

**CONCENTRAÇÕES DE TERRAS RARAS E OUTROS ELEMENTOS  
TRAÇOS EM ROCHAS INTRUSIVAS E EXTRUSIVAS DO NORTE DA  
PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO PARANÁ: RESULTADOS PRELIMINARES**

Rocha Jr, E. R. V.<sup>1</sup>, Marques, L. S.<sup>1</sup> & Figueiredo, A. M. G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG – SP)  
Universidade de São Paulo – USP  
Rua do Matão, 1226, Cidade Universitária  
05508-090, São Paulo, SP, Brasil  
[erocha@iag.usp.br](mailto:erocha@iag.usp.br); [leila@iag.usp.br](mailto:leila@iag.usp.br)

<sup>2</sup> Laboratório de Análise por Ativação com Nêutrons, Centro do Reator Nuclear de  
Pesquisas – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (LAN/CRPq – IPEN/CNEN-SP)  
Caixa Postal 11049  
05422-970, São Paulo, SP, Brasil  
[grafigue@curiango.ipen.br](mailto:grafigue@curiango.ipen.br)

**Resumo** – Este trabalho apresenta os primeiros resultados geoquímicos, incluindo elementos maiores, menores e traços, de uma investigação detalhada das ocorrências de derrames e soleiras da região norte e nordeste da Província Magmática do Paraná, particularmente as situadas ao norte do Estado de São Paulo e sul de Minas Gerais. A determinação de terras raras e outros elementos traços fortemente incompatíveis foi efetuada através da técnica de ativação com nêutrons térmicos e epitérmicos. As rochas básicas contendo MgO > 4% são predominantes e quimicamente representadas por basaltos toleíticos, andesi-basalto toleíticos e lati-basaltos, enquanto as mais evoluídas são representadas por latito e lati-andesitos. Os dados geoquímicos mostram que a grande maioria das rochas básicas investigadas é semelhante aos derrames com alto conteúdo de titânio (TiO<sub>2</sub> > 3%) que ocorrem no norte (tipo Pitanga) da Província Magmática do Paraná. Os resultados mostram ainda a presença de rochas básicas com características similares aos derrames Paranapanema (2 < TiO<sub>2</sub> < 3%) e também aos Urubici (TiO<sub>2</sub> > 3%) do sul da província.

**Palavras-Chave:** Província Magmática do Paraná, Formação Serra Geral, Elementos terras raras; Soleiras da Bacia do Paraná; Derrames basálticos.

**Abstract** – This work presents the first geochemical results, including major, minor and trace elements, of a detailed investigation of flows and sills from northern and northeastern Paraná Magmatic Province, particularly those located in the north of São Paulo and south of Minas Gerais states. The rare earth and other trace elements were determined by thermal and epithermal neutron activation technique. The basic rocks with MgO > 4% are dominant and are represented by tholeiitic basalts, tholeiitic andesi-basalts and lati-basalts, whereas, the most evolved ones are represented by latite and lati-andesites. The geochemical data show that almost whole of the investigated basic rocks are similar to the flows with high titanium contents (TiO<sub>2</sub> > 3%) from northern Paraná Magmatic Province (Pitanga type). The results also show the occurrence of basic rocks with the same geochemical characteristics of Paranapanema flows (2 < TiO<sub>2</sub> < 3%) as well as of Urubici (TiO<sub>2</sub> > 3%) basalts from southern Paraná Magmatic Province.

**Keywords:** Paraná Magmatic Province, Serra Geral Formation, Rare Earth Elements, Paraná Basin sills, Basaltic flows.

10260

## 1. Introdução

O magmatismo na Bacia do Paraná representa uma das maiores manifestações de basaltos continentais do mundo. Esse magmatismo ocorreu no Cretáceo Inferior, precedendo a separação continental América do Sul – África. Associado a este intenso vulcanismo houve intenso magmatismo de natureza intrusiva, na forma de enxames de diques máficos, como também por soleiras de diabásio, que afloram principalmente no norte e nordeste da Província Magmática do Paraná (PMP).

