



## Geoquímica isotópica do magmatismo pós-colisional neoproterozóico de afinidade toleítica alto-K no sul do Brasil: estudo da suíte Paulo Lopes, SC

L.M. Florisbal<sup>1</sup>, L.V.S. Nardi<sup>2</sup>, M.F. Bitencourt<sup>2</sup> & R.V. Conceição<sup>2</sup>

1 Programa de Pós-Graduação em Geociências/ IGEO/UFRGS - geoluana@yahoo.com.br

2 Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica/IGEO/UFRGS - lauro.nardi@ufrgs.br, fatimab@ufrgs.br, rommulo.conceicao@ufrgs.br

**Abstract** The Paulo Lopes Suíte (SPL), composed of the Paulo Lopes Granite (GPL), Garopaba Granitoids (GG) and Silveira Gabbro (GS), is an association of contemporaneous acid and basic rocks, comprising monzonitic and syenogranites associated to basic rocks, with abundant mafic microgranular enclaves, interpreted as co-mingling products. The contacts between granitoids and basic rocks are suggestive of coeval and interactive magmas. Field relations permit to establish a chronological order of magmatic events: the GPL is the first magmatic pulse and, when partially crystallized, was intruded by two mingled magmas, represented by the GG and the GS. The source of this magmatism is investigated by using isotopic data from whole-rock analyses for Rb-Sr, Sm-Nd, and Pb-Pb isotopes. For the basic rocks, the preliminary isotopic results point to juvenile sources enriched by metasomatism related to previous lithospheric subduction. The granitic rocks are interpreted as produced by fractional crystallization of the basic magmas after their contamination by crustal melts. The interpretation of the isotope data, together with field, structural and geochemical relations, permits to assign this magmatism to the high-K tholeiitic series which characterizes the early post-collisional stage of the Brasiliano/Pan-African Orogenic Cycle. An important vertical accretion during this period is thus demonstrated in southern Brazil.

**Palavras-chave:** Neoproterozóico, magmatismo pós-colisional, geoquímica isotópica, magmatismo toleítico alto-K, acreção juvenil.

**GEOLOGIA DA SUÍTE PAULO LOPES** O setor meridional da Província Mantiqueira expõe, em sua porção leste, um Cinturão Granítico de orientação NE-SW, com cerca de 800 km de comprimento e largura média de 150 km, denominado Batólito Florianópolis em Santa Catarina (Silva 1999). As rochas graníticas são relacionadas a eventos tectônicos abrangentes de natureza tangencial ou transcorrente do final do Ciclo Brasiliano, estão associadas espacial e temporalmente com intrusões básicas e representam a evolução de magmatismo calcálcico alto-K a shoshonítico e alcalino (Bitencourt & Nardi 1993 2000). O magmatismo do cinturão é interpretado pelos autores como produzido em ambiente pós-colisional, controlado por zonas de cisalhamento de escala litosférica no final do Ciclo Brasiliano. Outros autores interpretam o cinturão como raiz de arco magmático (Fernandes *et al.* 1992) ou como parte de orogênese ensialica (Basei 1985), correlacionável ao Cinturão Ribeira (Silva 1999).

A Suíte Paulo Lopes (SPL), composta pelo Granito Paulo Lopes (GPL), Granitóides Garopaba (GG) e Gabro Silveira (GS) é constituída por monzogranitos, sienogranitos e granodioritos, associados à gabros e dioritos, e foi definida primeiramente por UFRGS (1999). Enclaves máficos microgranulares são abundantes e interpretados como produto de mistura heterogênea dos magmas graníticos e básicos. Relações de mútua intrusão entre os granitóides e as

rochas básicas são frequentes, indicando a contemporaneidade dos magmas. A idade da Suíte é balizada pelo valor de  $626 \pm 8$  Ma (U-Pb SHRIMP) obtido no Granito Paulo Lopes por Silva *et al.* (1997).

A área de estudo constitui a localidade-tipo do Gabro Silveira e está localizada na porção sudeste do estado de Santa Catarina, região de Garopaba (Fig. 1). Essa região constitui uma zona de baixa deformação transcorrente, onde estruturas e texturas ígneas são bem preservadas. As rochas básicas foram estudadas em detalhe por Florisbal *et al.* (2005) e sua relação com as rochas graníticas, bem como a petrogênese da Suíte Paulo Lopes foi preliminarmente apresentada em Florisbal *et al.* (2005) e está ainda sob investigação.

