

# IMPLICAÇÕES GENÉTICAS DAS VARIAÇÕES DE ALGUNS ELEMENTOS-TRAÇO INCOMPATÍVEIS NOS BASALTOS KOMATIÍTICOS DE CRIXÁS, GOIÁS

RAUL M. KUYUMJIAN\* & JOSÉ O. ARAÚJO, F<sup>o\*\*</sup>

**ABSTRACT** VARIATIONS AND GENETIC IMPLICATIONS OF SOME INCOMPATIBLE TRACE ELEMENTS IN THE KOMATIITIC BASALTS OF CRIXÁS, GOIÁS. Trace element (Zr, Y, Sc, Nb, and rare earths) analyses of pillowed komatiitic basalts from the Archean Crixas Greenstone Belt are presented. The samples come from the Rio Vermelho Formation, where mafic volcanics are predominant and overlie the Córrego do Alagadinho Formation, this one characterized by the presence of spinifex-textured peridotitic komatiites. The Crixás komatiitic basalts have low Ti/Zr ratios and low light rare earth element abundances relative to komatiitic basalts from Munro and Barberton, and this probably indicates a source less depleted in these elements in relation to those localities. The non-covariance of light rare earth element with the Ti/Y and Ti/Zr ratios and the variable Ti/Zr and Ti/Y ratios of the Crixas komatiitic basalts probably indicate a heterogeneous mantle source region for those rocks. The results of the present study lead us to suggest hypotheses concerning the origin and evolution of two main concentrations of greenstone belts in Goiás.

*Keywords:* Greenstone belt, geochemistry, komatiitic basalts, Crixás, Goiás, Brasil.

**RESUMO** Neste artigo são apresentadas e discutidas análises químicas de elementos-traço (Zr, Y, Sc, Nb e terras raras) em basaltos komatiíticos almofadados do *greenstone belt* de Crixás. As amostras analisadas são oriundas da Formação Rio Vermelho, a qual é constituída, predominantemente, por vulcanismo basáltico que se sobrepõe à Formação Córrego do Alagadinho, caracterizada pela presença de komatiitos ultramáficos com textura *spinifex*. Em relação aos basaltos komatiíticos de Munro e Barberton, os de Crixás apresentam valores inferiores para a razão Ti/Zr e elementos terras raras leves, o que sugere, para os basaltos komatiíticos de Crixás, uma fonte, provavelmente, menos empobrecida em elementos incompatíveis. A ausência de correlação entre elementos terras raras leves e as razões Ti/Zr e Ti/Y e a variação dos valores destas razões nos basaltos komatiíticos de Crixás sugerem que estas rochas originaram-se de fonte mantélica heterogênea.

*Palavras-chaves:* Greenstone belt, geoquímica, basaltos komatiíticos, Crixás, Goiás, Brasil.

**INTRODUÇÃO** O termo komatiito foi introduzido por Viljoen & Viljoen (1969), quando da identificação das lavas máficas e ultramáficas de Barberton, África do Sul, e sugeriram, para os komatiitos máficos, a seguinte subdivisão: tipo Barberton (10% MgO), tipo Badplaas (15% MgO) e tipo Geluk (20% MgO). De acordo com Brooks & Hart (1974), komatiitos apresentam composição ultramáfica a máfica, com as seguintes características químicas: SiO<sub>2</sub> < 53%, MgO > 9%, K<sub>2</sub>O e TiO<sub>2</sub> < 0,9%, e CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 1%. Segundo Arndt *et al.* (1977), basaltos komatiíticos apresentam teores de MgO inferiores a 12%.

No *greenstone belt* da Faixa Crixás (Fig. 1), rochas ultramáficas komatiíticas, com textura *spinifex*, ocorrem na unidade estratigráfica inferior (Formação Córrego do Alagadinho, Saboia 1979). Lavas basálticas podem ocorrer nesta unidade; porém, nenhum estudo no sentido de individualizá-las foi efetuado até o presente. Rochas basálticas são predominantes na unidade intermediária (Formação Rio Vermelho, Saboia 1979) daquele *greenstone belt* e apresentam estruturas almofadadas e paragênese metamórfica típicas da fácies xisto verde. Segundo Kuyumjian & Dardenne (1982), tais metabasaltos revelam afinidades komatiíticas por apresentarem as seguintes características químicas: CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,9; FeO/(FeO + MgO) < 0,65; TiO<sub>2</sub> = 0,79; TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 10,1; e Ti/V = 20. De acordo com o *Basaltic Volcanism Study Project* (1981), os basaltos primitivos são classificados em basaltos magnesianos (8,5 - 12% MgO),

basaltos (MgO < 8,5%, FeO < 12%) e basaltos enriquecidos em ferro (FeO > 12%). Em relação a esta classificação, os basaltos almofadados de Crixás (7,95-10, 20% MgO) constituem basaltos magnesianos, e, de acordo com a classificação de Viljoen & Viljoen (1969), basaltos komatiíticos do tipo Barberton.

