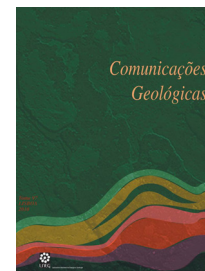


Diques máficos do Craton São Francisco, Brasil: idades e inferências sobre as fontes mantélicas

Mafic dykes from the São Francisco Craton, Brazil: ages and inferences regarding the mantle sources

V. A. V. Girardia^{1*}, W. Teixeira¹, M. Mazzucchelli², E. P. Oliveira³,
P. C. Corrêa da Costa⁴



Artigo Curto
Short Article

© 2014 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

Resumo: Diques máficos intrudem rochas Arqueanas e Paleoproterozóicas do craton do São Francisco. Os mais antigos ocorrem em Uauá e Lavras, cujos enxames toleíticos têm idades respectivas de 2,62 e 1,97 Ga, sendo que os noríticos, mais antigos, intrudiram há cerca de 2,73 e 2,66 Ga respectivamente. Os demais enxames, Paraopebas (2,10 Ga), Pará de Minas (1,71 Ga), Chapada Diamantina e Curaçá (1,5 Ga), Diamantina (0,93 Ga) e Salvador-Olivença (0,92 Ga), são formados por toleitos. Estudos geoquímicos e isotópicos realizados evidenciaram que os mantos parentais são heterogêneos, em escala variável, devido principalmente a metassomatismo causado principalmente por subduções de crostas oceânicas e sedimentos sobrejacentes e pela ascensão de fluidos tipo OIB, fenômenos recorrentes, em diversas épocas, provavelmente desde o Arqueano. Tais processos são consistentes com a história geológica das rochas encaixantes, caracterizada por acreções várias desde o Arqueano até cerca de 2,0 Ga. O modelo adotado, apoiado por dados geoquímicos e isotópicos, permite a avaliação dos vários componentes (MORB, OIB e fluidos provenientes da placa subductada) na formação do manto progenitor dos diques.

Palavras-chave: Diques máficos, Craton de São Francisco, Manto, Geoquímica, Isótopos Sr-Nd.

Abstract: Mafic dyke swarms crosscut Archean to Paleoproterozoic country-rocks of the São Francisco craton. The Uauá and Lavras regions include norite (2.73 Ga and 2.66 Ga) and tholeiite dykes (2.62 Ga and 1.97 Ga) respectively. The other swarms are made up of tholeiites: Paraopebas (2.10 Ga), Pará de Minas (1.71 Ga), Curaçá and Chapada Diamantina (1.5 Ga), Diamantina (0.93 Ga) and Salvador-Olivença (0.92 Ga). Geochemical and Sr-Nd isotopic data indicate variable scale of mantle heterogeneity, caused by recurrent metasomatic effects since Archean times, mainly due to the action of slab fluids from recycling of oceanic crusts and overlying sediments on the sub-lithospheric mantle, and by upwelling of OIB-like material. These processes are consistent with the protracted geologic history of the country rocks, given by episodic juvenile accretion and eventual assembly from Archean to ca. 2.0 Ga leading to emplacement of dyke swarms under transpression and/or extensional tectonics. The adopted mixing model, supported by geochemical and isotopic data, permits to evaluate the variation range of slab fluids, OIB and MORB components on the parental mantle composition of the studied dykes.

Keywords: Mafic dykes, São Francisco craton, Mantle, Geochemistry, Sr-Nd isotopes.

²Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Largo S. Eufemia, 19, I-41121, Modena, Italy.

³Departamento de Geologia e Recursos Minerais, Universidade de Campinas, C. P. 13083-970, Campinas, Brazil.

⁴Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Costa s/n 78060-900. Cuiabá, Brazil.

