e Cr e, portanto, com características mais semelhantes às de toleitos de baixo-K ou basaltos de cadeia meso-oceânica (MORB). A utilização, aqui, de uma nomenclatura de rochas vulcânicas não implica necessariamente em que os anfibolitos em estudo correspondam a derrames, pelo menos alguns, podendo representar diques ou soleiras (*sills*).

No diagrama Ti-Cr (Fig. 4), os anfibolitos do Grupo São João del Rei são caracterizados como toleitos de baixo-K, enquanto os anfibolitos de baixo-Ti das unidades AII e AIII do Grupo Andrelândia teriam composições mais típicas de basaltos de fundo oceânico (Pearce, 1975).

Os anfibolitos de alto-Ti, devido ao seu enriquecimento em Fe, Ti, LREE e elementos de alto campo de força (HFS), como Zr e Nb, têm composições típicas de basaltos intra-placa e são semelhantes aos basaltos de alto-Ti da região norte da Bacia do Paraná (e.g., Peate et al., 1988; Piccirillo et al., 1988; Marques et al., 1989). Em outras regiões do Grupo Andrelândia, também ocorrem anfibolitos com caracte-

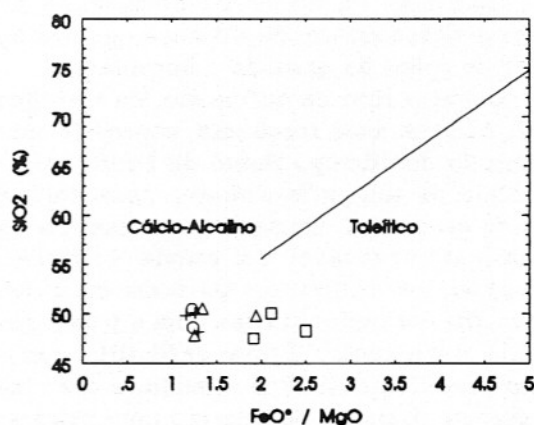


Figura 3 - Diagrama sílica versus a razão ferro/magnésio, com os campos discriminados por Miyashiro (1974), para os anfibolitos dos grupos São João del Rei e Andrelândia. Mesma simbologia da Figura 2.

rísticas geoquímicas muito semelhantes às dos derrames basálticos da Bacia do Paraná (Paciullo, 1992; Valeriano, comunicação oral).

No diagrama Zr versus a razão Zr/Y (Pearce & Norry, 1979), os anfíbolitos de alto-Ti plotam no campo dos basaltos intra-placa, enquanto os demais situam-se no campo dos basaltos de cadeia meso-oceânica ou em suas proximidades (Fig. 5).

Meschede (1986) apresentou um diagrama discriminante, separando basaltos intra-placa (toleíticos e alcalinos) de basaltos de arcos vulcânicos e de basaltos de fundo oceânico normais (os N-MORB empobrecidos em LREE e LILE) e enriquecidos (P-MORB ou E-MORB). Os anfíbolitos de alto-Ti distribuem-se (Fig. 6), como esperado, no campo dos basaltos intra-placa, mas os outros anfíbolitos estudados não parecem estar devidamente caracterizados. Isso provavelmente se deve a um exagero nas determinações de Nb para valores não muito maiores que o limite de detecção (20 ppm). De qualquer modo, apresentamos, aqui (Tabela 1), os teores de Nb, pois, apesar de poderem estar exagerados, apresentam uma variação sistemática, com teores mais elevados nos anfíbolitos de alto-Ti, intermediários na Unidade AII e mais baixos nos anfíbolitos da Unidade AIII (superior), do Grupo Andrelândia.

Mullen (1983) sugeriu um diagrama discriminante triangular, utilizando elementos menores (Fig. 7), no qual os anfíbolitos em investigação também se subdivi-

dem: os anfíbolitos de alto-Ti do Grupo Andrelândia caem no campo dos basaltos intra-placa, os da unidade superior do Grupo Andrelândia distribuem-se no campo de basaltos MORB, enquanto os da unidade média do Grupo Andrelândia e os do Grupo São João del Rei (que, como veremos adiante, podem corresponder a E-MORB) localizam-se no campo de toleíticos de arcos insulares imaturos.