A figura 2 mostra padrões (normalizados a manto primordial) de elementos incompatíveis obtidos por Sun (1987 ou 1979) em basaltos komatiíticos e basaltos ricos em magnésio, ambos os tipos de idade arqueana. Verifica-se, naquela figura, que o padrão dos basaltos komatiíticos de Crixás é semelhante ao de basaltos komatiíticos.

Os basaltos komatiíticos de Crixás apresentam razão Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CaO = 1,03, AhOa/TiO<sub>2</sub> = 17 e, quando normalizados a condrito, mostram padrões empobrecidos em terras raras leves [(La/Eu)<sub>N</sub> = 0,41 - 0,89] e pesados [(Eu/Lu)<sub>N</sub> = 1,02 - 1,35] (Fig. 3), características estas que se assemelham muito mais às de komatiitos não-empobrecidos em alumínio do que as de komatiitos empobrecidos em alumínio. Os padrões das terras raras obtidos farão os basaltos komatiíticos de Crixás serem semelhantes aos de vidro basáltico desprovido de alteração (Menzies *et al.* 1979) e também aos daqueles obtidos por Arndt *et al.* (1989) para os komatiitos peridotíticos com *spinifex* de Crixás. Arndt *et al.* (1989) obtiveram, para os komatiitos ultramáficos de Crixás, idade de 2,766 Ma (Pb-Pb) e de 2,555 Ma (Sm-Nd), o que está de acordo com o fato de que os komatiitos não-empobrecidos em alumínio, de outros ter-

\* Departamento de Geoquímica e Recursos Minerais, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Campus Universitário, Asa Norte, CEP 70910, Brasília, DF, Brasil

\*\* Departamento de Geologia Geral e Aplicada, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Campus Universitário, Asa Norte, CEP 70910, Brasília, DF, Brasil

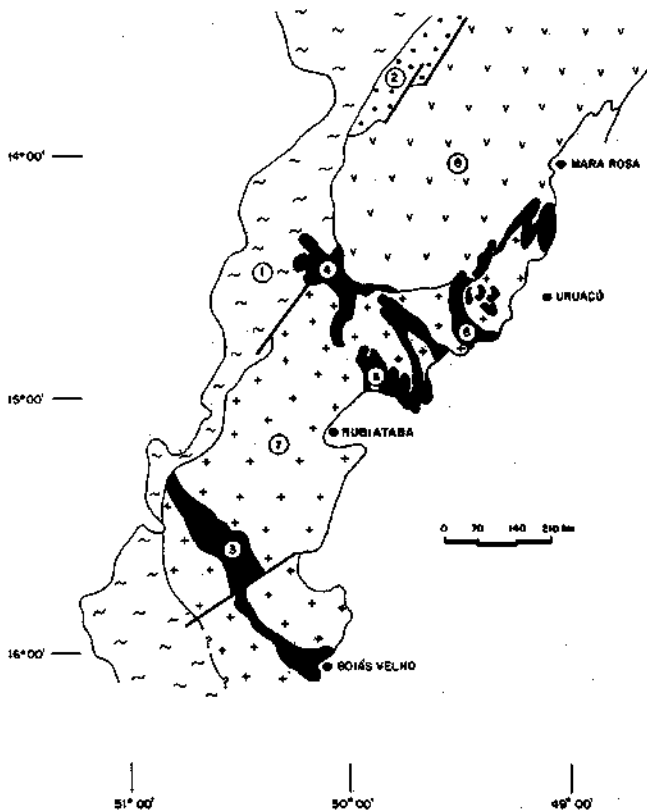


Figura 1 - Mapa de localização dos greenstone belts de Goiás. 1. embasamento gnáissico-granítico-migmatítico; 2. cinturão granulítico de Porangatu; 3. greenstone de Goiás Velho - Faina; 4. greenstone de Crixás; 5. greenstone de Guarinos; 6. greenstone de Pilar de Goiás - Hidrolina; 7. núcleos graníticos-granodioríticos; 8. seqüências vulcano-sedimentares do Brasileiro

