

A PROVÍNCIA MAGMÁTICA DO ATLÂNTICO EQUATORIAL (EQUAMP), NE DO BRASIL

Antomat Avelino de Macêdo Filho¹, Maria Helena Hollanda^{1,2}, Carlos José Archanjo², David Lopes de Castro³, Alanny Christiny Costa de Melo³

¹Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, e-mail: antomat@usp.br

²Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, SP, e-mail: hollandam@usp.br

³Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN

1. INTRODUÇÃO

No nordeste do Brasil são reconhecidos dois importantes eventos magmáticos do Cretáceo, os quais são representados pelo Enxame de Diques Rio Ceará-Mirim (EDCM), de aproximadamente 350 km de comprimento e direção E-W, e pelas rochas intrusivas (soleiras e diques) da Formação Sardinha expostos, respectivamente, no setor setentrional da Província Borborema (PB) e na borda leste da Bacia do Parnaíba (BP). Dados aeromagnéticos, disponibilizados pela CPRM, mostram um conjunto expressivo de anomalias lineares em estreita continuidade lateral com aquelas relacionadas ao segmento E-W do EDCM. A partir do meridiano 39° W, essas anomalias passam a uma orientação NE-SW, definindo um padrão geométrico arqueado para todo o EDCM (Figura 1), cuja uma extensão longitudinal atinge pelo menos c. 1000 km e lateral média de 100 km. Tais dimensões permitem classificar o EDCM como um enxame de diques gigante (*giant dike swarm*; cf. Ernst, 2014). Foram reconhecidos ainda dois outros *sets* de anomalias aeromagnéticas lineares, também interpretados como diques máficos e denominados enxame de diques Riacho do Cordeiro (EDRC; Folha Garanhuns, CPRM 2015) e Canindé (EDC; já cartografados em folhas da CPRM: Quixadá, 2007; Itatira, 2008; Bonhu, 2014; Banabuiú, 2014; Itapiúna, 2014; Jaguaretama, 2014; Taperuaba, 2014; Bloco Tróia-Pedra Branca, 2015). O Enxame de Diques Riacho do Cordeiro aflora na porção oriental da PB, truncando terrenos precambrianos dos domínios Central e Meridional. Esse conjunto, de prováveis 700 km de extensão, acompanha a orientação da margem continental entre Recife e Salvador, sendo recoberto, em sua parte central, pelos depósitos da Bacia de Tucano. Por sua vez, o enxame de diques Canindé propaga-se por cerca de 260 km, seguindo a linha de costa do Estado do Ceará. Na escala da província, a orientação dos diques máficos (EDCM e EDC) converge para formar uma junção triplíce, cujo foco estaria situado sob os sedimentos da porção ocidental da Bacia Potiguar.

Na Bacia do Parnaíba ocorrem soleiras e diques máficos, agrupados na Formação Sardinha. Essa unidade, juntamente com o EDCM, constitui um importante evento magmático do Cretáceo relacionado ao processo de rifteamento crustal e abertura do Atlântico Equatorial (Almeida, 1986; Milani e Thomaz Filho, 2000). As soleiras máficas estão expostas comumente no leste da bacia e, em menor proporção, na sua porção central. Na região de Pedro II (PI) as espessuras das soleiras podem atingir até 150 metros em subsuperfície. Quando o magmatismo Sardinha ocorre como diques, seguem direções NW-SE a NE-SW (Rezende, 1964).

Similaridades composicionais e cronológicas, somadas à proximidade geográfica entre os enxames de diques (sobretudo o EDCM e EDC) e as rochas intrusivas da Formação Sardinha, levaram-nos a propor que esse conjunto magmático representa uma grande província ígnea (*Large Igneous Province*, LIP) de idade eocretácea - EQUAMP (acrônimo em inglês para *Equatorial Atlantic Magmatic Province*). Por suas características, a EQUAMP satisfaz os critérios de LIPs do tipo *plumbing system-type* (cf. Ernst, 2014) ou ainda LPP (*Large Plutonic Province*; cf. Sheth, 2007). Dado seu padrão geométrico e orientação dos diques, são evidentes sua correlação com a evolução da margem atlântica equatorial e, possivelmente, o controle das estruturas precambrianas do embasamento.

2. CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR

A caracterização da EQUAMP como LIP está sendo abordada dentro de um projeto multidisciplinar que inclui a obtenção de dados geoquímicos, geocronológicos, estruturais (anisotropia de susceptibilidade magnética,

análise de paleostress), geofísicos e paleomagnéticos. Entre os dados obtidos até o momento destacam-se a caracterização petrográfica e geoquímica das rochas intrusivas Sardinha e diques do EDCM.