A distribuição de REE dos anfíbolitos do Grupo São João del Rei (Fig. 8) apresenta padrões sub-horizontais de Terras Raras Pesadas (HREE), por volta de 10 vezes condrito, e pequenos enriquecimentos de Terras Raras Leves (LREE), podendo representar basaltos de arcos insulares imaturos ou basaltos E-MORB. A amostra SJ-8F mostra pronunciado enriquecimento em LREE e forte anomalia negativa de Ce, mas é possível que essas características sejam devidas a problemas analíticos, considerando-se a excelente comparação de todos os demais elementos entre essa amostra e a SJ-8C. O fato da amostra SJ-8F ser levemente mais enriquecida em HREE, Y, Zr, Nb, P, Ti e Fe que a SJ-8C sugere que ela seja um pouco mais diferenciada, talvez por um grau pouco menor de fusão parcial da mesma área-fonte no manto.

Na Unidade AI do Grupo Andrelândia, os anfíbolitos analisados (de alto-Ti) mostram padrões de REE muito fracionados e enriquecidos em LREE (Fig. 9), típicos de basaltos intra-placa e semelhantes aos dos

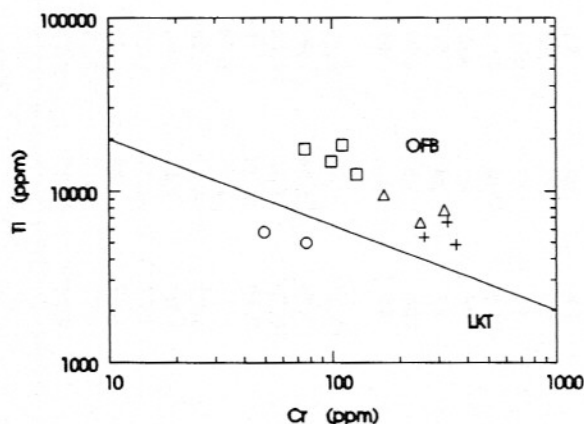


Figura 4 - Diagrama Cr-Ti, com os campos de toleíticos de baixo-K (LKT) e basaltos de fundo oceânico (OFB) (Pearce, 1975), para os anfíbolitos dos grupos São João del Rei e Andrelândia. Mesma simbologia da Figura 2.

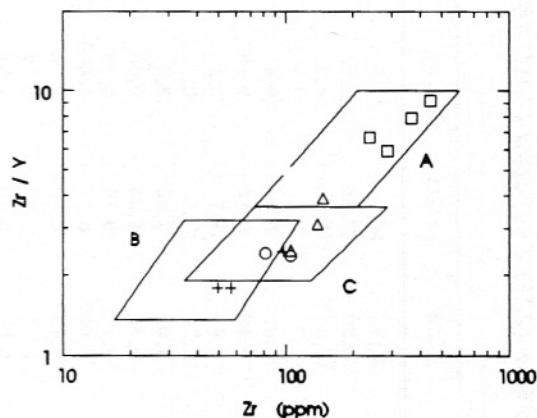


Figura 5 - Diagrama discriminante Zr-Zr/Y (Pearce & Norry, 1979) para os anfíbolitos dos grupos São João del Rei e Andrelândia. Mesma simbologia da Figura 2. Campos: A - basaltos intra-placa; B - basaltos de arcos insulares; C - basaltos de cadeia meso-oceânica.

Tabela 1 – Análises químicas de elementos maiores (% peso) e traço (ppm) de anfibólitos do Grupo São João del Rei (SJ) e unidades inferior (AI), média (AII) e superior (AIII) do Grupo Andrelândia.

