



METAULTRAMAFITOS DA SEQUÊNCIA VULCANOSSEDIMENTAR MORRO DO FERRO, SUDOESTE DE MINAS GERAIS: CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DOS PROTÓLITOS KOMATIÍTICOS

SZABÓ, G.A.J.⁽¹⁾; CANDIA, M.A.F.⁽¹⁾; CHOUDHURI, A.⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências, USP - Rua do Lago 562 - Cidade Universitária - 05508-900 - São Paulo, SP; e-mail: gajszabo@usp.br

⁽²⁾ Departamento de Metalogênese e Geoquímica do Instituto de Geociências - UNICAMP

RESUMO

Discute-se o padrão geoquímico de rochas metaultramáficas de filiação komatiítica da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, sudoeste de Minas Gerais. Com base nas razões de elementos incompatíveis identificados como menos móveis durante processos tectono-metamórficos (Ti, Al, Zr, Sc), procura-se identificar um conjunto de amostras que possa preservar características do padrão komatiítico original, bem como retratar este padrão, na medida do possível.

Palavras-Chave: komatiitos, metaultramáficas, Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro

INTRODUÇÃO

Rochas metaultramáficas constituem corpos lenticulares de tamanho variável entre Fortaleza de Minas e Alpinópolis, sudoeste de Minas Gerais. Apesar do metamorfismo de fácies anfibolito e da intensa deformação, ostentam ocasionais bem preservadas texturas pseudomórficas *spinifex* em núcleos lenticulares envoltos pela foliação de cisalhamento anastomosada, que permitem identificá-las como sendo de filiação komatiítica. Fazem parte, junto à suite de ortogneisses tonalíticos a granodioríticos, migmatitos e granitos variavelmente cisalhados em que se encontram inseridas, do Domínio Norte do Complexo Campos Gerais, que corresponde a terrenos arqueanos tipo *granito-greenstone belt* intensamente reorganizados ao longo da Zona de Cisalhamento Campo do Meio, na margem meridional do Cráton do São Francisco. As várias ocorrências de rochas metaultramáficas deste Domínio, acompanhadas de tipos litológicos caracteristicamente associados, como anfibolitos e formações ferríferas, são agrupadas na Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro (SVSMF), descrita originalmente nas proximidades de Fortaleza de Minas (Teixeira 1978). O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento geoquímico da suite metaultramáfica, com base no acervo de análises disponível na literatura e em análises recentes, obtidas para amostras selecionadas das regiões a sul-sudoeste de Alpinópolis e do Córrego da Mumbuca, procurando identificar evidências referentes ao caráter original do magmatismo komatiítico.

AVALIÇÃO DO ACERVO DE ANÁLISES DISPONÍVEL NA LITERATURA

Há uma grande quantidade de análises químicas referentes a estas rochas na literatura geológica das últimas duas décadas (v. referências mencionadas na Figura 1). Infelizmente, a grande maioria refere-se apenas a elementos maiores, sem uma caracterização petrográfica consistente das amostras analisadas e sem maiores detalhes quanto aos métodos analíticos utilizados. Uma revisão deste acervo, com eliminação de análises evidentemente comprometidas e recálculo/padronização das demais para uma base 100% anidra, põe em evidência a nítida incoerência interna deste conjunto de análises quando considerado *in totum*, com ampla dispersão dos pontos representativos das análises nos diversos diagramas óxido-óxido, fruto da amostragem indiscriminada de uma suite metaultramáfica modificada, em escala variável, por processos tectono-metamórficos recorrentes.