Estudos geoquímicos mostram que os granitóides da Suíte Paulo Lopes são metaluminosos a levemente peraluminosos, com valores de A/CNK da ordem de 0,9 a 1,1. O teor médio de sílica é de 70 a 74% e os teores de álcalis da ordem de 8 a 9%. Os altos teores de álcalis são semelhantes aos de granitóides das séries alcalinas saturadas em sílica de ambientes pós-colisionais ou intraplaca. A razão  $K_2O/Na_2O$  do Granito Paulo Lopes é de 2,2 e dos Granitóides Garopaba é de 1,67. As razões  $FeO_T/(FeO_T+MgO)$  são diversas para o Granito Paulo Lopes (0,78) e Granitóides Garopaba (0,9), sendo similares às descritas em granitóides de afinidade alcalina ou tipo-A. Embora os teores de elementos maiores sejam

compatíveis com os de rochas da série shoshonítica, os teores relativamente baixos de Sr, em torno de 100 a 200ppm, indicam que esses granitóides não são vinculados a essa série. De acordo com os critérios sugeridos por Brown *et al.* (1984) e Peacock (1931) os granitóides da SPL são calcialcalinos, sendo o Granito Paulo Lopes semelhante aos de arco vulcânico e os Granitóides Garopaba aos granitos metaluminosos da série alcalina (Nardi 1991).

O Gabro Silveira tem composição de basalto subalcalino toleítico, similar aos basaltos alto Ti-P da Formação Serra Geral. Os baixos teores de  $Al_2O_3$ , entre 12 e 14%, seu caráter moderadamente alcalino, como definido por Peacock (1931), juntamente com os teores de  $K_2O$  em torno de 1,8%, classificam-no, de acordo com os critérios de Le Maitre *et al.* (2002), como rochas de afinidade toleítica alto-K.

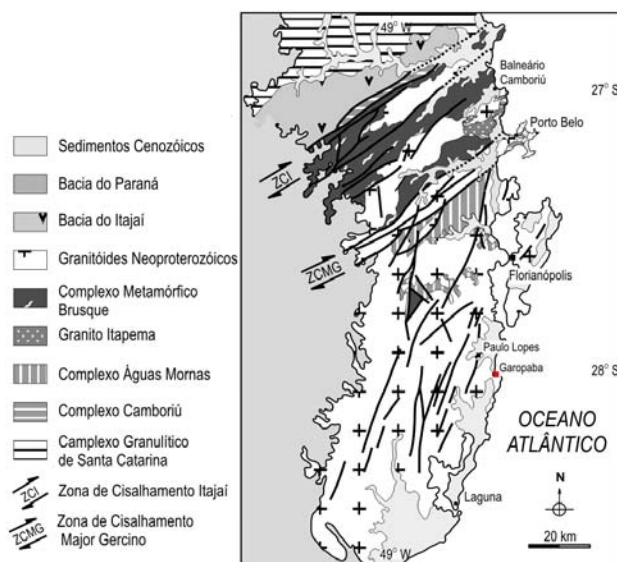


Figura 1. Compartimentação tectônica do Escudo Catarinense segundo Bitencourt *et al.* (1989). Área de estudo destacada em vermelho

**Geoquímica Isotópica** Análises de rocha total foram realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) com a utilização de um espectrômetro de massa de ionização termal com multicoletores tipo VG Sector 54 operando em modo estático, para as análises de Sm, Nd e Sr; e ICP-MS para as análises de Rb e Pb. Foram analisadas dez amostras de rochas básicas (representativas de líquidos magmáticos), três do Granito Paulo Lopes e duas dos Granitóides Garopaba. Os valores dos isótopos de Sr e Nd foram recalculados para uma idade de cristalização de 620

Ma, equivalente à idade obtida por Silva *et al.* (2003) no Granito Paulo Lopes.