As soleiras e diques Sardinha compreendem predominantemente diabásios equigranulares, de textura fina a média (< 5 mm), embora tipos microporfíricos sejam identificados. A assembleia mineral é dominada por plagioclásio, clinopiroxênio (augita e pigeonita) e óxidos (magnetita/titano-magnetita). Apatita, olivina (em geral pseudomórfica) e quartzo associado à textura gráfica são reconhecidos como fases minerais acessórias. No diagrama TAS, o magmatismo Sardinha se diferencia em basaltos a basaltos andesíticos, subalcalinos, e tipos alcalinos arranjados ao longo do *trend* traquítico (traquibasaltos, traquibasaltos andesíticos, traquiandesitos e traquitos; Figura 2a).

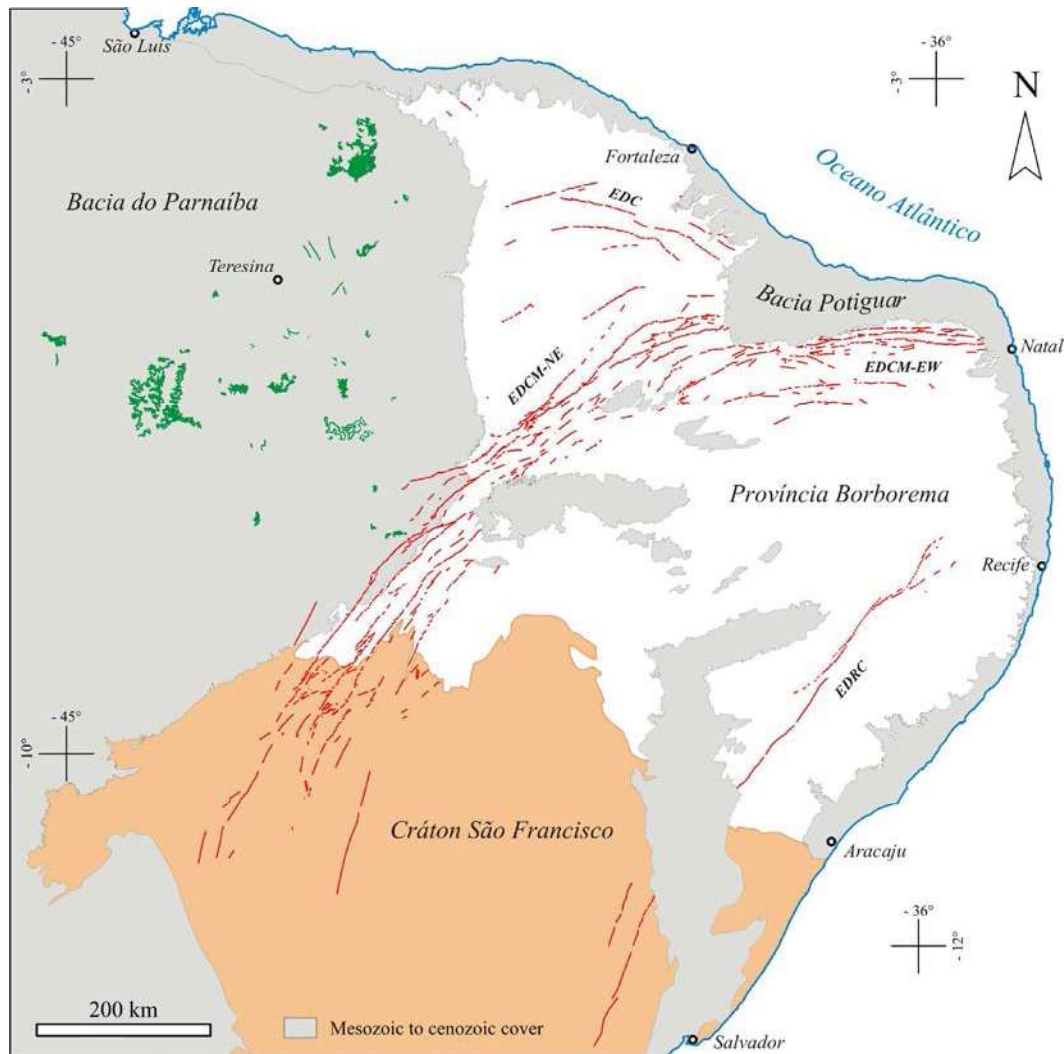


Figura 1. Província Magmática do Atlântico Equatorial (EQUAMP) traçados a partir da integração de produtos de sensores remotos, mapas aeromagnéticos de campo total e folhas diversas da CPRM. Observar as ocorrências dos diques eocretáceos (em vermelho) e soleiras e diques da Formação Sardinha (em verde). Notar quatro principais segmentos de diques: enxame de diques Rio Ceará-Mirim EW (EDCM-EW), enxame de diques Rio Ceará-Mirim NE (EDCM-NE), enxame de diques Riacho do Cordeiro (EDRC) e enxame de diques Canindé (EDC).