*Autor correspondente / Corresponding author: girardi@usp.br

1. Feições geológicas e petrográficas

O craton de São Francisco é considerado correlato ao craton do Oeste Congo na África, numa configuração pré-Atlântica. Durante o Neoproterozóico essa massa continental agiu como um remanescente tectonicamente estável em relação aos cinturões móveis da Gondwana. As rochas polimetamórficas de grau alto a médio do embasamento do craton do São Francisco Craton, são relacionadas a províncias crustais Arqueanas e Paleoproterozóicas (Teixeira *et al.*, 2000). Enxames de diques máficos cortam essas rochas encaixantes em vários períodos que variam entre 2,7 a 0,9 Ga. Esses enxames denominam-se: 1) Uauá; 2) Curaçá; 3) Chapada Diamantina-Paramirim (Sistema Espinhaço Norte); 4) Salvador-Olivença; 5) Lavras; 6) Paraopeba; 7) Pará de Minas; 8) Diamantina (Sistema Espinhaço Sul). Na região de Uauá ocorrem diques noríticos (2,73 Ga) e de diabásio (2,63 Ga) orientados segundo NW, com espessuras muito variáveis até 100m (Oliveira *et al.*, 2013). Os enxames de Curaçá e Chapada Diamantina distam cerca de 400 km, orientam-se segundo NE-SW e NNW respectivamente, e são constituídos por doleritos de idade semelhante (1,5 Ga) com espessuras variáveis de alguns centímetros até 50 metros (Silveira *et al.*, 2013). Os enxames das regiões de Salvador, Ilhéus e Olivença (0,92 Ga) orientam-se preferencialmente segundo NE-SW, e subsidiariamente segundo N-S e E-W. São constituídos por diabásios e anfíbolitos cujas espessuras variam de centímetros até 50m. Na região de Lavras ocorrem dois grupos de diques: os mais antigos, noríticos orientam-se segundo NW e NE, atingem até 100m de espessura e sua idade é 2,62 Ga. Os mais jovens (1,97 Ga) são formados por anfíbolitos, metagabros e metabasitos e sua espessura média varia de 2 a 10 metros. O enxame de Paraopebas (2,1 Ga) é constituído

¹Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago 562, Cidade Universitária 05508-080, São Paulo, Brazil.

por diques comumente orientados segundo NNW e raramente segundo NE. Possuem espessuras variáveis de 2 a 10 metros e atingem até 5 km de comprimento. São compostos por anfibólitos, metadiabásios e diabásios. Os diques de Pará de Minas (1,71 Ga) são constituídos por diabásios orientados segundo NW. Possuem em média 50 metros de espessura e são os mais proeminentes do craton, alcançando centenas de metros de comprimento. Os diques de Diamantina (0,93 Ga) têm orientações várias, segundo EW, NW, NS e NE. Suas espessuras giram em torno de 10 metros e exibem deformação e metamorfismo que originaram metabasitos e anfibólitos (Mazzucchelli *et al.*, 2000).

Diagramas TAS classificam quase todas as amostras como basaltos, que são consideradas basaltos alcalinos segundo o diagrama Nb/Y vs. Zr/TiO₂*0,0001. Algumas amostras do norito de Lavras e de toleitos de Salvador-Oliveira situam-se no campo dos andesitos basálticos ou dos andesitos, enquanto algumas dos toleitos de Uauá, Uauá, Diamantina, Paraopebas e Pará de Minas exibem tendência alcalina.

2. Geoquímica e isótopos Sr-Nd

Os dados geoquímicos incluem 107 análises. Rochas cumuláticas e contaminadas por encaixantes foram excluídas; a mobilidade dos elementos nas amostras metamorfozadas foi controlada através de diagramas MPR (*molecular proportional ratio diagrams*) (Pearce, 1968). Desse modo as amostras utilizadas são consideradas representativas dos magmas parentais. Rochas básicas incluindo diabásios, gabros e seus derivados metamórficos são aqui denominados toleitos, para distinguir tais enxames dos formados por noritos. As suítes noríticas e toleíticas de Uauá e Lavras diferem tanto nos teores de elementos maiores como na de traços. Noritos são mais enriquecidos em mg# (0,63-0,68) e (0,65-0,72) em Uauá e Lavras respectivamente, que os toleitos, que variam de 0,50 a 0,62 e 0,42 a 0,51. Diagramas de incompatíveis mostram que em Uauá os noritos são mais enriquecidos que os toleitos em terras raras leves (LREE) e médias (MREE) assim como nos elementos de alta carga (HSFE) e mais pobres nas terras raras pesadas (HREE). Os noritos de Lavras têm anomalias negativas de Nb em relação a Rb, K, Ba e La e Ce, enquanto nos toleitos Nb é enriquecido em relação a esses elementos. Em consequência as razões Rb/Sr, Ce/Y, Ba/La, La/Yb, La/Nb e Ba/Nb são mais altas nos noritos. Consequentemente, as razões LREE/HSFE e LILE/HSFE, representadas por La/Nb, Ba/Nb são baixas nos toleitos de Lavras e altas nos demais enxames. Os diagramas de variação dos toleitos de Paraopebas mostram que com aumento de mg#, CaO, Al₂O₃ e Ni aumentam, enquanto FeO_T, TiO₂, e os elementos incompatíveis Ba, Nb, La Ce, Nd, Sr, Sm, Eu, Gd, Dy, Y and Yb decrescem Tal comportamento é compatível com o fracionamento tipo gabro, ou seja caracterizado por fracionamento predominante de clinopiroxênio, plagioclásio e olivina, comum a todos os toleitos dos enxames estudados. O diagrama de incompatíveis caracteriza-se picos positivos de LILE (elementos de alto raio iônico) e LREE e negativos de Nb, ocasionando altos valores de Ba/Nb e La/Nb principalmente. Os enxames