Embora muitos estudos já tenham sido conduzidos na PMP, existe ainda uma grande controvérsia sobre os processos envolvidos na gênese dessas rochas. Segundo Gibson et al. (1995, 1999) e Ewart et al. (1998), a composição das rochas basálticas reflete a participação da pluma de Tristão da Cunha. Peate et al. (1999) e Marques et al. (1999) propõem que esta pluma pode ter contribuído apenas como fonte de calor para a fusão de manto litosférico. Mais recentemente, Ernesto et al. (2002) propõem que o aquecimento na litosfera continental foi causado por uma fonte de calor não relacionada à pluma de Tristão da Cunha, que causou fusão parcial de manto litosférico subcontinental nos estágios incipientes de ruptura continental.

As soleiras foram muito pouco estudadas, em relação às outras regiões da PMP. As informações obtidas em alguns estudos (e.g. Piccirillo & Melfi, 1988 e Ernesto et al., 1999) mostraram que estas rochas intrusivas possuem principalmente caráter básico, com características geoquímicas que se assemelham às das rochas vulcânicas associadas.

Este trabalho apresenta os primeiros resultados geoquímicos de uma investigação detalhada das ocorrências de soleiras e derrames que ocorrem na região norte da PMP, particularmente as situadas no norte do Estado de São Paulo e Minas Gerais. Para caracterização geoquímica dessas rochas estão sendo determinados elementos maiores, menores e traços, incluindo terras raras e outros elementos fortemente incompatíveis, como U, Th, Ta, Hf, entre outros, os quais são fundamentais para a investigação das características das fontes mantélicas envolvidas na atividade ígnea.

## 2. Contexto geológico

A Província Magmática do Paraná abrange uma área de 1.200.000 km<sup>2</sup> e totaliza um volume de cerca de 780.000 km<sup>3</sup> (Piccirillo & Melfi, 1988). Associado à atividade vulcânica houve intenso magmatismo de natureza intrusiva, representado por soleiras, que afloram principalmente nas partes leste e nordeste da Bacia do Paraná, bem como os enxames de diques de Ponta Grossa, da Serra do Mar e de Florianópolis (Marques & Ernesto, 2004).

Estudos geológicos e geoquímicos anteriores permitiram dividir a área de ocorrência dos derrames basálticos em duas grandes províncias, a Província Sul, caracterizada por apresentar basaltos toleíticos, geralmente com TiO<sub>2</sub> ≤ 2% e empobrecidos em elementos menores e traços, tais como P, Ba, Sr, Zr, Hf, Ta, Y e terras raras leves; e a Província Norte, que é enriquecida nestes elementos, possuindo TiO<sub>2</sub> > 2% (Bellieni et al., 1984a e Marques et al., 1989).

Peate et al. (1992) baseando-se nas concentrações de titânio e elementos traços incompatíveis (Sr, Y e Zr) dividiram os magmas basálticos em 6 grupos, que receberam denominações específicas. Os basaltos ATi foram divididos em 3 tipos, denominados de Urubici (ATi-S: TiO<sub>2</sub> > 3%; Sr > 550 ppm; Ti/Y > 500 ppm), Pitanga (ATi-N: TiO<sub>2</sub> > 3%; Sr > 350 ppm; Ti/Y > 350 ppm) e Paranapanema (ITi-N: 2 < TiO<sub>2</sub> < 3%; 200 < Sr < 450 ppm; Ti/Y > 330 ppm), enquanto os BTi foram denominados de Gramado (BTi-S: TiO<sub>2</sub> < 2%; 140 < Sr < 400 ppm; Ti/Y < 300 ppm), Esmeralda (BTi-S: TiO<sub>2</sub> < 2%; 120 < Sr < 250 ppm; Ti/Y < 330 ppm) e Ribeira (BTi-N: TiO<sub>2</sub> < 2%; 200 < Sr < 375 ppm; Ti/Y > 300 ppm).