Figure 1 - Distribution of the greenstone belts in the State of Goiás. 1. granitic-gneissic-migmatitic basement; 2. Porangatu granulitic belt; 3. Goiás Velho-Faina greenstone belt; 4. Crixás greenstone belt; 5. Guarinos greenstone belt; 6. Pilar de Goiás - Hidrolina greenstone belt; 7. granitic-granodioritic nuclei; 8. Brasileiro volcano-sedimentary sequences

renos *gmnito-greenstone belts* no mundo, foram gerados em fins do Arqueano.

Estudos recentes sobre a mobilidade de elementos terras raras nos basaltos almofadados que afloram ao longo do Rio Vermelho, Crixás (Kuyumjian 1991), permitem concluir que, ao contrário do que sugerem Arndt *et al.* (1989), elementos-traço não foram redistribuídos pelo metamorfismo da fácies xisto verde que afetou aquelas rochas ao ponto de invalidar a utilização dos mesmos para considerações de natureza petrogenética.

Neste trabalho, são apresentados e discutidos resultados analíticos de elementos-traço, dosados nos laboratórios de ICP (Plasma) do Imperial College, Inglaterra, em cinco amostras dos basaltos almofadados de Crixás, aflorantes ao longo do Rio Vermelho.

**PRINCIPAIS DADOS OBTIDOS** Ao contrário dos basaltos toleíticos arqueanos, que, geralmente, apresentam valores não condríticos para as razões Ti/Y, Ti/Zr e Zr/Y, e mostram padrões de distribuição enriquecidos em elementos terras raras leves normalizados a condrito, os basaltos almo-

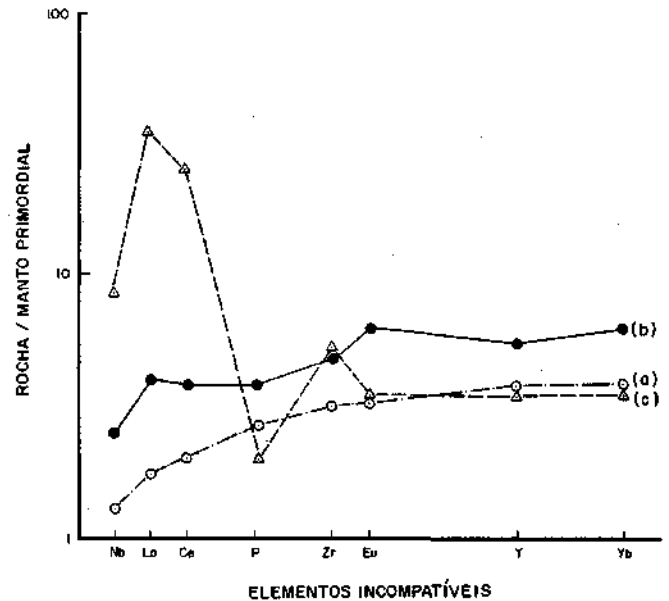


Figura 2 - Padrões de elementos-traço normalizados para manto primordial: a. basaltos komatiíticos arqueanos; b. basaltos komatiíticos de Crixás; c. basaltos arqueanos ricos em magnésia (anomalia negativa de nióbio indica ambiente de subdução). a. e c. obtidos de Sun (1987). Os valores de manto primordial utilizados para a normalização são de Wood (1979)

Figure 2 - Primordial mantle normalized trace elements from a. archaean komatiitic basalts; b. Crixás komatiitic basalts; c. high-magnesium archaean basalts (negative niobium anomaly indicates subduction setting). Normalizing factors from Wood (1979)

fadados de Crixás apresentam, para aquelas razões, e também para Zr/Nb e Zr/Sc, valores, predominantemente, semelhantes aos de condritos (Tab. 1), e padrões de distribuição empobrecidos em elementos terras raras leves (Fig. 3), características estas comuns a basaltos komatiíticos de terrenos arqueanos de outras regiões do mundo. Os dados da tabela 1 referem-se a basaltos komatiíticos com teores de MgO inferiores a 12%, e permitem evidenciar as seguintes relações:

- a. para Ti/Zr: Crixás < Barberton < Munro
- b. para Ti/Y: Crixás > Barberton > Munro
- c. para (La/Sm)<sub>N</sub>: Crixás < Munro < Barberton
- d. para (La/Yb)<sub>N</sub>: Crixás < Munro < Barberton
- e. para (Ce/Sm)<sub>N</sub>: Crixás < Munro < Barberton

Nos sistemas magmáticos máfico-ultramáficos, os elementos titânio, zircônio e ítrio comportam-se como incompatíveis, ou seja, apresentam coeficiente de partição inferior a 1 em relação aos minerais essenciais do manto peridotítico, e, em consequência, concentram-se, preferencialmente, no líquido magmático. Considerando-se que, nos processos magmáticos, a incompatibilidade relativa do zircônio é maior que a do titânio, que, por sua vez, tem incompatibilidade relativa maior que a do ítrio (Sun *et al.* 1979), as razões Ti/Zr e Ti/Y devem refletir o grau de empobrecimento destes elementos na fonte mantélica. Uma fonte menos empobrecida é caracterizada por razões Ti/Zr menos elevadas, e razões Ti/Y mais elevadas. Os basaltos almofadados de Crixás apresentam valores de Ti/Y mais elevados que os dos basaltos komatiíticos de Munro e Barberton, e valores de Ti/Zr inferiores aos destes basaltos (Tab. 1). Portanto, é provável que, em relação aos basaltos komatiíticos de Munro e Barberton, os basaltos komatiíticos de Crixás tenham sido originados a partir de uma fonte menos empobrecida em elementos incompatíveis. A variação dos valores das razões Ti/Zr e Ti/Y pode resultar da fixação do titânio por uma

Tabela 1 - Concentrações e razões de elementos-traço nos basaltos komatiíticos almofadados de Crixás. MgO em peso % e elementos-traço em ppm. Dados analíticos para Munro e Barberton: Nesbitt et al. (1979), Arndt & Nisbet (1982) e Ludden & Gelinas (1982). Condrito: Wanke et al. (1974). MU = Munro; BA = Barberton, CO = Condrito

Table 1 - Average trace element composition of the Crixás komatiitic basalts. MgO and trace element are expressed in weight percentage and ppm, respectively. Munro and Barberton analytical data from Nesbitt et al. (1979). Arndt & Nisbet (1982), Ludden & Gelinas (1982). Condrite data from Wanke et al. (1974). MU - Munro, BA = Barberton, CO = Condrito

	CRIXÁS					MU*	BA*	CO*
MgO	10,20	9,50	8,80	8,20	7,95	7-12	7-12	
Ti	5215	4378	4915	5215	4436	4112	3956	
Zr	50	44	50	49	43			
Y	24	-	20	18	-			
Sc	-	39	-	41	43			
Nb	-	2,5	-	2,3	2,1			
La	2,60	2,53	2,40	2,36	-			
Ce	7,49	6,06	5,35	5,16	-			
Sm	1,72	1,60	2,19	1,96	-			
Eu	0,77	0,61	1,10	1,14	-			
Tb	0,49	0,40	0,87	0,93	-			
Yb	2,01	1,68	3,65	2,87	-			
Lu	0,25	0,22	0,49	0,42	-			
Ti : Zr	104	99	98	106	103	109	104	105
Ti : Y	217	-	245	274	-	229	210	260
Ti : Sc	-	112	-	127	103	90-146	62-95	78
Zr : Y	2,08	-	2,50	2,72	-	2,08	2,4	2,5
Zr : Sc	-	1,13	-	0,83	1,00	1,13	0,86	0,7
Zr : Nb	-	18	-	21	20	23	18	19
(La : Sm) <sub>N</sub>	0,93	0,98	0,67	0,74	-	0,6-1,5	1,1-1,7	1
(Ce : Sm) <sub>N</sub>	1,02	0,88	0,56	0,62	-	0,6-1,2	1,0-1,5	1
(La : Yb) <sub>N</sub>	0,87	1,01	0,44	0,55	-	0,6-1,3	1,4-2,7	1

fase mineral, mas pode também, alternativamente, estar refletindo heterogeneidade do manto.