	SJ-8F	SJ-8C	AI-7B	AI-6A	AII-321	AII-10P	AII-9C	AII-11A	AIII-3C	AIII-2B	AIII-3A	AIII-1B
SiO ₂	48,3	50,4	47,9	49,9	47,5	49,4	50,1	43,9	48,1	49,7	50,0	46,1
TiO ₂	0,96	0,83	2,9	3,1	1,3	1,6	1,1	2,4	1,1	0,80	0,89	2,0
Al ₂ O ₃	15,0	15,1	14,7	14,0	15,8	14,8	15,7	14,9	14,6	15,5	14,2	15,6
Fe ₂ O ₃	1,7	1,5	4,8	3,8	1,8	2,1	2,0	4,9	3,5	1,8	3,2	3,5
FeO	9,6	8,7	9,4	9,6	8,8	11,2	8,3	8,4	7,8	8,0	7,5	10,9
MnO	0,18	0,16	0,18	0,18	0,17	0,20	0,14	0,19	0,17	0,17	0,16	0,20
MgO	9,0	8,2	5,5	6,1	8,3	6,7	7,5	8,1	8,4	8,3	8,2	7,3
CaO	12,2	12,8	8,5	8,6	13,6	10,8	12,1	12,3	13,2	13,5	12,8	8,7
Na ₂ O	1,0	0,92	3,3	2,9	0,74	0,89	0,80	1,6	1,7	0,69	1,6	1,0
K ₂ O	0,39	0,26	0,45	0,24	0,38	0,47	0,54	0,45	0,32	0,38	0,39	0,47
P ₂ O ₅	0,17	0,14	0,65	0,43	0,17	0,20	0,14	0,23	0,18	0,13	0,15	0,34
S	0,069	0,11	0,069	0,040	0,058	0,30	0,026	0,021	0,022	0,026	0,020	0,030
F	0,033	0,033	0,069	0,045	0,074	0,074	0,038	0,065	0,015	0,025	0,021	0,037
CO ₂	0,35	0,20	0,35	0,20	0,20	0,50	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
H ₂ O ⁺	0,81	0,60	1,04	0,78	0,99	0,77	1,32	2,16	0,67	0,71	0,63	3,58
Total	99,77	99,97	100,02	99,95	99,89	100,01	100,01	99,83	99,98	99,93	99,97	99,97
Ni	114	92	160	106	184	100	130	146	160	176	160	72
Co	62	54	58	52	66	54	58	66	52	54	47	58
Cr	50	77	76	112	320	172	250	100	330	360	260	130
Ba	57	110	1860	300	90	33	85	160	50	23	55	130
Rb	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Sr	96	97	400	410	210	46	89	310	64	70	67	39
Nb	42	24	74	71	42	< 20	24	58	< 20	31	< 20	48
Zr	106	82	450	370	148	140	106	240	98	50	57	290
Y	45	34	49	47	38	45	43	36	40	28	32	49
La	17,47	5,59	14,29	28,37	6,11	6,06	9,85	24,44	3,79	2,33	2,66	10,62
Ce	17,93	13,34	37,97	66,19	16,37	13,33	17,75	55,61	11,81	7,99	7,39	24,00
Nd	18,53	8,36	19,84	36,29	12,34	10,87	16,86	29,79	10,53	7,20	7,13	14,40
Sm	4,10	2,28	5,15	7,45	3,17	3,11	4,81	6,13	3,40	2,27	2,36	3,26
Eu	1,11	0,73	1,78	2,31	1,00	1,02	1,44	1,98	1,05	0,70	0,84	1,09
Gd	3,53	2,37	5,28	6,05	3,05	3,39	4,87	4,98	3,58	2,30	2,76	3,10
Dy	4,09	3,17	5,57	5,38	3,11	3,95	5,66	4,67	4,82	2,97	3,82	3,58
Ho	1,00	0,77	1,20	1,11	0,73	0,91	1,33	0,93	1,16	0,75	0,93	0,83
Er	2,87	2,28	3,03	2,77	2,01	2,52	3,76	2,42	3,25	2,23	2,56	2,22
Yb	2,70	2,18	2,44	2,35	1,82	2,33	3,33	1,92	3,13	2,06	2,66	2,21
Lu	0,34	0,27	0,28	0,28	0,28	0,30	0,42	0,23	0,41	0,26	0,34	0,27

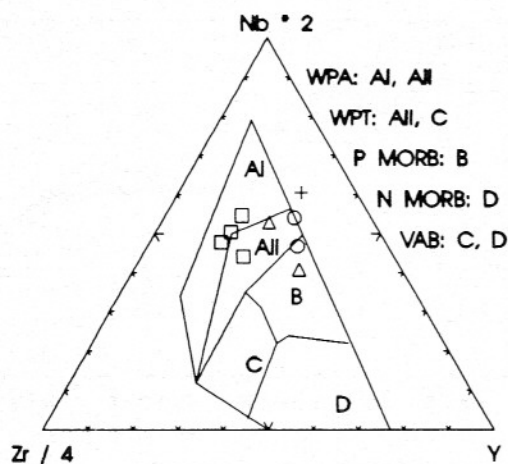


Figura 6 - Diagrama discriminante triangular $Zr/4-2Nb-Y$ (Meschede, 1986), com os campos de basaltos intra-placa alcalinos (WPA), intra-placa toleíticos (WPT), basaltos de cadeia meso-oceânica enriquecidos (P-MORB) e normais (N-MORB) e basaltos de arcos vulcânicos (VAB), para os anfibolitos dos grupos São João del Rei e Andrelândia. Mesma simbologia da Figura 2.

basaltos continentais da Bacia do Paraná (e.g., Peate et al., 1988; Piccirillo et al., 1988; Marques et al., 1989). Duas outras amostras, uma da Unidade AII e outra da AIII, são praticamente idênticas a estas da Unidade AI, tanto em termos de REE (Fig. 9), quanto dos demais elementos analisados, sugerindo que o vulcanismo intra-placa, de características continentais, que marca o início da abertura da bacia Andrelândia, continuaria a ocorrer, embora subordinadamente, nos níveis superiores da pilha sedimentar, possivelmente como diques ou sills.