As razões  $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t=620Ma)}$  e  $\epsilon Nd_{(t=620Ma)}$  das rochas básicas são pouco variáveis, situando-se em torno de  $0,706 \pm 0,001$ , e entre 1,53 e 2,30, respectivamente. Já para as rochas ácidas, a variação desses valores é mais destacada. No Granito Paulo Lopes, os valores de  $^{87}Sr/^{86}Sr_{(t=620Ma)}$  e  $\epsilon Nd_{(t=620Ma)}$  variam de 0,712 a 0,717, e de -5,88 a -6,26, respectivamente. Nos Granitóides Garopaba, esses valores variam de 0,707 a 0,711 e de -4,57 a -6,26. Dois intervalos de idade  $T_{DM}$  são identificados: um determinado nas rochas básicas, de 978 a 1045 Ma, e outro para as rochas graníticas, de 1455 a 1676 Ma.

No diagrama  $^{87}Sr/^{86}Sr$  vs.  $^{143}Nd / ^{144}Nd$  (Fig. 2), as amostras das rochas básicas situam-se próximas ao campo dos OIB (*ocean island basalts*), ratificando a semelhança que já fora verificada por meio do estudo dos elementos traço, e sugerindo uma fonte mantélica enriquecida em elementos incompatíveis por processos metassomáticos.

A ampla distribuição das amostras de rochas básicas para valores constantes de Nd, acompanhando o aumento dos valores de Sr radiogênico, sugere processos de disjunção entre os sistemas Rb-Sr e Sm-Nd, que poderiam estar associados (Conceição *et al.* 2005).

Embora as razões  $^{87}Sr/^{86}Sr$  das rochas básicas sejam amplamente variáveis, não se observa aumento do Sr radiogênico proporcional ao grau de diferenciação. Isto indica fontes juvenis não contaminadas. Já para as rochas graníticas, o aumento das razões de Sr radiogênico pode ser explicado por processos de diferenciação dos magmas básicos com forte contaminação crustal.

As razões isotópicas do sistema Pb/Pb são variáveis para as rochas básicas e bastante semelhantes para as rochas graníticas. Estes valores mostram, respectivamente: (i) razões  $^{206}Pb/^{204}Pb$  situadas no intervalo de 17,8 a 18,3 para as rochas básicas e de 19,1 a 19,7 para as graníticas, (ii) razões  $^{207}Pb/^{204}Pb$  de 15,5 a 15,6 para as rochas básicas, de 15,7 para os Granitóides Garopaba, e entre 15,74 e 15,77 para o Granito Paulo Lopes, e (iii) razões  $^{208}Pb/^{204}Pb$  de 38,4 a 38,6 para as rochas básicas, ficando em 39,7 para os Granitóides Garopaba e entre 39,4 e 39,9 para o Granito Paulo Lopes.

A composição isotópica do Pb mostra *trends* lineares bem definidos, o que sugere a geração das rochas graníticas a partir da interação da crosta com magmas básicos, mostrando que o manto não contribui apenas com o calor para a geração das mesmas.

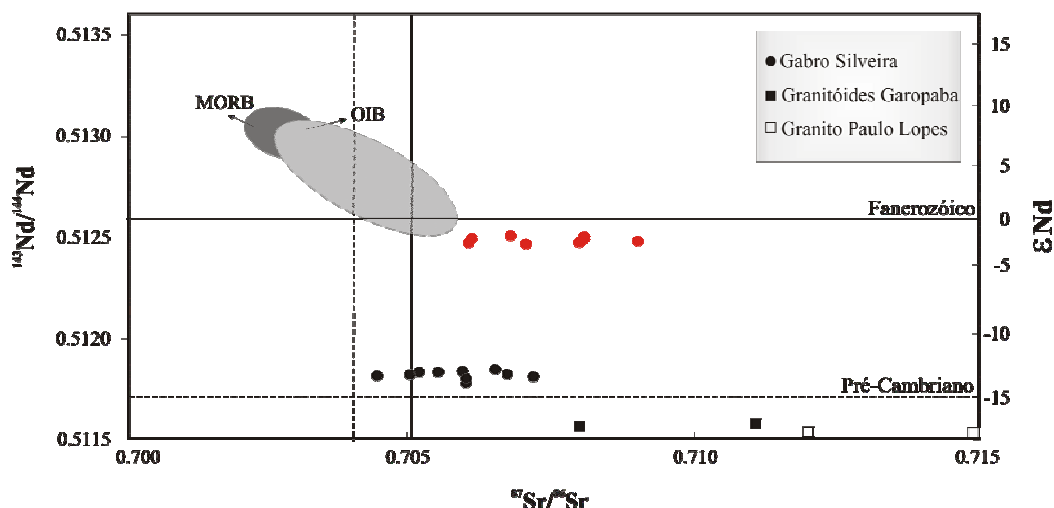


Figura 2. Composição isotópica do Nd e Sr ( $t = 620$  Ma) para as amostras da SPL. Os campos composicionais do MORB e OIB foram extraídos de Zindler e Hart (1986). As amostras plotadas em vermelho são amostras das rochas básicas em  $t=0$ . As linhas de referência do BSE para o Fanerozoico e para o Pré-cambriano foram extraídas de Faure(1986)