Nos processos de cristalização fracionada, os elementos terras raras leves (La-Sm) comportam-se como mais incompatíveis que zircônio, titânio e ítrio, e, portanto, apresentam maior sensibilidade aos eventos magmáticos. Para os condritos, os basaltos komatiíticos de Crixás mostram empobrecimento em elementos terras raras leves, o que sugere que tais rochas derivam, provavelmente, de uma fonte previamente afetada por um estágio de fusão, responsável, talvez, pela origem dos komatiíticos ultramáficos de Crixás, o que teria provocado o empobrecimento da fonte, resultando em um manto empobrecido em elementos incompatíveis. Os valores das razões (La/Sm)<sub>N</sub>, (Ce/Sm)<sub>N</sub> e (La/Yb)<sub>N</sub> (Tab. 1) sugerem, no entanto, que em relação aos elementos terras raras leves, os basaltos komatiíticos de Crixás originam-se de fonte mais ou menos empobrecida que a dos basaltos komatiíticos de Munro; porém, mais empobrecida que a dos basaltos komatiíticos de Barberton (Tab. 1), contradizendo, pelo menos em parte, as indicações obtidas a partir das razões Ti/Zr e Ti/Y apresentadas anteriormente.

Se as concentrações de titânio, zircônio e elementos terras raras leves são controladas por processos de cristalização fracionada, a co-variância destes elementos deveria ter ocorrido nos basaltos komatiíticos de Crixás. A ausência de correlação não constitui uma particularidade dos basaltos komatiíticos de Crixás. Ludden & Gelinas (1982) mostraram que, se para os basaltos komatiíticos de Munro, com 4,112 ppm Ti (MgO < 12%), há um leve empobrecimento em terras raras leves, para os basaltos komatiíticos de Barberton, com

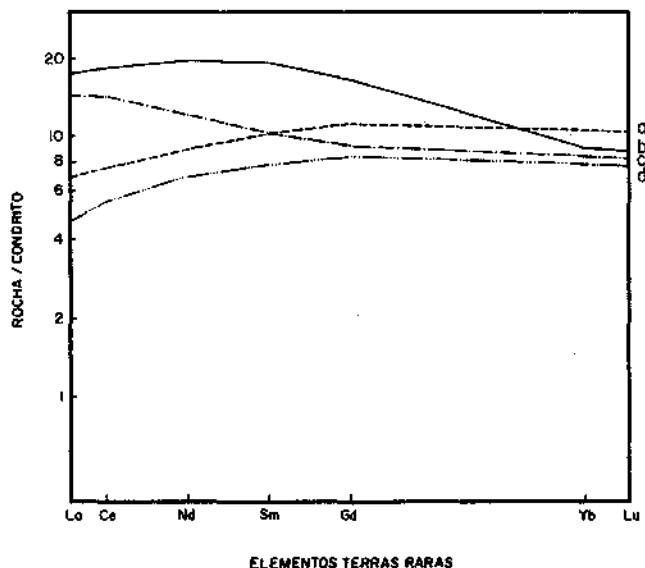


Figura 3 - Padrões de distribuição de elementos terras raras normalizados a condrito em basaltos komatiíticos de a. Crixás, c. Barberton e d. Munro; b. basaltos toleíticos de Munro. Os valores de condrito utilizados para a normalização são de Thompson et al. (1984)

Figure 3 - Rare earth element distribution patterns of komatiitic basalts from a. Crixás, c. Barberton and d. Munro; b. tholeiitic basalts from Munro. Normalizing factors from Thompson et al. (1984)

concentrações comparáveis de MgO e titânio, há um empobrecimento acentuado em terras raras leves. De fato, se as variações dos elementos terras raras leves forem primárias e resultarem de processo de fusão complexa, a ausência de correlação consistente entre os mesmos e, por exemplo, Ti, Zr e Y, é uma possibilidade concreta. Esta inconsistência, que parece existir nos basaltos komatiíticos de Crixás pode, de outra forma, estar refletindo uma natureza heterogênea da fonte mantélica destas rochas.