O EDCM é constituído por diabásios de textura média a grossa (~0,5 a 1 cm), cuja assembleia mineral, Ca-plagioclásio+piroxênio+opacos (±olivina), é semelhante às rochas da Formação Sardinha. Os tipos máficos são dominantes, desde basaltos, basaltos andesíticos a traquiandesitos basálticos, os quais são encontrados tanto

nos diques do segmento E-W (Ngonge *et al.*, 2016) quanto NE (este trabalho). Rochas de composição intermediária a ácida (traquiandesitos/dacitos) são subordinadas, tendo sido encontrados apenas no segmento NE (Figura 2a). No diagrama AFM de Irvine e Baragar (1971; Figura 2b), as composições do EDCM e Sardinha se alinham em definir um *trend* toleítico (a transicional) bem definido, com tipos primitivos a mais evoluídos. Ainda do ponto de vista geoquímico, as rochas da EQUAMP são classificadas como toleítos de alto-Ti ($\text{TiO}_2 \geq 1.5 \text{ wt.}\%$; $\text{Ti/Y} \sim 360$) e de baixo-Ti ($\text{TiO}_2 \leq 1.5 \text{ wt.}\%$; $\text{Ti/Y} \leq 360$), à semelhança de outras províncias ígneas do Gondwana. Trabalhos anteriores propuseram que a fonte para dos magmas primitivos da EQUAMP seria o manto litosférico enriquecido (Fodor *et al.*, 1990; Hollanda *et al.*, 2006; Ngonge *et al.*, 2016), muito embora um componente astenosférico tipo FOZO tenha sido reconhecido através de dados isotópicos de Pb para o segmento E-W do EDCM (Ngonge *et al.*, 2016).

Os dados geocronológicos existentes para as rochas da EQUAMP são principalmente idades K/Ar agrupadas no intervalo entre 145 e 110 Ma, sugerindo que o magmatismo se coloca desde o Jurássico Superior até o Cretáceo Inferior (p.ex., Misuzaki *et al.*, 2002). Dados $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ no ramo E-W do EDCM revelaram dois episódios distintos, c. 132 Ma (toleítos de baixo-Ti) e c. 129 Ma (toleítos de alto-Ti; também Ngonge *et al.*, 2016), os quais coincidem em parte com idades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ entre 129 e 124 Ma publicadas para as rochas do magmatismo Sardinha (Baksi e Archibald, 1997).

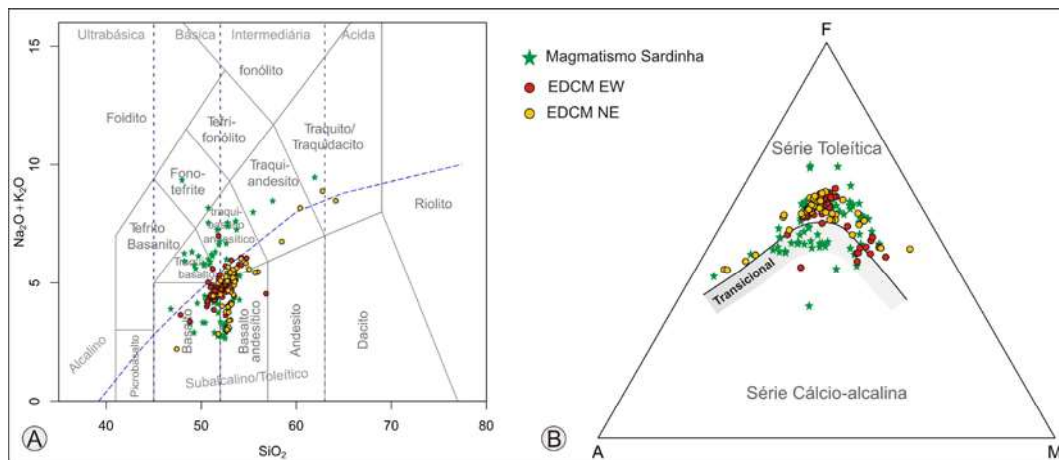


Figura 2: a) Diagrama TAS segundo Le Bas *et al.* (1986) e b) Diagrama AFM de Irvine e Baragar (1971), aplicados ao Magmatismo Sardinha e Enxame de Diques Rio Céara-Mirim (segmentos NE e EW).