Com base principalmente nas relações $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-TiO}_2$, o caráter geoquímico da suite komatiítica original é aventada em diversos trabalhos (Teixeira & Danni 1979, Teixeira et al 1987, Brenner et al 1990, Carvalho 1990) como sendo comparável ao de komatiitos tipo AUK - *aluminium undepleted komatiites*, komatiitos não empobrecidos em alumínio, como os de Munro Township, Canadá, ou Yilgarn, Austrália. Szabó (1989), com base nas razões $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ em clorita - Ca-anfibólio xistos/fels com textura *spinifex* pseudomórfica de Alpinópolis, considera o padrão geoquímico komatiítico original como sendo, mais provavelmente, comparável ao de komatiitos tipo ADK - *aluminium depleted komatiites*, komatiitos empobrecidos em alumínio, como os de Barberton, África do Sul. Uma avaliação do acervo de análises disponível, através do diagrama $\text{TiO}_2 \text{ X } \text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, por exemplo (figura 1), sugere que a razão $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ condritica, em torno de 20, característica dos komatiitos AUK (Nesbitt et al 1979), é muito pouco frequente no acervo, enquanto um número significativo de análises situa-se nas proximidades do valor 11, que caracteriza komatiitos tipo ADK. Quanto às razões $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, estas são pouco confiáveis em um conjunto de amostras de caráter metamórfico pronunciado, no qual o Ca exibe forte tendência à mobilidade.

AValiação dos dados recentemente obtidos

Para averiguar se é possível reconstituir algo da assinatura geoquímica original da suite komatiítica que deu origem aos corpos metaultramáficos, procedeu-se a uma amostragem criteriosa em duas áreas-tipo selecionadas: a sul-sudoeste de Alpinópolis, onde texturas pseudomórficas *spinifex* ocorrem melhor preservadas, e na região do Córrego da Mumbuca, onde a suite metaultramáfica atinge as condições metamórficas mais elevadas, de fácies anfibolito superior. 42 amostras, entre clorita - Ca-anfibólio xistos/fels, tanto com texturas pseudomórficas *spinifex* como pervasivamente recristalizadas, olivina e/ou ortopiroxênio - hornblenda xistos/fels porfiroblásticos com espinélio verde, e clorita serpentinitos, foram analisadas por Fluorescência de Raios X para elementos maiores, menores e traço na Universidade de Modena, Itália, com análises complementares de $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$, H_2O^- e H_2O^+ (Perda ao Fogo) realizadas no Laboratório de Análises Químicas do IG-USP. O tratamento dos dados foi realizado com as análises recalculadas em base 100% anidra; as análises foram apresentadas originalmente por Szabó (1996).

Os resultados das análises confirmam o caráter amplamente modificado do conjunto analisado como um todo, com forte dispersão dos pontos correspondentes às análises nos diversos diagramas de correlação binários. Porém, para alguns pares de elementos, configuram-se boas tendências de correlação, sugerindo que possam preservar algo do padrão geoquímico da suite komatiítica original. Estes elementos incluem Ti, Al, Sc e Zr, além do Cr, que representa um caso à parte, e são considerados incompatíveis no decorrer da cristalização de magmas komatiíticos, além de apresentarem mobilidade mais reduzida no decurso de processos tardi/pós-magmáticos. Como hipótese de trabalho, procurou-se identificar um conjunto de análises que exibisse um padrão geoquímico coerente com a filiação komatiítica, o menos modificado possível, através das razões destes elementos incompatíveis e menos móveis. Como resultado, obteve-se uma suite de 16 análises, designada informalmente "Suite Depurada", na qual todas as análises apresentavam razões constantes e internamente coerentes entre os elementos considerados. Adicionalmente, para esta "Suite Depurada", a tendência à correlação entre os demais elementos também melhorava sensivelmente, quando comparada ao conjunto de análises como um todo, incluindo as razões $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, sistematicamente superiores a 1.