De modo geral, as rochas intrusivas da PMP apresentam a mesma provincialidade geoquímica observada nos derrames. As soleiras de diabásio da parte nordeste da PMP, que são objeto deste estudo, possuem espessuras que variam entre 2 e 200 m, podendo atingir, em alguns casos, cerca de 1000 m (Melfi et al., 1988). Alguns estudos geoquímicos mostraram que esses diabásios são principalmente de caráter básico (e.g. Bellieni et al., 1984b, Piccirillo & Melfi, 1988 e Ernesto et al., 1999) e quimicamente representados por basaltos transicionais, lati-basaltos, basaltos toleíticos, andesi-basaltos toleíticos e andesitos toleíticos. Do ponto de vista petrográfico, apresentam texturas fracamente porfíricas (cerca de 60%) a subofíticas (cerca de 40%) e possuem como mineralogia essencial, plagioclásios, piróxênios e titanomagnetita.

## 3. Metodologias Analíticas

Até o momento estão disponíveis para análise 55 amostras de soleiras e derrames coletadas principalmente para estudos paleomagnéticos (Ernesto et al., 1999) e outras 30 recentemente coletadas apenas para estudos geoquímicos. Todas as amostras foram analisadas pela técnica de fluorescência de raios-X, para a determinação das concentrações de elementos maiores e menores, como também para os elementos traços Cr, Ni, Ba, Rb, Sr, La, Ce, Nd, Zr, Y e Nb. Estas análises foram realizadas no Instituto de Ciências da Terra da Universidade de Trieste (Itália) e no Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP – Rio Claro. A precisão relativa dos dados é inferior a 5% para óxidos de elementos maiores e menores, sendo inferior a 10% na determinação de elementos traços. A técnica de ativação com nêutrons térmicos e epitérmicos, seguida de espectrometria gama de alta resolução, foi empregada para a determinação de terras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb e

Lu) e dos elementos traços U, Th, Ba, Rb, Ta, Hf, Cs, Co e Sc, em 27 amostras. Os materiais geológicos de referência de granito GS-N (ANRT), basalto BE-N (GIT-IWG) e basalto JB-1 (GSJ) foram utilizados como padrões para os cálculos de concentração por meio de análises comparativas. Estas medidas foram realizadas no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP), adotando-se os procedimentos descritos em Figueiredo & Marques (1989). O procedimento analítico adotado fornece resultados precisos e exatos, obtendo-se erros relativos inferiores a 15% (Marques, 2001 e Rocha Jr. et al., 2005).

### 3. Resultados e discussão

As rochas analisadas até o momento, por ambas as técnicas, foram classificadas por meio de suas composições químicas, seguindo o esquema proposto por De La Roche et al., (1980). Conforme esta proposta, as rochas analisadas são quimicamente representadas por basaltos toleíticos, andesi-basalto toleítico e lati-basalto, enquanto que as mais evoluídas são representadas por latitos e lati-andesitos (figura 1).

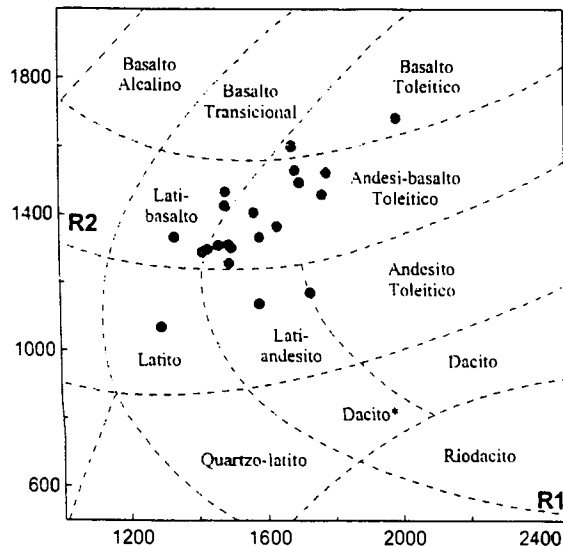


Figura 1. Nomenclatura das rochas de derrames e soleiras do norte e nordeste da PMP segundo De La Roche et al. (1980). Símbolos: (●) ATi-P ( $\text{TiO}_2 > 3\%$ ,  $\text{Sr} > 350$  ppm); (●) ATi-U ( $\text{TiO}_2 > 3\%$ ,  $\text{Sr} > 550$  ppm), (●) ITi-N ( $2 < \text{TiO}_2 < 3\%$ ,  $200 < \text{Sr} < 450$  ppm) e (●) rochas diferenciadas ( $\text{SiO}_2 > 55\%$  e  $\text{MgO} < 3\%$ )