Os padrões de REE dos anfibolitos da Unidade AII do Grupo Andrelândia (Fig. 10) são moderadamente fracionados e enriquecidos em LREE. Desse modo, são mais parecidos aos padrões de distribuição típicos de basaltos E-MORB (e.g. Sun & McDonough, 1989) do que os de basaltos toleíticos de baixo-K de arcos insulares imaturos (IAB), que geralmente apresentam padrões sub-horizontais (e.g., Condie, 1989). A tendência a crescimento dos teores de REE totais com a diferenciação (e.g., teores crescentes de Zr e Si) sugerem que cristalização fracionada possa ter ocorrido.

A Unidade AIII, considerada como o nível estratigráfico mais superior do Grupo Andrelândia na região de Santana do Garambéu, é caracterizada por anfibolitos com

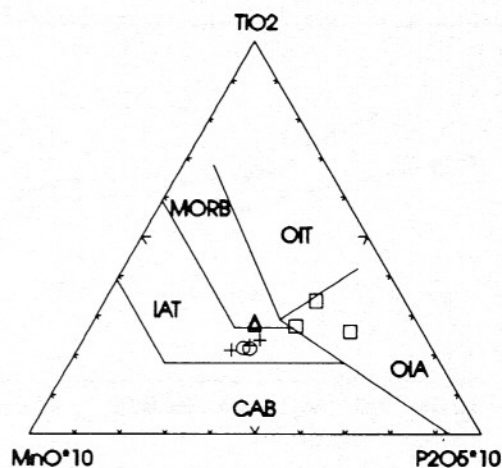


Figura 7 - Diagrama discriminante triangular $10MnO-TiO_2-10P_2O_5$ (Mullen, 1983), com os campos de basaltos cálcio-alcalinos (CAB), toleíticos de arcos insulares (IAT), basaltos de cadeia meso-oceânica (MORB), toleíticos de ilhas oceânicas (OIT) e basaltos alcalinos de linhas oceânicas (OIA), para os anfibolitos dos grupos São João del Rei e Andrelândia. Mesma simbologia da Figura 2.

composições químicas típicas de basaltos N-MORB, como demonstrado pela distribuição de REE (Fig. 11), com padrões sub-horizontais de HREE, por volta de 10 vezes condrito, e empobrecimentos de LREE (e.g., Condie, 1989; Sun & McDonough, 1989).

Os padrões de distribuição de elementos incompatíveis (Fig. 12), normalizados pelo N-MORB (Pearce, 1982, 1983) reforçam as características geoquímicas delineadas acima: os anfibolitos de alto-Ti apresentam padrões em forma de corcova, típicos de basaltos intra-placa (basaltos continentais); os anfibolitos de baixo-Ti da unidade superior (AIII) do Grupo Andrelândia são os que apresentam os padrões mais sub-horizontais (N-MORB); enquanto que os anfibolitos da unidade intermediária (AII) distribuem-se entre os padrões dos "basaltos continentais" e "N-MORB", podendo corresponder a típicos E-MORB; os anfibolitos do Grupo São João del Rei podem também corresponder a basaltos E-MORB ou, como sugerido pela relação entre Cr e Ti, a toleíticos de baixo-K (LKT) de arcos insulares imaturos.

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Na região de Santana do Garambéu,

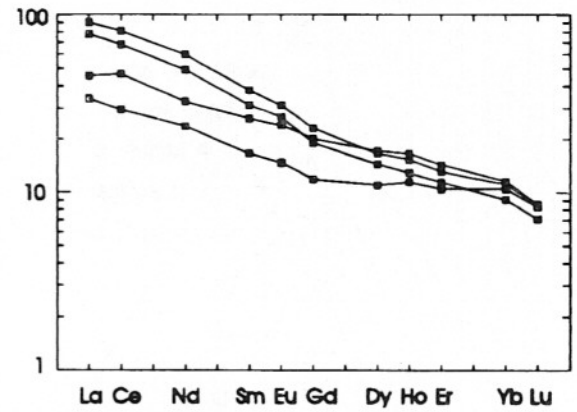
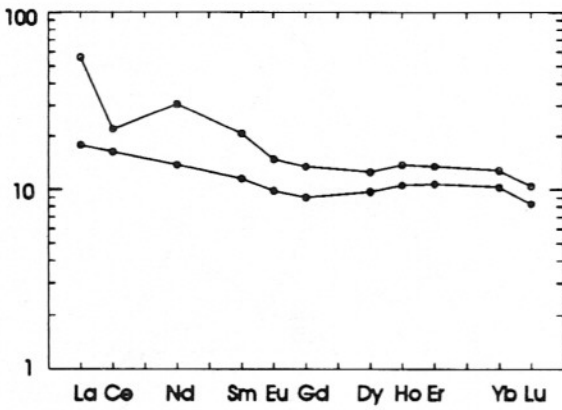


Figura 8 - Padrões de distribuição de Terras Raras, normalizados por condrito (Boynton, 1984), para os anfibolitos do Grupo São João del Rei. Simbologia: SJ-8C (círculos cheios) e SJ-8F (círculos vazados).