**CONSIDERAÇÕES FINAIS** Os basaltos almofadados do *greenstone belt* de Crixás apresentam características químicas de elementos-traço (Ti, Zr, Y e terras raras) indicativas de afinidade komatiítica. Os valores das razões Ti/Zr e Ti/Y sugerem que os basaltos de Crixás originaram-se, provavelmente, de uma fonte mantélica empobrecida em elementos mais incompatíveis - contudo, menos empobrecida do que aquelas que deram origem aos basaltos komatiíticos de Munro e Barberton. Basaltos Arqueanos com razão  $(La/Yb)_N < 2$  foram considerados como derivados diretamente da fusão de uma fonte não-fracionada do manto, enquanto aqueles com  $(La/Yb)_N > 2$ , derivados de uma fonte fracionada do manto. Os basaltos komatiíticos de Crixás apresentam, para aquela razão, valores entre 0,44 e 1,01, o que sugere uma fonte não-fracionada. Segundo Arth *et al.* (1977), na formação de basaltos komatiíticos, há sempre o envolvimento de ambos os processos, fusão parcial e cristalização fracionada. Nesse sentido, é possível, ou mesmo provável, a presença de basaltos toleíticos na Formação Rio Vermelho, os quais estariam relacionados, pela cristalização fracionada, aos basaltos komatiíticos enfocados neste artigo.

Em caráter especulativo, é sugerido um modelo de fusão extrativa que teria provocado um empobrecimento na fonte mantélica, resultando um manto residual empobrecido, o qual, após refusão, teria dado origem aos basaltos komatiíticos de Crixás. As variações dos valores das razões Ti/Zr (81-106) e Zr/Y (2,08-2,72) nos basaltos komatiíticos de Crixás podem

estar refletindo a heterogeneidade da fonte dessas rochas no manto. Figueiredo & Kronberg (1988) sugerem que os komatiíticos ultrabásicos da América do Sul originaram-se em fontes muito profundas no manto. Segundo Rivalenti *et al.* (1989), o quimismo dos komatiíticos e toleitos do *greenstone belt* de Hidrolina não é consequência de contaminação crustal, mas sim, da heterogeneidade da fonte mantélica daquelas rochas. As diferenças de composição entre os basaltos dos *greenstone belts* no Estado de Goiás (Danni 1988) sugerem que, também em escala regional, o manto foi, provavelmente, heterogêneo durante o Arqueano.

Teorias vigentes, tendem a concordar que as estruturas evidentes em vários mapas de terrenos Arqueanos, mostrando a distribuição de núcleos granítico-granodioríticos e *greenstone belts*, indicam padrões de convecção de pequena a média escala, com focos próximos de penetração de magma a partir do manto. É bem possível que, no Estado de Goiás, existam duas concentrações de *greenstone belts*: uma compreendendo o *greenstone belt* de Goiás Velho - Faina, mais linear, e outra, mais difusa, compreendendo os *greenstone belts* de Crixás, Pilar de Goiás-Hidrolina e Guarinos. Embora não existam ainda controles bem seguros da idade de posicionamento destes *greenstones*, os dados existentes sugerem que eles sejam contemporâneos e que tenham se desenvolvido entre 2,9 e 2,1 Ga, ou seja, do fim do Arqueano ao início do Proterozóico (Danni 1988, Arndt *et al.* 1989).

Os referidos dados permitem sugerir duas hipóteses de modelo evolutivo para tais *greenstone belts*: **a.** um único *hot spot* responsável pela formação das duas concentrações de *greenstone belts*, numa evolução em que uma estreita zona de falha de transferência faria o ajuste tensional-deformacional entre elas; e **b.** dois *hot spots* originariam mecanismos de rifteamento, os quais teriam controlado os processos de vulcanismo e sedimentação dos *greenstones*, além de possíveis condicionantes de lineamentos tectônicos regionais do Proterozóico. Tais hipóteses são discutidas por Araújo & Kuyumjian (1991).