As amostras analisadas possuem certa variabilidade composicional, com teores de MgO que variam entre 2% e 6,5% e conteúdos de  $\text{SiO}_2$  entre 48 e 55%. De modo geral, observa-se que à medida que o grau de evolução aumenta, isto é, com a diminuição de MgO, há um aumento nas concentrações de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ , e uma diminuição no conteúdo de CaO (figura 2). As concentrações de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  não possuem correlação significativa com o MgO. Salienta-se que todas as rochas investigadas possuem conteúdos de  $\text{TiO}_2 > 2\%$ , sendo que a grande maioria possui conteúdo de  $\text{TiO}_2 > 3\%$ . Além disso, observa-se que a maior parte das amostras possui conteúdo de MgO entre 4% e 6,3%, ocorrendo de modo muito subordinado litotipos com  $\text{MgO} < 3\%$ .

As rochas básicas apresentando  $\text{MgO} > 4\%$  e  $\text{SiO}_2 < 55\%$  apresentam características geoquímicas distintas que permitem subdividi-las em 3 grupos em função de suas concentrações de Ti, Sr e Y (figura 3), conforme o diagrama discriminatório de magmas-tipo da PMP, proposto por Peate et al. (1992). Desta forma, foram identificados os conjuntos denominados de ITi-N ( $2 < \text{TiO}_2 < 3\%$ ,  $200 < \text{Sr} < 450$  ppm), ATi-P ( $\text{TiO}_2 > 3\%$ ,  $\text{Sr} > 350$  ppm) e ATi-U ( $\text{TiO}_2 > 3\%$ ,  $\text{Sr} > 550$  ppm) os quais são geoquimicamente semelhantes aos derrames Paranapanema, Pitanga e Urubici, respectivamente. Observa-se que o grupo ATi-P é muito mais abundante do que os demais, correspondendo a cerca de 61% das rochas básicas analisadas. Os diagramas de variação de elementos traços fortemente incompatíveis, como terras raras leves, U, Th e Ta mostram um enriquecimento significativo à medida que o grau de evolução aumenta (figura 2) e, considerando-se o mesmo grau de evolução, as rochas do grupo ATi-U tendem a apresentar maiores concentrações desses elementos. Por outro lado observa-se um decréscimo no conteúdo de Sc com a diferenciação, sendo que as rochas ATi-P possuem concentrações levemente maiores para o mesmo conteúdo de MgO.

Os padrões de abundância dos elementos terras raras (ETR), normalizados em relação aos condritos (Boynton, 1984), mostram um enriquecimento significativo dos ETR leves em relação aos pesados em todas as amostras analisadas, com razões  $(\text{La/Lu})_n$  que variam entre 5,4 e 11,4. Nas rochas básicas do grupo ATi-P estas razões situam-se entre 6,4 a 8,9, enquanto as do grupo ATi-U possuem fracionamento mais acentuado com razões  $(\text{La/Lu})_n$  entre 8,5 e 11,4. Por outro lado, nas rochas do grupo ITi-N as referidas razões situam-se entre 5,4 e 7,8. Os termos diferenciados possuem razões  $(\text{La/Lu})_n$  situadas entre 7,4 e 9,8, sendo que este último refere-se a uma amostra na qual houve processo de contaminação pelas rochas (siltitos) encaixantes, conforme evidenciado nos trabalhos de campo.