Figura 9 - Padrões de distribuição de Terras Raras, normalizados por condrito (Boynton, 1984), para os anfibolitos de alto-Ti da unidade inferior (AI) (quadrados cheios), da amostra AII-11A da unidade média (quadrados meio cheios) e da amostra AIII-1B da unidade superior (quadrados vazados) do Grupo Andrelândia.

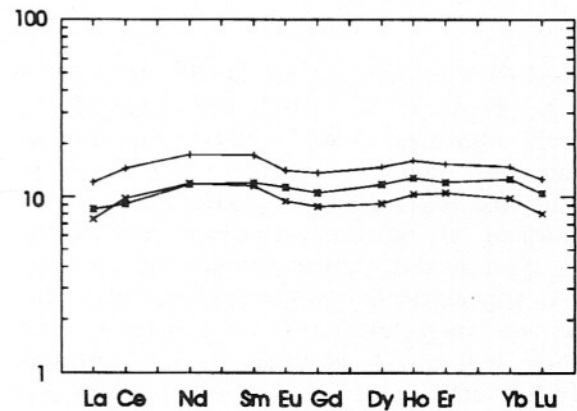
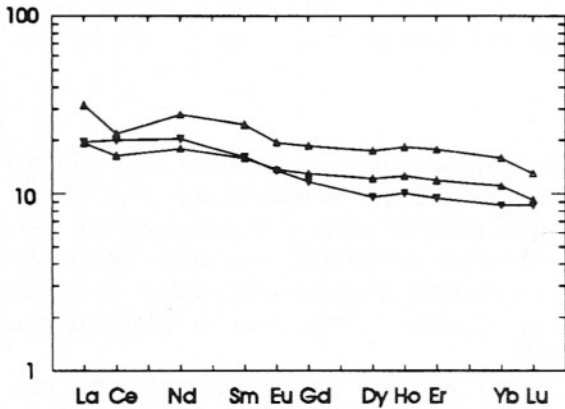


Figura 10 - Padrões de distribuição de Terras Raras, normalizados por condrito (Boynton, 1984), para os anfibolitos da unidade média (AII) do Grupo Andrelândia. Simbologia: amostras AII-9C (triângulos vazados), AII-10D (triângulos cheios) e AII-321 (triângulos invertidos cheios).

Figura 11 - Padrões de distribuição de Terras Raras, normalizados por condrito (Boynton, 1984), para os anfibolitos da unidade superior (AIII) do Grupo Andrelândia. Simbologia: amostras AIII-2B (x), AIII-3A (asteriscos) e AIII-3C (cruzes).

no sul do Estado de Minas Gerais, o Grupo Andrelândia cavalga o Grupo São João del Rei e o embasamento, e pode ser subdividido em três unidades (AI, AII e AIII), que, provavelmente, têm conotações estratigráficas.

Os anfibolitos que ocorrem na Unidade de AI, basal, do Grupo Andrelândia, são, caracteristicamente, do tipo basaltos continentais de alto-Ti. Os anfibolitos da Unidade AII (intermediária) exibem composições químicas semelhantes às dos basaltos

do tipo E-MORB. Na unidade de topo (AIII), ocorrem basaltos N-MORB típicos. Anfibolitos de alto-Ti (basaltos continentais) continuam a ocorrer, de forma subordinada, nos níveis intermediários e superiores (unidades AII e AIII) do Grupo Andrelândia.