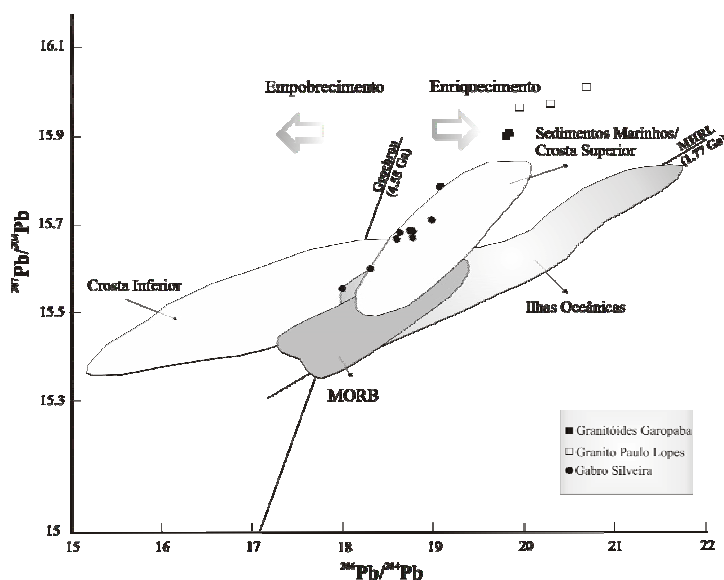


Figura 3. Razões isotópicas do Pb para as rochas da SPL. Os campos composicionais para crosta superior e inferior, MORB e OIB foram extraídos de White (2005)

Quando analisada a relação entre as razões  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  X  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , que pode ser interpretada como a relação entre U e Th, nota-se que os Granitóides Garopaba se afastam um pouco do *trend* principal. Isto sugere a interação de magmas básicos com materiais crustais que possuem diferentes conteúdos de Th. Nos diagramas  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , a posição das rochas básicas ratifica a sugestão de manto metassomatizado (Fig. 3).

Estudos de modelos de mistura estão sendo realizados com a finalidade de investigar mais detalhadamente a fonte das rochas graníticas da Suíte Paulo Lopes e sua relação genética com os magmas

básicos. Para tal, estão sendo avaliadas as composições isotópicas de rochas que poderiam ser seus protólitos, como os gnaisses do Complexo Camboriú e as rochas do Complexo Granulítico Santa Catarina.

**CONCLUSÕES** Os padrões de fracionamento dos ETRs, os altos conteúdos de LILE e as anomalias negativas de Nb e Ta das rochas da Suíte Paulo Lopes são semelhantes aos observados em rochas de arcos magmáticos maduros ou de ambientes pós-colisionais. Essas características, aliadas aos altos conteúdos de



Th, Ba, Rb e Cs, são sugestivas de fontes previamente modificadas por subducção.

A presença de rochas básicas contemporâneas aos granitóides sintranscorrentes precoces do estágio pós-colisional do Ciclo Brasileiro assinala a participação efetiva do manto na geração dos magmas nesse período. O fato de essas rochas terem afinidade toleítica, com teores moderados a altos de K, permite denominar os granitóides associados de toleíticos alto-K.

Os dados isotópicos indicam que as rochas básicas da SPL provêm de fontes semelhantes às dos OIB, isto é, fontes mantélicas modificadas por subducção

prévia, e os magmas graníticos representam a evolução do magmatismo básico após mistura com fusões de diferentes porções da crosta.

A Suíte Paulo Lopes é uma associação toleítica alto-K cogenética, o que destaca a importância do estudo e da denominação dos granitóides como parte de associações litológicas, dando destaque às rochas contemporâneas associadas aos mesmos, sejam essas associações magmáticas ou metamórfico-magmáticas.

O período pós-colisional na região estudada é caracterizado por acreção vertical por meio de geração de material juvenil, além de retrabalhamento da crosta..