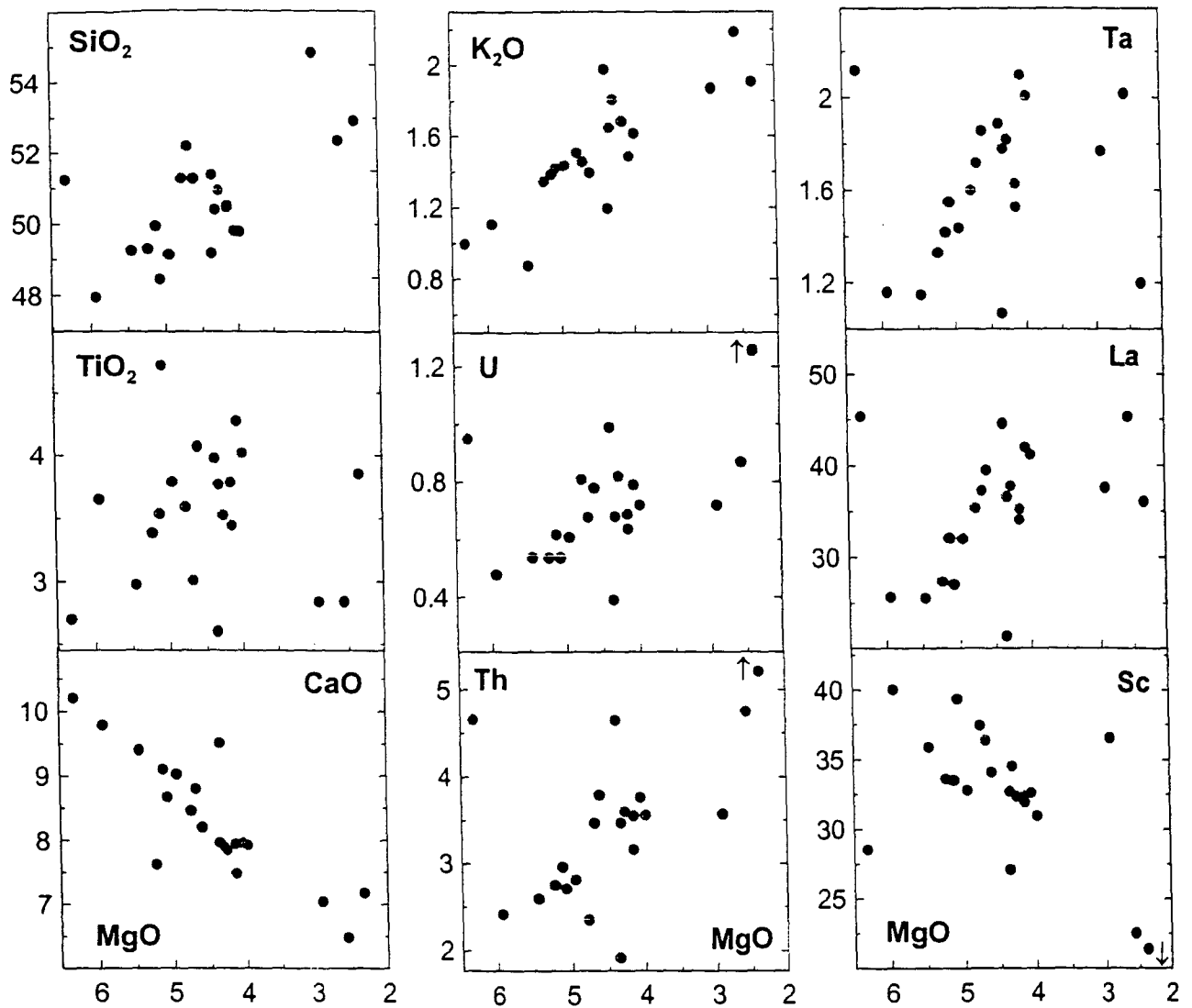


Figura 2. Diagramas de variação  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{K}_2\text{O}$  (%), U, Th, Ta, La e Sc (ppm) em função de  $\text{MgO}$  (%) das rochas no norte e nordeste da PMP: Símbolos: ITi-N (•); ATi-P (•); ATi-U (•) e (•) rochas diferenciadas ( $\text{SiO}_2 > 55\%$  e  $\text{MgO} < 3\%$ )