Os anfibolitos do Grupo São João del Rei mostram algumas semelhanças químicas com os da Unidade AII do Grupo Andrelândia, sugerindo que também podem representar basaltos E-MORB, mas com teores

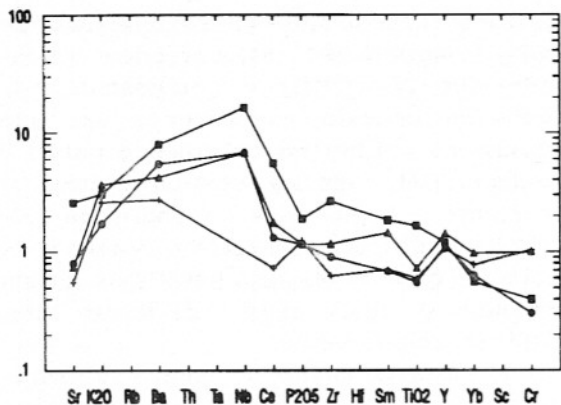


Figura 12 - Aranhograma de elementos incompatíveis, normalizados por N-MORB (Pearce, 1982), para amostras típicas dos anfibólitos do Grupo São João del Rei (círculos) e anfibólitos de alto-Ti da unidade inferior (quadrados) e de baixo-Ti da unidade média (triângulos) e superior (cruzes) do Grupo Andrelândia.

um pouco mais baixos de Ti e Cr, o que permitiria, alternativamente, supor que correspondem a toleitos de baixo-K (LKT) de arcos insulares imaturos.

Nos derrames basálticos cretáceos da Bacia do Paraná (e.g., Marques et al., 1989), ocorrem basaltos continentais de alto e baixo Ti, além de umas poucas amostras com padrões subhorizontais de distribuição de REE e razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ iniciais (R_i) abaixo de 0,706. Essas amostras foram também consideradas como basaltos continentais, diferindo de N-MORB por razões La/Yb algo mais elevadas, R_i mais altas e teores mais elevados de LILE como Rb, Ba e Sr. Marques et al. (op. cit.) sugeriram que a geração destes distintos tipos de basaltos é proveniente de fontes no manto composicionalmente diferentes.

Fodor & Vetter (1984), estudando os basaltos das bacias da margem continental sudeste brasileira, encontraram evidências de transição entre composições de basaltos continentais e MORB, que foram interpretadas como derivadas da mudança da litosfera continental para oceânica durante a abertura do Oceano Atlântico Sul. Particularmente comparável ao quimismo dos anfibólitos Andrelândia, foi aquele encontrado em dois furos de sondagem na Bacia do Espírito Santo, onde foram observadas, em três amostras, composições típicas de basaltos continentais de alto-Ti, semelhantes aos da parte norte da Bacia do Paraná, cin-

co amostras de MORB transicional (T-MORB) e uma única amostra sugestiva de N-MORB.

Dados geoquímicos e isotópicos (Mizusaki et al., 1992) indicariam que não teria havido uma participação significativa do componente N-MORB na gênese dos basaltos (de baixo-Ti) da Bacia de Campos e, por conseguinte, para rochas semelhantes da Bacia do Paraná, que estariam relacionados com a litosfera subcontinental e um componente DUPAL, tal como Tristão da Cunha. Contudo, a geração das rochas com padrões de distribuição de REE subhorizontais, a partir de tal área-fonte muito enriquecida, não é muito evidente.

Ellam & Cox (1991) sugeriram que basaltos picríticos continentais do Karoo, de alto e baixo-Ti, teriam sido formados pela interação de magmas astenosféricos, que, apesar de sua derivação provável em uma pluma, é identificado como tendo composição de MORB, com proporções variáveis de componentes de manto litosférico.

Essas discussões permitem observar que um magmatismo semelhante, em geral, ao de Andrelândia pode ser encontrado tanto em bacias intracontinentais quanto em bacias que desenvolveram crosta oceânica. Desse modo, para melhor caracterizar a possível participação astenosférica no magmatismo Andrelândia serão necessárias análises adicionais, como valores mais confiáveis de Nb e estudos isotópicos.

Grande parte dos pesquisadores que têm investigado o Ciclo Depositional Andrelândia (e.g., Ribeiro et al., 1990; Paciullo, 1992; C.M. Valeriano, comunicação pessoal, 1992) consideram-no como de caráter intracontinental e que o magmatismo básico nele presente corresponderia a um regime tectônico extensional. Apesar de concordarmos com o regime essencialmente extensional do magmatismo, cremos ser possível que a bacia Andrelândia tenha aberto o suficiente para permitir a participação de manto astenosférico. Essa crença é baseada na presença, na unidade superior desse ciclo deposicional, de composições típicas de N-MORB. Cabe salientar que, pelo empobrecimento progressivo nas REE mais leves e teores mais baixos de LILE, como Rb e Sr, essas rochas assemelham-se mais aos N-MORB que as rochas com padrões de distribuição de REE subhorizontais encontradas nas bacias costeiras da margem sudeste do Brasil (Fodor & Vetter,

1984; Mizusaki et al., 1992) e na Bacia do Paraná (e.g., Marques et al., 1989).