3. DISCUSSÃO

De acordo com Ernst (2014), a região de convergência de enxame de diques com diferentes orientações pode corresponder ao foco do magmatismo, ou seja, a partir de onde o magma ascende e preenche o sistema de fraturas crustais que divergem do foco. A distribuição dos diques máficos na província sugere, portanto, que o foco, ou um dos focos, do EDCM e do EDC estaria situado na porção oeste da Bacia Potiguar. Estudos de ASM mostraram que o fluxo de magma no ramo E-W do EDCM foi predominantemente lateral, exceto na interseção dos diques máficos com o sistema de *necks* vulcânicos do magmatismo Macau onde a trama magnética dos diques é vertical (Archanjo *et al.*, 2000; Archanjo *et al.*, 2002). A zona com tramas verticalizadas na interseção do EDCM com o magmatismo Macau poderia indicar a presença local de fraturas profundas reativadas que facilitaram a ascensão e alojamento dos diques máficos no Cretáceo e dos *necks* vulcânicos no Terciário. Possíveis zonas de alimentação poderiam ocorrer ainda na borda leste da Bacia do Parnaíba onde os diques máficos poderiam corresponder aos dutos alimentadores das soleiras da Formação Sardinha. As idades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ disponíveis nas soleiras e no EDCM, embora restritas e carentes de um melhor controle petrológico, sugerem a contemporaneidade dos sistemas de diques e soleiras. Estudos detalhados da trama mineral e magnética nos diques máficos e nas soleiras são necessários para confirmar esses modelos.

Do ponto de vista geoquímico, os dados disponíveis permitem fazer correlação com outras províncias magmáticas gondwânicas (Paraná-Etendeka, CAMP, Karoo), incluindo predominantemente magmas toleíticos de alto e baixo Ti. As composições transicionais reconhecidas em algumas das soleiras Sardinha serão exploradas para entender a influência de fontes distintas e/ou contaminação crustal. As idades disponíveis para o EDCM, quando comparadas à província Paraná-Etendeka, indicam que a abertura da margem atlântica centro-sul e equatorial durante o Eocretáceo se deu em regime relativamente sincrônico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA F.F.M. (1986). Distribuição Regional e Relações Tectônicas do Magmatismo Pós-Paleozóico no Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, 16(4): 325-349.
- ARCHANJO, C.J., TRINDADE, R., MACEDO, J.W.P., ARAÚJO, M.G.S. 2000. Magnetic fabric of a basaltic dyke swarm associated with Mesozoic rifting in northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 13: 179-189
- ARCHANJO, C.J., ARAÚJO, M.G.S., LAUNEAU, P., 2002. Fabric of the Rio Ceará-Mirim mafic dyke swarm (northeastern Brazil) determined by anisotropy of magnetic susceptibility and image analysis. *Journal Geophysical Research*, 107(B3): 10.1029/2001JB000268.
- BAKSI, A.K., ARCHIBALD, D.A. (1997). Mesozoic igneous activity in the Maranhão province, northern Brazil: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence for separate episodes of basaltic magmatism. *Earth and Planetary Science Letters*, 151(3-4): 139-153.
- ERNST, R.E. (2014). *Large Igneous Province*. Cambridge Un. Press, United Kingdom: 653 pp.
- FODOR, R.V., SIAL, A.N., MUKASA, S.B., MCKEE, E.H. (1990). Petrology, isotope characteristics, and K-Ar ages of Maranhão, northern Brazil, Mesozoic basalt province. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104: 555-567.
- HOLLANDA, M.H.B.M., PIMENTEL, M.M., OLIVEIRA, D.C., JARDIM DE SÁ, E.F. (2006). Lithosphere–asthenosphere interaction and the origin of cretaceous tholeiitic magmatism in Northeastern Brazil: Sr–Nd–Pb isotopic evidence. *Lithos* 86: 34–49.
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523–548.
- LE BAS, M. J., LE MAITRE, R. W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali–silica diagram. *Journal of Petrology*, 27: 745-750.
- MISUZUKI, A.M.P., THOMAZ-FILHO, A., MILANI, E.J., DE CÉSERO, P. (2002). Mesozoic and Cenozoic igneous activity and its tectonic control in northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 15:183-198.
- MILANI, E.J. & THOMAZ FILHO, A. (2000). Sedimentary basins of South America. In: Cordani, U.G.; Milani, E.J.; Thomaz Filho, A.; and Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31st International Geological Congress, pp. 389-452.
- NGONGE, E.D., HOLLANDA, M.H.B.M., ARCHANJO, C.J., OLIVEIRA, D.C., VASCONCELOS, P.M.P., MUÑOZ, P.R.M. (2016). Petrology of continental tholeiitic magmas forming a 350-km-long Mesozoic dike swarm in NE Brazil: constraints of geochemical and isotopic data. *Lithos*, 258-259: 228-252.
- REZENDE, W.M. (1964). Bacia do Maranhão – estudos dos processos de intrusões e extrusões de magmas básicos. Relatório Interno PETROBRAS, DEPEX/SIEX, 23 pp.
- SHETH, H.C. (2007). ‘Large Igneous Provinces (LIPs)’: definition, recommended terminology, and a hierarchical classification. *Earth Science Reviews*, 85: 117-124.