Os valores médios obtidos para este conjunto de análises são os seguintes: $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 \simeq 11$ (figura 2); $\text{Ti}/\text{Zr} \simeq 77$; $\text{Sc}/\text{Zr} \simeq 0,74$; $\text{Ti}/\text{Sc} \simeq 105$. Destes, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ é inferior, e Ti/Sc superior aos valores condríticos (respectivamente em torno de 20 e 78), porém ambos precisamente coincidentes com os valores apresentados por Nesbitt et al (1979) para komatiitos tipo ADK, de Barberton. As razões Ti/Zr e Sc/Zr são inferiores aos valores condríticos (respectivamente 110 e 1,4), sendo que, para Sc/Zr , a diferença é ainda mais acentuada, em função do empobrecimento em Sc, fiel acompanhante do Al nesta tendência. As razões com Zr por divisor definem dois sub-conjuntos discretos dentro da "Suite Depurada", sendo um relativamente mais rico em Zr. As razões inferiores aos valores condríticos quando Zr é divisor, a variação destas razões mesmo dentro do conjunto de amostras composicionalmente mais coerente, bem como a presença de discretos, porém inequívocos cristais de zircão manteados em algumas das amostras com textura *spinifex* sugerem uma possível contaminação (crustal?) dos magmas que originaram a suite komatiítica. O enriquecimento em Zr é reforçado pelo seu comportamento em relação ao Hf, analisado por Ativação Neutrônica em apenas algumas das amostras: nestas, a razão $\text{Zr}/\text{Hf} (\simeq 50)$, também constante, é superior ao valor condrítico estimado ($\simeq 36$).

O comportamento do Cr na "Suite Depurada" é peculiar: apresenta-se como elemento incompatível, acompanhando o Ti, Al, Zr e Sc com notável coerência. Este comportamento está de acordo com a composição estimada, por meio de Diagramas de Razões de Proporções Moleculares, para as olivinas fracionadas nos magmas komatiíticos originais, com $\text{Fo} \geq 93$, indicando cristalização a partir de magmas bastante magnesianos ($\text{MgO} \geq 30\%$), nos quais a cromita não seria fase *liquidus* (Barnes & Hill, 1995).

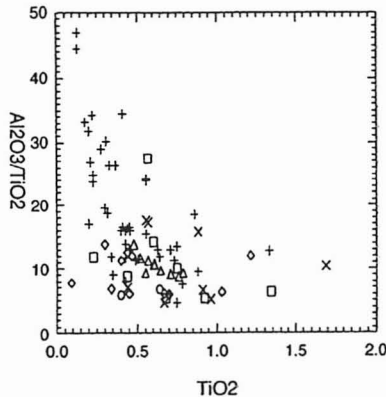


FIGURA 1

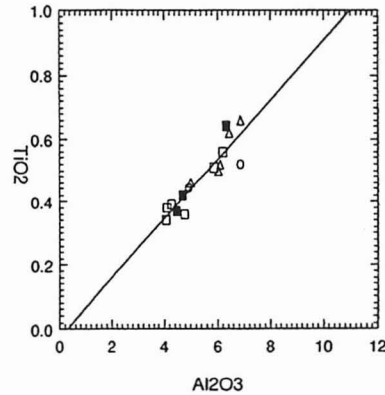


FIGURA 2

Figura 1: Diagrama $\text{TiO}_2 \times \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{TiO}_2$ para o acervo de análises de rochas metalultramáficas / komatiíticas da SVSMF disponível na literatura. Simbologia destaca as fontes das análises: quadrados - Biondi et al (1978); (x) - Teixeira e Danni (1979); (+) - Schmidt (1983); triângulos - Szabó (1989); círculos - Brenner et al (1990); losangos - Carvalho (1990).

Figura 2: Diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{TiO}_2$ para a "Suite Depurada". Linha de regressão indica $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{TiO}_2 \simeq 11$. Simbologia destaca variedade petrográfica: triângulos abertos: clorita - Ca-anfíbólio xistos/fels com textura *spinifex* pseudomórfica; círculo vazio: clorita - Ca-anfíbólio xisto/fels com textura metamórfica pervasiva; quadrados abertos: olivina - ortopiroxênio - hornblenda xistos/fels porfiroblásticos/nodosos com espinélio verde da área de Alpinópolis; quadrados fechados: idem anterior, para a área do Córrego da Mumbuca.