Além disso, o caráter intracontinental da bacia Andrelândia seria caracterizado (e.g., Ribeiro et al., op. cit.) pela ocorrência de seqüências plataformais, mistas e continentais, sempre apoiadas sobre embasamento siálico e o não reconhecimento de ofiolitos. Consideramos natural a presença de embasamento siálico nas porções autóctones do Grupo Andrelândia, que tem referencial paleogeográfico imediato com o Cráton do São Francisco, mas para as porções alóctones, como a aqui estudada, nas quais se deveria investigar a possível presença de evidências de fundo oceânico, o contato com embasamento siálico se dá através de zonas de cavalgamento e não seria impedimento para a possível presença de um fundo oceânico.

Portanto, os dados preliminares aqui apresentados sugerem a seguinte evolução na abertura da bacia Andrelândia, na região de Santana do Garambéu: um estágio inicial de fendilhamento (*rifting*), marcado na Unidade AI, está caracterizado por basaltos continentais de alto-Ti, que devem ter sido derivados de fusão parcial de manto litosférico subcontinental enriquecido; um estágio intermediário (Unidade AII), demonstrado pelos anfibolitos com afinidade a basaltos E-MORB, seria derivado de magmas

basálticos com mistura de componentes de manto empobrecido astenosférico (área-fonte dos N-MORB) e componentes de manto enriquecido, semelhantes aos que geraram os anfibolitos da unidade basal; a Unidade AIII, superior, com anfibolitos tipicamente comparáveis a basaltos N-MORB, significaria um estágio oceânico da bacia, no qual os magmas basálticos seriam derivados de fusão parcial de manto astenosférico empobrecido.

O enriquecimento do manto subcontinental em LILE, sugerido pela presença dos anfibolitos de alto-Ti da unidade basal do Grupo Andrelândia, poderia ter sido ocasionado por um episódio prévio de subducção, como tem sido sugerido para algumas províncias de basaltos continentais (e.g., Pegram, 1990; Kempton et al., 1991).

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi efetuada com apoio financeiro do CNPq. No tratamento dos dados geoquímicos, foi utilizado o programa NEWPET de Daryl Clarke. O texto foi substancialmente melhorado graças às sugestões de dois relatores anônimos e por discussões com colegas, como André Ribeiro, Fábio Paciullo e Paulo Cesar Soares, durante o 37º Congresso Brasileiro de Geologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BESWICK, A.E. & SOUCIE, G. (1978) A correction procedure for metasomatism in an Archean greenstone belt. *Precambrian Res.*, **6**: 235-248.
- BOYNTON, W.V. (1984) Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: P. Henderson (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 63-114.
- CONDIE, K.C. (1985) Secular variation in the composition of basalts: an index to mantle evolution. *J. Petrol.*, **26**(3): 545-563.
- CONDIE, K.C. (1989) *Plate Tectonics and Crustal Evolution*. 3rd ed., Pergamon Press, 476p.
- DUTRA, C.V. (1984) Método para a determinação de traços e sub-traços de Terras Raras em rochas por espectrometria de plasma (ICP) - aplicação em petrogênese. 33º Congr. Bras. Geol., Rio de Janeiro, Anais, **10**: 4792-4805.
- EBERT, H. (1956a) Resumo dos resultados obtidos no ano de 1955 no sul de Minas. *Rel. An. Dir., DGM/DNPM*, Rio de Janeiro, pp. 62-81.
- EBERT, H. (1956b) A tectônica do sul do Estado de Minas Gerais e regiões adjacentes. *Rel. An. Dir., DGM/DNPM*, Rio de Janeiro, pp. 97-107.
- EBERT, H. (1968) Ocorrência de fácies granulíticas no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica - hipótese sobre a sua origem. *An. Acad. brasil. Ci.*, **40**: 215-229.
- ELLAM, R.M. & COX, K.G. (1991) An interpretation of Karoo picrite basalts in terms of interaction between asthenospheric magmas and the mantle lithosphere. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **105**(1-3): 330-342.
- FODOR, R.V. & VETTER, S.K. (1984) Rift-zone magmatism: petrology of basaltic rocks transitional from CFB to MORB, southeastern Brazil margin. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **88**: 307-321.