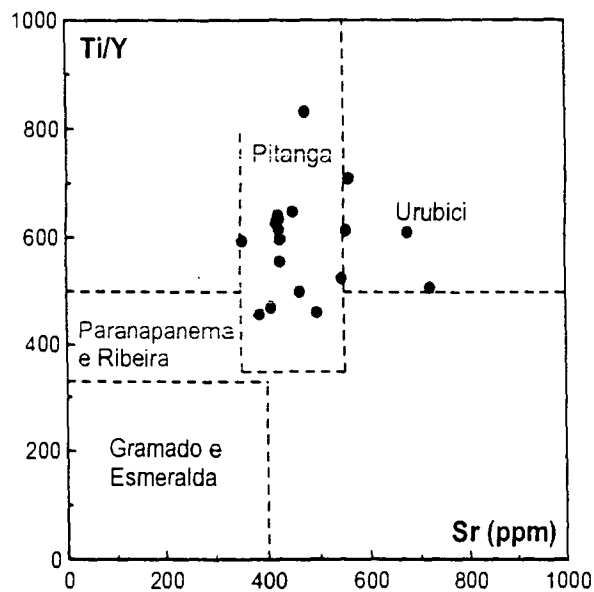


Figura 3. Diagrama mostrando os diferentes magmas-tipo (Peate et al., 1992) das rochas básicas analisadas com  $\text{SiO}_2 < 55\%$  e  $\text{MgO} > 4\%$

Em todos os grupos de rochas básicas não há variações muito importantes em termos de anomalias de európio, nos quais as razões  $Eu/Eu^*$  variam de levemente positivas a levemente negativas, havendo predomínio das positivas. A média das razões  $Eu/Eu^*$  são de  $1,0 \pm 0,1$ ,  $1,1 \pm 0,2$  e  $1,2 \pm 0,1$  para os grupos ITi-N, ATi-P e ATi-U, respectivamente. As rochas diferenciadas apresentam anomalias de európio levemente positivas ( $1,2 < Eu/Eu^* < 1,3$ ), as quais destacam-se fortemente daquela que sofreu contaminação, que possui uma forte anomalia negativa, com  $Eu/Eu^* = 0,52$ .

Em comparação com os derrames da PMP (Paranapanema:  $La/Lu_n = 5,7 \pm 0,8$ ,  $Eu/Eu^* = 1,05 \pm 0,05$ ; Pitanga:  $La/Lu_n = 7,5 \pm 0,3$ ,  $Eu/Eu^* = 1,08 \pm 0,05$ ; Urubici:  $La/Lu_n = 11 \pm 1$ ,  $Eu/Eu^* = 0,98 \pm 0,06$ ), nota-se uma grande semelhança das razões  $La/Lu_n$  com as das rochas básicas analisadas. Entretanto, as razões  $Eu/Eu^*$  tendem a ser levemente maiores nas rochas ATi-P e ATi-U do que aquelas dos derrames Pitanga e Urubici, respectivamente. Estas diferenças podem indicar a presença de fases cumuláticas envolvendo a concentração de plagioclásios em certos níveis das soleiras, mas, considerando-se a possibilidade de haver problemas analíticos envolvendo as determinações das concentrações de Sm, que é utilizado para o cálculo das anomalias de Eu, são ainda necessários estudos adicionais para confirmação desses resultados.