CONCLUSÕES

Apesar das intensas modificações sofridas no decorrer da sua evolução tectono-metamórfica, é possível reconhecer, para um conjunto selecionado de amostras da suite de rochas metaultramáficas da SVSMF, características geoquímicas preservadas do magmatismo komatiítico original, com base nas relações entre elementos incompatíveis identificados como menos móveis, como Al, Ti, Zr e Sc, além do Cr. Estas relações apontam para um padrão komatiítico do tipo ADK - *aluminium depleted komatiite* / komatiito empobrecido em alumínio para os respectivos protólitos ígneos, consolidados a partir de um magma rico em MgO (≥ 30), cuja cristalização era controlada pelo fracionamento de olivina com Fo ≥ 93 , com cromita *liquidus* ausente. O comportamento do Zr, em relação aos demais elementos incompatíveis, aliado à presença de (xeno?)cristais manteados de zircão em rochas com textura *spinifex* pseudomórfica sugere a possibilidade de ter ocorrido contaminação do magma komatiítico original quando da sua ascensão através da crosta (continental?).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNES, S.J. & HILL, R.E.T. (1995) Poikilitic chromite in komatiitic cumulates. *Mineral.Petrol.* **54**: 85-92
- BIONDI, J.C.; SCHRANK, A.; PINHEIRO, J.C. de F. (1978) Basitos e ultrabasitos do Espinhaço meridional e região sul de Minas Gerais. In: Congr.Bras.Geol. 30, Recife - PE, 1978. Anais...Recife, SBG, 3: 1213-1225
- BRENNER, T.L.; TEIXEIRA, N.A.; OLIVEIRA, J.A.L.; FRANKE, N.D.; THOMPSON, J.F.H. (1990) The O'Toole nickel deposit, Morro do Ferro greenstone belt, Brazil. *Econ.Geol.* **85**: 904-920
- CARVALHO, S.G. de (1990) Geologia, petrologia e metalogenia da Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis, Minas Gerais. Tese de Doutorado. IG - USP, São Paulo - SP. 216 p.
- NESBITT, R.W.; SUN, S.; PURVIS, A.C. (1979) Komatiites: geochemistry and genesis. *Can.Mineral.* **17**: 165-168
- SCHMIDT, W. (1983) Die Geologie der Araxá Gruppe in Südwest Minas Gerais, Brasilien, unter besonderer Berücksichtigung des Grünstein-Gürtels von Fortaleza de Minas. Tese de Doutorado - Universidade de Freiburg, Alemanha. 134 p.
- SZABÓ, G.A.J. (1989) Contexto Geológico e Petrologia das Rochas Metaultramáficas de Alpinópolis, MG. Dissertação de Mestrado, IG-USP, São Paulo - SP. 203 p.
- SZABÓ, G.A.J. (1996) Petrologia da Suite Metaultramáfica da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro na Região de Sul a Oeste de Alpinópolis, MG (Domínio Norte do Complexo Campos Gerais). Tese de Doutorado, IG-USP, São Paulo - SP. 354 p.
- TEIXEIRA, N.A. (1978) Geologia, petrologia e prospecção geoquímica da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). Dissertação de Mestrado, UNB - Brasília, DF
- TEIXEIRA, N.A. & DANNI, J.C.M. (1979) Petrologia das lavas ultrabásicas e básicas da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas, MG. *Rev.Bras.Geoc.* **9**:1951-1958
- TEIXEIRA, N.A.; GASPAR, J.C.; BRENNER, T.L.; CHENEY, J.T.; MARCHETTO, C.M.L. (1987) Geologia e implicações geotectônicas do greenstone belt Morro do Ferro (Fortaleza de Minas, MG) *Rev.Bras.Geoc.* **17**: 209-220

AGRADECIMENTOS: À FAPESP, pelo financiamento da pesquisa.