### Referências

- BASEI M.A.S. 1985. *O Cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina*. São Paulo. 195p. (Tese de Doutorado em Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade de São Paulo).
- BITENCOURT M.F. & NARDI L.V.S. 1993. Late to Post-collisional Brazilian granitic magmatism in southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciência*, **65**: 3-16.
- BITENCOURT M.F. & NARDI L.V.S. 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**:186-189.
- BITENCOURT M.F., HACKSPACHER P.C. & NARDI L.V.S. 1989a. A Zona de Cisalhamento Major Gercino - Santa Catarina. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTRUTURAL E TECTÔNICA, 2, Fortaleza, 1989. *Atas...* Fortaleza, SBG, p. 214-216.
- BROWN G.C., THORPE R.S. & WEBB P.C. 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources. *Journal of Geological Society of London*, **141**: 413-426.
- CONCEIÇÃO R.V., MALLMANN G., KOESTER E. SCHILLING M., BERTOTTO G.W., RODRIGUEZ-VARGAS A. 2005. Andean subduction-related mantle xenoliths: Isotopic evidence of Sm-Nd decoupling during metassomatism. *Lithos*, **82**: 273-287.
- FAURE G. 1986. *Principles of isotope geology*. New York: John Wiley. 589pp.
- FERNANDES L.A.D., TOMASI A., PORCHER C.C., 1992. Deformation Patterns in the Southern Brazilian Branch of the Dom Feliciano Belt, a reappraisal. *Journal of South America Earth Sciences*, **5**:77-96.
- FLORISBAL L.M., NARDI L.V.S., BITENCOURT M.F. 2005. Magmatismo pós-colisional precoce de idade Neoproterozóica e afinidade toleítica alto-K no sul do Brasil: a Suíte Paulo Lopes, SC. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, Porto de Galinhas, 2005. *CD-Rom*. Porto de Galinhas, SBGq.
- FLORISBAL L.M., NARDI L.V.S., BITENCOURT M.F. & BETIOLLO L.M. 2005. Geoquímica das rochas máficas toleíticas da suíte pós-colisional Paulo Lopes, Neoproterozóico do sul do Brasil. *Pesquisas*, **32** (2): no prelo.
- LE MAITRE R.W. 2002. *Igneous Rocks - A classification and Glossary of Terms*. Cambridge University Press, Cambridge, 236p.
- NARDI L.V.S. 1991. Caracterização petrográfica e geoquímica dos granitos metaluminosos da associação alcalina: revisão. *Pesquisas*, **18** (1):44-57.
- PEACOCK M.A. 1931. Classification of igneous rock series. *Journal of Geology*, **39**:54-67.
- SILVA L.C. 1999. *Geocronologia U-Pb SHRIMP e Sm-Nd na Província Mantiqueira, no Cinturão Saldania (África do Sul) e a evolução do Ciclo Brasileiro/Pan Africano*. Porto Alegre. 243p. (Tese de doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- SILVA L.C., MACAMBIRA M.J.B., HARTMANN L.A., CHEMALE Jr. F. 1997. Pb-Pb zircon evaporation age and petrology of the strike-slip-related Paulo Lopes Granite, Southern Brazilian Granitic Province. In: SOUTH-AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 1, Campos do Jordão, 1997. *Extended Abstracts...* São Paulo, p.309-311.
- SILVA L.C., MCNAUGHTON N.J., HARTMANN L.A. & FLETCHER I.R. 2003. Contrasting zircon growth patterns in neoproterozoic granites of southern Brazil revealed by SHRIMP U-Pb analyses and SEM imaging: consequences for the discrimination of emplacement and inheritance ages. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4, 2003, Salvador. Short Papers... Salvador, CBPM, v.2, p.687-690.
- UFRGS. 1999. Mapeamento Geológico 1: 25 000 de parte das folhas Paulo Lopes (MI2909/4) e Imbituba (2925/2), SC. Porto Alegre. 7 vol. (Trabalho de Graduação do Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- WHITE W.M. 2005. Geochemistry: an on-line textbook. <http://www.geo.cornell.edu/geology/classes/geo455/Chapters.HTML>.
- ZINDLER A. & HART S.R., 1986. Chemical geodynamics. Ann. Ver. *Earth and Planetary Science Letters*, **14**:493-571.