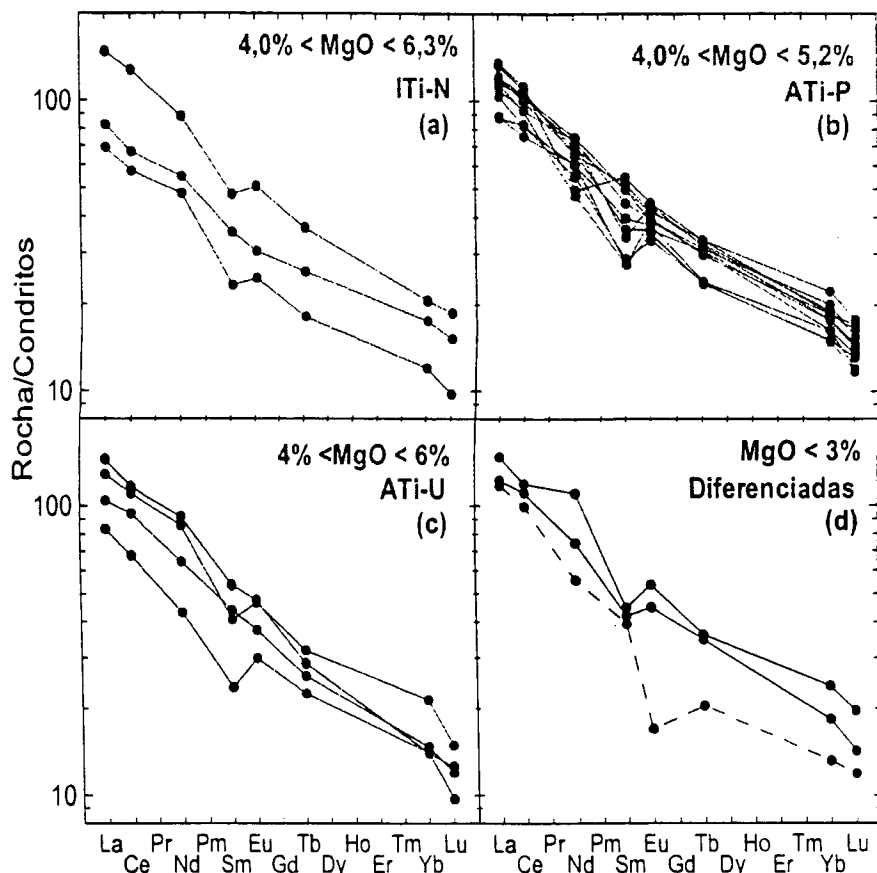


Figura 4. Padrões de abundância de elementos terras raras, normalizados em relação aos meteoritos condriticos (Boynton, 1984). A linha tracejada corresponde à amostra afetada por contaminação pelo siltito encaixante

Alguns estudos efetuados anteriormente (e.g. Bellieni et al., 1984b e Ernesto et al., 1999) mostram que as soleiras do norte da PMP possuem assinaturas geoquímicas dos derrames Pitanga e Paranapanema. Entretanto, os dados obtidos neste trabalho revelam a presença de algumas rochas básicas com características similares aos derrames do tipo Urubici, os quais só haviam, até então, sido encontrados no sul da PMP, implicando em uma maior complexidade quanto às heterogeneidades do manto litosférico envolvido na gênese dessas rochas.

#### 4. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. A. J. R. Nardy e ao pós-graduando F. B. Machado, do IGCE-UNESP-RC pelas sugestões e por terem cedido algumas amostras para a realização deste trabalho.

Este trabalho contou com o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP: processos 04/03892-0 e 04/10081-9).