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, J.O., F & KUYUMJIAN, R.M. 1991. Implicações dos pontos quentes (*hot spots*) na formação dos *greenstone belts* de Goiás. In: SIMP. GEOL. CENTRO-OESTE, 3. Cuiabá, 1991. Atas... Cuiabá, SBG. p. 185-195.
- ARNDT, N.T.; NALDRETT, A.J.; PYKE, D.R. 1977. Komatiitic and iron-rich tholeiitic lavas of Munro Township, northeast Ontario. *J. Petrol.*, **18**:319-369.
- ARNDT, N.T. & NISBET, E.G. 1982. What is a komatiite? In: ARNDT, N.T. & NISBET, E.G. ed. *Komatiites*. Londres, Allen & Unwin. p. 19-27.
- ARNDT, N.T.; TEIXEIRA, N.A.; WHITE, W.M.; HARRISON, M. 1989. Bizarre geochemistry of komatiites from the Crixas greenstone belt, Brazil. *Contrib. Mineral Petrol.*, **101**(2): 187-197.
- ARTH, J.G.; ARNDT, N.T.; NALDRETT, A.J. 1977. Genesis of Archean komatiites from Munro Township, Ontario: trace-element evidence. *Geology*, **5**:590-594.
- BASALTIC VOLCANISM STUDY PROJECT 1981. *Basaltic volcanism on terrestrial planets*. New York, Pergamon Press Inc. 1286 p.
- BROOKS, C. & HART, S.R. 1974. On the significance of komatiite. *Geology*, **2**:107-110.
- DANNI, J.C.M. 1988. Os *greenstone belts* da Província Tocantins no Estado de Goiás, Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, **18**(4):381-390.
- FIGUEIREDO, M.C.H. & KRONBERG, B.I. 1988. LREE-enriched komatiites from Crixás, central Brazil. In: International Conference Geochemical Evolution of the Continental Crust. Poços de Caldas, Brazil, 1988. *Abstracts*, p. 209-216.
- HERRMANN, A.G.; BLANCHARD, D.P.; HASKIN, L.A. JACOBS, J.W., KNABE, D., KOROTEV, R.L.; BRANNON, J.C. 1976. Major, minor, and trace elements-composition of peridotitic and basaltic komatiites from the Precambrian crust of Southern Africa. *Contrib. Mineral Petrol.*, **59**:1-12.
- KUYUMJIAN, R.M. 1991. Mobilidade de elementos terras raras em metabasaltos de baixo grau (Crixás) e alto grau (Chapada) metamórficos. *Geochim. Brasil* (no prelo).
- KUYUMJIAN, R.M. & DARDENNE, M.A. 1982. Geochemical characteristics of the Crixas greenstone belt, Goiás, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.*, **12**(1-3):324-330.
- LUDDEN, J.N. & GELINAS, L. 1982. Trace element characteristics of komatiites and komatiitic basalts from the Abitibi metavolcanic belt of Quebec. In: ARNDT, N.T. & NISBET, E.G. ed. *Komatiites*. London, Allen & Unwin. p. 526.
- MENZIES, M.; SEYFRID Jr. W. & BLANCHARD, D. 1979. Experimental evidence of rare earth element immobility in greenstones. *Nature*, **282**:388-399.
- NESBITT, R.W.; SUN, S.S.; PURVIS, A.C. 1979. Komatiites: geochemistry and genesis. *Can. Mineral.*, **17**:165-186.
- RIVALENTI, G.; GIRARDI, V.A.V.; COLTORTI, M.; CORREIA, C.T.; MAZZUCHELLI, M. 1989. Geochemical models for the petrogenesis of komatiites from the Hidrolina greenstone belt, Central Goiás, Brazil. *J. Petrol.*, **30**(1): 175-197.
- SABOIA, L.N. 1979. *Os greenstone belts de Crixás e Goiás (GO)*. Goiânia, SBG/NCO. p. 43-72 (Boi. Inform. 9).
- SUN, S.S.; NESBITT, R.W.; SHARASKIN, A.Y. 1979. Geochemical characteristics of mid-ocean ridge basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **4**:119-138.
- THOMPSON, R.N.; MORRISON, M.A.; HENDRY, G.L.; PARRY, S.J. 1984. An assessment of the relative roles of crust and mantle in magma genesis: an elemental approach. *Phil. Trans. R. Soc. London.*, **A310**:548-550.
- VILJOEN, M.J. & VILJOEN, R.P. 1969. The geology and geochemistry of the Lower Ultramafic Unit of the Onverwacht Group and a proposed new class of igneous rocks. *Geol. Soc. S. Afr.*, **2**:55-86 (Sp. Publ.).
- WANKE, H.; BADDENHANSEN, H.; PALME, H.; SPETTEL, 1974. On the chemistry of the Allende inclusions and their origin as high temperature condensates. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **23**:1-14.
- WOOD, D.A. 1979. A variably veined sub-oceanic upper mantle-genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence. *Geology*, **7**:499-503.

MANUSCRITO A674

Recebido em 21 de setembro de 1990

Revisão do autor em 09 de outubro de 1991

Revisão aceita em 29 de novembro de 1991