Mesoproterozóicos de Curaçá e Chapada Diamantina, embora de mesma idade e geograficamente próximos, mostram significantes diferenças geoquímicas. Os diques de Curaçá são mais evoluídos (mg# 0,43-0,49), mais ricos em Na₂O, FeO_T, MnO, K₂O e mostram anomalias positivas de Nb e Ta em relação a K, Sr, Ba, La e Ce enquanto o enxame de Chapada Diamantina (mg# 0,57-0,59) tem anomalias negativas de Nb e Ta em relação a K, Ba Sr, La e Ce. Em consequência Ba/Nb, La/Nb, Ba/La, Zr/Nb são menores, e Zr/Y, Ce/Y, La/Yb maiores em Curaçá. Os enxames Mesoproterozóicos de Diamantina e Salvador-Oliveira são muito semelhantes geoquimicamente. Trata-se de toleitos evoluídos através de fracionamento tipo gabro, cujos incompatíveis caracterizam-se principalmente por diagramas e razões similares, como exemplificado pelas razões La/Nb, Zr/Nb, Ce/Y e Zr/Y. O comportamento dos incompatíveis e suas razões permitem importantes inferências sobre o manto. A heterogeneidade mantélica é feição comum, causada por vários fatores. A subducção de crostas oceânicas provoca metassomatismo mantélico. O enriquecimento de elementos LILE e LREE é comumente atribuído a sedimentos sobrejacentes à crosta oceânica, cujos rutilos de seus eclogitos reteriam de Nb e Ta. Desse modo resultam altos teores de Ba/Nb, La/Nb, Ba/La e Zr/Nb, a exemplo dos toleitos de Uauá, Paraopebas e dos noritos de Lavras. A origem do fluido tipo OIB é atribuída geralmente a astenosfera ou a níveis inferiores do manto litosférico. Características comuns desses fluidos as anomalias positivas de Nb e Ta em relação a Rb, K, La, Ce e Pb, e baixos teores de MREE e principalmente HREE. Tais características resultam em baixas razões LILE/HSFE e altas razões LREE/HSFE, LREE/HREE, e HSFE/HREE, como mostrado por baixos teores de Ba/Nb e La/Nb e altas razões La/Yb, Ce/Y, Ti/Y e Zr/Y, como ocorrente nos toleitos de Curaçá. Cinquenta e seis análises isotópicas Sr-Nd foram compiladas e plotadas no diagrama $\epsilon_{Sr(T)} - \epsilon_{Nd(T)}$. Os noritos de Lavras constituem dois campos composicionais: um caracterizado por forte influência do manto empobrecido e outro do enriquecido. Os toleitos mostram composição isotópica diversa, cujo campo varia desde próximo à "Terra Global" até o manto empobrecido. Noritos e toleitos de Uauá também têm composições isotópicas diversas, estes mostrando forte influência do manto empobrecido, e aqueles enriquecimento por Sr radiogênico. Tais características indicam forte heterogeneidade mantélica nesses enxames. As amostras de Curaçá indicam proveniência a partir de manto enriquecido, cuja influência parece ser menor tanto no enxame da Chapada Diamantina, como no de Diamantina. O enxame de Salvador-Oliveira caracteriza-se por forte variação composicional, indicando que o manto parental foi consideravelmente heterogêneo, com grande variação na quantidade de enriquecimento.

3. O modelo geoquímico e considerações finais

Os dados geoquímicos e isotópicos indicam que os magmas parentais dos enxames do craton de São Francisco foram provenientes de mantos heterogêneos, cuja composição dependeu da interação de vários componentes do reservatório mantélico. Objetivando quantificar as