## 8. Referências

- BELLIENI, G., COMIN-CHIARAMONTI, P., MARQUES, L.S., MELFI, A.J., NARDY, A.J.R., PICCIRILO, E. M., ROISENBERG A. High- and low-TiO<sub>2</sub> flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *N. Jb. Miner. Abh.*, v. 150, p. 273-306, 1984a
- BELLIENI, G., COMIN-CHIARAMONTI, P., MARQUES, L.S., MELFI, A.J., PICCIRILO, E.M., STOLVA, D. Low-pressure evolution of basalt to sills from bore-holes in the Paraná basin (Brazil). *Tschermaks Min. Petr. Mitt.*, v. 33, p. 25-47, 1984b.
- BOYNTON, W.V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: HENDERSON, P. (ed). Rare earth element geochemistry. *Elsevier Publ. Co.*, Amsterdam, p. 63-114.
- DE LA ROCHE, H., LETERRIER, P., GRANDCLAUDE, P., BERTRAND, H. A classification of volcanic and plutonic using R1-R2 diagram and major element analysis. Its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, v. 29, p. 183-210, 1980.
- ERNESTO, M.; RAPOSO, M.I.B; MARQUES, L.S.; RENNE, P.R.; DIOGO, L.A. & DE MIN, A. Paleomagnetism, geochemistry and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of the North-eastern Paraná Magmatic Province: tectonic implications. *Journal of Geodynamics*, v. 28, p. 321-340, 1999.
- ERNESTO, M.; MARQUES, L.S.; PICCIRILLO, E.M.; MOLINA, E.C.; USSAMI, N.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLIENI, G. Paraná Magmatic Province-Tristan da Cunha plume system: fixed versus mobile plume, petrogenetic considerations and alternative heat sources. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 118, p. 15-36, 2002.
- EWART, A.; MILNER, S.C.; ARMSTRONG, R.A. & DUNCAN, A.R. Etendeka volcanism of the Goboboseb Mountains and Messum Igneous Complex, Namibia. Part I: geochemical evidence of Early Cretaceous Tristan plume melts and the role of crustal contamination in the Paraná-Etendeka CFB. *Journal of Petrology*, v. 39 n. 2, p. 191-225, 1998.
- FIGUEIREDO, A.M.G. & MARQUES, L.S. Determination of rare earths and other trace elements in the Brazilian geological standards BB-1 and GB-1 by neutron activation analysis. *Geochimica Brasiliensis*, v. 3, p. 1-8, 1989.
- GIBSON, S.A.; THOMPSON, R.N.; DICKIN, A.P. & LEONARDOS, O.H. High-Ti and low-Ti mafic potassic magmas: key to plume-lithosphere interactions and continental flood-basalt genesis. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 136, p. 149-165, 1995.
- GIBSON, S.A; THOMPSON, R.N.; LEONARDOS, O.H.; DICKIN, A.P. & MITCHELL, J.G. The limited extent of plume-lithosphere interactions during continental flood-basalt genesis: geochemical evidence from Cretaceous magmatism in southern Brazil. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 137, p. 147-169, 1999.
- MARQUES, L. S., Caracterização geoquímica das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná: implicações petrogenéticas. Tese de Doutorado, Departamento de Geofísica, IAG-USP, 175p., 1988.
- MARQUES, L.S., PICCIRILO, E.M., MELFI, A.J., COMIN-CHIARAMONTI, P., BELLIENI, G. Distribuição de terras raras e outros elementos traços em basaltos da Bacia do Paraná (Brasil Meridional). *Geochimica Brasiliensis*, v. 3, p. 33-50, 1989.
- MARQUES, L.S.; DUPRÉ, B. & PICCIRILLO, E.M. Mantle source compositions of the Paraná Magmatic Province: evidence from trace element and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry. *Journal of Geodynamics*, v. 28, p. 439-459, 1999.
- MARQUES, L.S. Geoquímica dos diques toleíticos da costa sul-sudeste do Brasil: contribuição ao conhecimento da Província Magmática do Paraná. Tese de Livre Docência, Departamento de Geofísica, IAG-USP, 2001.
- MARQUES, L.S. & ERNESTO, M. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. In: *Geologia do continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Marques de Almeida*. cap. XV, p. 245-263. Ed. Beca, São Paulo, Brasil, 2004.
- MELFI, A.J., PICCIRILLO, E.M., NARDY, A.J.R. Geological and magmatic aspects of the Paraná basin: an introduction. In: *The Mesozoic flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil): petrogenetic and geophysical aspects*. PICCIRILLO, E. M. & MELFI, A. J. (eds). IAG-USP, 1988.
- PEATE, D.W., HAWKESWORTH, C.J., MANTOVANI, M.S.M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas, South America: classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, v. 55, p. 119-139, 1992.
- PEATE, D.W & HAWKESWORTH, C.J. Lithospheric to asthenospheric transition in low-Ti flood basalts from Southern Paraná, Brazil. *Chemical Geology*, v. 127, p. 1-24, 1996.
- PEATE, D.W.; HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M.S.M.; ROGERS, N.W. & TURNER, S.P. Petrogenesis and stratigraphy of the high-Ti/Y Urubici magma type in the Paraná flood basalt province and implications for the nature of 'Dupal'- type mantle in the South Atlantic region. *Journal of Petrology*, v. 40, n. 3, p. 451-473, 1999.
- PICCIRILLO, E.M. & MELFI, A.J. The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects. Instituto Astronômico e Geofísico - University of São Paulo, 600p., São Paulo, 1988.
- ROCHA JR, E.R.V., MARQUES, L.S., FIGUEIREDO, A.M.G. Determinação de elementos terras raras e outros traços em soleiras de diabásio da Província Magmática do Paraná por ativação neutrônica. In: *International Nuclear Atlantic Conference - INAC (Brazil)*, 2005 [no prelo].