- GOKHALE, N.W. & GOTHE, N.N. (1978) Chemical distinction of amphibolites. *J. Geol. Soc. India*, **19**: 376-379.
- GONÇALVES, M.L. (1987) Geologia da área de Santana do Garambéu, sul de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado (inédita), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 176p.
- IRVINE, T.B. & BARAGAR, W.R.A. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, **8**: 523-548.
- KEMPTON, P.D.; FITTON, J.G.; HAWKESWORTH, C.J.; ORMEROD, D.S. (1991) Isotopic and trace element constraints on the composition and evolution of the lithosphere beneath the Southwestern United States. *J. Geophys. Res.*, **96**(B8): 13713-13735.
- LEAKE, B.E. (1964) The chemical distinction between ortho- and para-amphibolites. *J. Petrol.*, **5**(2): 238-254.
- MARQUES, L.S.; PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G. (1989) Distribuição de Terras Raras e outros elementos traços em basaltos da Bacia do Paraná (Brasil Meridional). *Geochim. Brasil.*, **3**(1): 33-50.
- MESCHEDE, M. (1986) A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with a Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, **56**: 207-218.
- MIYASHIRO, A. (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Am. J. Sci.*, **274**: 321-355.
- MIZUSAKI, A.M.P.; PETRINI, R.; BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DIAS, J.; DE MIN, A.; PICCIRILLO, E.M. (1992) Basalt magmatism along the passive continental margin of SE Brazil (Campos basin). *Contrib. Mineral. Petrol.*, **111**: 143-160.
- MULLEN, E.D. (1983) MnO-TiO₂-P₂O₅: a minor element discrimination for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **62**: 53-62.
- PACIULLO, F.V.P. (1992) Orto-anfibolitos no Ciclo Depositional Andrelândia - assinatura química e ambiente tectônico. 37º Congr. Bras. Geol., São Paulo, *Bol. Res. Exp.*, **2**: 28-29.
- PEARCE, J.A. (1975) Basalt geochemistry used to investigate past tectonic settings on Cyprus. *Tectonophysics*, **25**: 41-67.
- PEARCE, J.A. (1982) Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: R.S. Thorpe (Ed.), *Andesites*. John Wiley & Sons, pp. 525-548.
- PEARCE, J.A. (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: C.J. Hawkesworth & M.J. Norry (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, pp. 230-249.
- PEARCE, J.A. & NORRY, M.J. (1979) Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **69**: 33-47.
- PEATE, D.W.; MANTOVANI, M.S.M.; HAWKESWORTH, C.J. (1988) Geochemical stratigraphy of the Paraná continental flood basalts: borehole evidence. *Rev. Bras. Geoc.*, **18**(2): 212-221.
- PEGRAM, W.J. (1990) Development of continental lithospheric mantle as reflected in the chemistry of the Mesozoic Appalachian Tholeiites, USA. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **97**: 316-331.
- PELOGGIA, A.U.G. & FIGUEIREDO, M.C.H. (1991) Utilização de diagrama Ferro-Titânio na distinção química entre orto- e para-anfibolitos. *Bol. IG/USP, Sér. Cient.*, **22**: 51-60.
- PICCIRILLO, E.M.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MELFI, A.J.; STOLFA, D.; BELLINI, G.; MARQUES, L.S.; GIARETTA, A.; NARDY, A.J.R.; PINESE, J.P.P.; RAPOSO, M.I.B.; ROISENBERG, A. (1988) Petrochemistry of continental flood basalt-rhyolite suites and related intrusives from the Paraná Basin (Brazil). In: E.M. Piccirillo & A.J. Melfi (Eds.), *The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin - Petrogenetic and Geophysical Aspects*. IAG/USP, pp. 107-156.
- RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P.; ANDREIS, R.R.; TROUW, R.A.J.; HEILBRON, M. (1990) Evolução policíclica proterozóica no sul do Cráton de São Francisco: análise da região de São João del Rei e Andrelândia, MG. 36º Congr. Bras. Geol., Natal, *Anais*, **6**: 2605-2614.
- SUN, S.-s. & McDONOUGH, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders & M.J. Norry (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, N° 42, pp. 313-345.
- TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P. (1980) Evolução estrutural e metamórfica de uma área a SE de Lavras, MG. 31º Congr. Bras. Geol., Camboriú, *Anais*, **5**: 2773-2784.
- TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P. (1983) Geologia estrutural dos grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia, sul de Minas Gerais. *An. Acad.*
- SUN, S.-S. & McDONOUGH, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders & M.J. Norry (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, N° 42, pp. 313-345.

- brasil. Ci., 55(1): 71-85.
- TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P.; HEILBRON, M. (1984) Os grupos São João del Rei, Carrancas e Andrelândia interpretados como a continuação dos grupos Araxá e Canastra. 33^o Congr. Bras. Geol., Rio de Janeiro, Anais, 7: 3227-3239.
- TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P.; HEILBRON, M. (1986) Contribuição à geologia da Folha Barbacena. 34^o Congr. Bras. Geol., Goiânia, Anais, 2: 974-986.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A. (1977) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chem. Geol., 20: 325-343.