variabilidades de mantos parentais envolvidos usou-se aqui o modelo utilizado por Girardi *et al.* (2013) que leva em conta as composições de N-MORB, E-MORB, OIB (Sun & McDonough, 1989) e de fluidos provenientes de crostas oceânicas subductadas, representada pela placa de Nazca (Rivalenti *et al.*, 2007), cuja composição pode ser considerada semelhante a media de basaltos e sedimentos subductados. Tais cálculos produziram os seguintes resultados: a composição mantélica dos toleitos de Uauá varia de 100% de N-MORB até 40% N-MORB + 10% OIB + 50% de fluidos da placa, e a dos noritos desde 92% N-MORB + 8% OIB até 40% N-MORB + 50% OIB + 10% de fluidos da placa. Em Lavras a variação dos toleitos é 60% N-MORB + 8% OIB até 30% N-MORB + 40% OIB + 30% de fluidos da placa. Para o enxame de toleitos de Paraopeba a variação é de 99% N-MORB + 1% OIB a 50% N-MORB + 30% OIB + 20% de fluidos da placa. A fonte mantélica dos toleitos de Curuçá varia desde a composição menos enriquecida composta por 70% N-MORB + 30% OIB até o mais enriquecida com 10% de N-MORB e 90% de OIB. Para os toleitos da Chapada Diamantina estimou-se variação de 90% N-MORB + 10% OIB a 50% N-MORB + 30% OIB + 20% de fluidos da placa. Os cálculos referentes aos enxames toleíticos de Diamantina e Salvador-Oliveira mostram composição semelhante do membro mais empobrecido, ou seja, 92% N-MORB + 8% OIB sendo os mais enriquecidos compostos por 30% N-MORB + 40% OIB + 30% de fluidos da placa; e 62% N-MORB + 18% OIB + 20% de fluidos da placa em Diamantina e Salvador-Oliveira respectivamente. A conjugação de dados geoquímicos e isotópicos obtidos mostram que a heterogeneidade mantélica no Craton de São Francisco ocorre em escala variável, causada pela interação dos vários componentes mantélicos. Tal escala pode ser muito pequena, provocando grandes variações em locais muito próximos. A grande variabilidade da composição mantélica recorrente em diferentes tempos geológicos, facilita teorias que defendem anomalias térmicas locais com causa. Subducções de crostas oceânicas, retratadas através da influência de seus fluidos, em diversas épocas, tiveram papel importante em quase todos os enxames, exceções feitas aos toleitos de Lavras e Curuçá. Estes últimos mostram, dentre todos os diques estudados, a maior influência de fluidos tipo OIB na sua origem mantélica. A composição mantélica estimada dos toleitos de Uauá e dos noritos de Lavras, cujos termos enriquecidos mostram

grande proporção de fluidos derivados da placa subductada, dá suporte à teoria segundo a qual, subducções de crosta oceânica foram presentes desde o Arqueano. As idades praticamente iguais, assim como a semelhança entre os mantos parentais permitem supor que a intrusão dos enxames de Diamantina e Salvador-Oliveira possam relacionar-se com evento geodinâmico maior, ou seja, o início do faturamento do Supercontinente Rodínia, que embora ocorrido a cerca de 750 Ma, pode ter-se iniciado a cerca de 1000 Ma (Cordani *et al.*, 2010).

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP e ao CNPq pelo auxílio financeiro.

Referências

- Cordani, U.G., Fraga L.M., Reis, N., Tassinari, C.J., Brito Neves, B., 2010. On the origin and tectonic significance of the intra-plate eventsof Grenvillian-type age in South America: A discussion. *Journal of South American Earth Sciences*, **29**, 143–159.
- Girardi, V.A.V., Teixeira, W., Mazzucchelli, M., Corrêa da Costa, P.C., 2013. Sr-Nd constraints and trace-elements geochemistry of selected Paleo and Mesoproterozoic mafic dykes and related intrusions from the South American Platform: insights into their mantle sources and geodynamic implication. *Journal of South American Earth Sciences*, **41**, 65-82.
- Mazzucchelli, M., Rivalenti, G., Menezes Leal, A.B., Girardi, V.A.V., Brito Neves, B.B., Teixeira, W., 2000. Petrology of metabasic dykes in the Diamantina region, Minas Gerais, Brazil. *Periodico di Mineralogia*, **70**, 231-254.
- Oliveira, E.P., Silveira, E.M., Söderlund U., Ernst R.E., 2013. U–Pb ages and geochemistry of mafic dyke swarms from the Uauá Block, São Francisco Craton, Brazil: LIPs remnants relevant for Late Archaean break-up of a supercraton. *Lithos*, **174**, 308-322.
- Pearce, T.H., 1968. A contribution to the theory of variation diagrams. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **19**, 42-57.
- Rivalenti, G., Mazzucchelli, M., Zanetti, A., Vannucci, R., Bollinger, C., Hémond, C., Bertotto, G.W., 2007. Xenoliths from Cerro de los Chenques (Patagonia): an example of slab-related metasomatism in the backarc lithospheric mantle. *Lithos*, **99**, 45-67.
- Silveira, E.M., Söderlund, U., Oliveira, E.P., Ernst, R.E., Menezes Leal, A.B., 2013. First precise U–Pb baddeleyite ages of 1500 Ma mafic dykes from the São Francisco Craton, Brazil, and tectonic implications. *Lithos*, **174**, 144-156.
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process. In: A.D. Saunders, M.J. Norry, (Eds), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society Special Publication, **42**, 313-345.