

IDADE E LITOGEOQUÍMICA DO METAGRANITOIDE CALDEIRÃO VERMELHO (PARNAMIRIM-PE), ZONA TRANSVERSAL, PROVÍNCIA BORBOREMA.

Rodrigo Fabiano da Cruz
Ana Cláudia de Aguiar Accioly

CPRM - Serviço Geológico do Brasil – SUREG-RE
rodrigo.cruz@cprm.gov.br ana.accioly@cprm.gov.br

RESUMO

O Metagranitoide Caldeirão Vermelho (MCV) localiza-se ao sul da cidade de Parnamirim, no sertão do Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. Constitui-se principalmente por um extenso corpo e estreitas lentes alongadas na direção E-W. O MCV é intrusivo em rochas supracrustais tonianas do Complexo Salgueiro. O corpo principal é cartografado como uma dobra fechada reclinada. Geotectonicamente se insere na Faixa Alto Pajeú da Zona Transversal na Província Borborema, a norte da Zona de Cisalhamento Pernambuco e a sudeste da Zona de Cisalhamento Parnamirim, na proximidade da confluência entre elas e fortemente influenciado pelas mesmas. As rochas MCV possuem composição granítica, granodiorítica a tonalítica, por vezes constituindo augen-gnaisses e apresentando bandamento marcado pela alternância de concentrações de minerais félsicos (quartzo, plagioclásio e microclina) e minerais máficos (biotita, clorita e anfibólio). O MCV esteve submetido a um grau metamórfico em condições P/T da fácies xisto verde. Em termos litogeoquímicos as amostras do MCV classificam-se como rochas fracamente peraluminosas ($ISA=1-1,1$), com teores elevados de SiO_2 e teor médio de 15% de Al_2O_3 . As amostras do MCV apresentam características mais compatíveis com rochas calcioalcalinas de alto potássio. Nos diagramas multi-elementares as amostras do MCV mostram assinaturas condizentes com granitóides calcioalcalinos gerados em ambientes de subducção. Nos diagramas classificatórios de ambiência tectônica as amostras do MCV plotam como granitóides de arco vulcânico a sin-colisionais. Datação U-Pb por LAM-MC-ICP-MS em uma amostra do metagranito produziu duas populações bem definidas de zircão. A primeira mostra um arranjo linear em diagrama concórdia, com um intercepto superior de 2.622 ± 15 Ma, representando possíveis zircões herdados por fusão de material mais antigo. A segunda população apresenta-se aproximadamente concordante com uma idade calculada de 611 ± 14 Ma ($MSWD=2,5$ e 95% de confiabilidade), a qual é interpretada como a idade de cristalização/geração do MCV. Esta idade é consistente com aquelas publicadas para granitos (ortognaisses) sin-tectônicos à Orogênese Brasileira-Panafricana na Província Borborema. Obteve-se uma idade modelo T_{DM} de 2082 Ma em uma amostra com $\epsilon Nd(611 \text{ Ma})$ de -19,73. Os resultados apontam como fonte geradora do MCV uma origem principalmente infracrustal gerada por reciclagem orogênica.

Palavras chave: Magmatismo Brasileiro, Geologia Isotópica, Geocronologia U-Pb, LAM-ICP-MS, Litogeoquímica.

ABSTRACT

The Caldeirão Vermelho Metagranite (CVM) is located south of the Parnamirim city, Pernambuco State, northeastern Brazil. It is mostly represented by a long body and narrow lens elongated in EW direction. The CVM is intrusive in Tonian supracrustals rocks of the Salgueiro Complex. The main body is mapped as a recumbent closed fold. Tectonically, it is located in the Alto-Pajeu Belt of the Transverse Zone of Borborema Province, bounded by the Pernambuco and Parnamirim Shear Zones, at south and northwest, respectively, near their confluence and strongly influenced by them. The CVM presents granitic and tonalitic to granodioritic composition. Some bodies are converted to *augen* gneisses that show a banding marked by different concentrations of felsic minerals (quartz, plagioclase and microcline) and mafic minerals (biotite, chlorite and amphibole). The CVM was metamorphosed to upper-greenschist facies. In terms of lithogeochemical characteristics, the samples of CVM can be classified as weakly peraluminous ($ASI=1-1.1$) and have high contents of SiO_2 and about 15% of Al_2O_3 , otherwise the CVM generally resembles high-K calc-alkaline granites. Spidergrams and REE patterns are consistent with calc-alkaline granites generated on volcanic arc tectonic setting. In trace elements discriminant diagrams, the CVM samples spread close of the boundary between volcanic arc granite and syn-collisional granite fields. U-Pb dating by LAM-MC-ICP-MS was realized for one sample of the CVM. The results can be divided in two populations of zircon grains. The first one yielded a Discordia with upper intercept age of $2,622 \pm 15$ Ma, which represents ages of inherited zircons possibly related to older source material, the second one, nearly-concordant analysis define a mean age of 611 ± 14 Ma, which is interpreted as the crystallization age of CVM. This age is consistent with the published ages of syn-tectonic granites related to Brasiliano/Panafrican orogenesis in the Borborema Province. A Rhyacian Nd model age (T_{DM}) with $\epsilon Nd(0.6Ga) = -19.73$ was acquired for one sample of metagranite. These results point out that infracrustals rocks were the foremost source for CVM, which was mainly generated by orogenic recycling.

Keywords: *Brasiliano Magmatism, Isotopic Geochemistry, U-Pb Geochronology, LAM-ICP-MS, Lithogeochemistry.*

INTRODUÇÃO

Corpos de metagranitoides, denominados Caldeirão Vermelho (MCV), localizam-se ao sul da cidade de Parnamirim e a oeste da cidade de Terra Nova, no sertão do Estado de Pernambuco, aflorando numa área de aproximadamente 80km². Ocorrem na porção central da Folha Parnamirim (SC.24.V.B-II), cujo projeto de mapeamento, na escala de 1:100.000, foi executado pela CPRM/SGB através da superintendência regional de Recife. Geotectonicamente os corpos MCV se inserem na Província Borborema (Almeida *et al.*, 1977; 1981), a qual é

caracterizada, há muito tempo, pela riqueza e diversidade do magmatismo granítico (Almeida *et al.*, 1967; Sial, 1986, Brito Neves *et al.*, 2003).

A Província Borborema é subdividida em três domínios estruturais principais (Brito Neves *et al.*, 2000), setentrional, central/zona transversal e meridional/zona perifranciscana. Estes Domínios estão separados entre si das zonas de cisalhamento Patos e Pernambuco, de direção E-W. A Zona Transversal, é subdividida em cinco terrenos (Santos, 1995, Ferreira *et al.*, 1998; Santos *et al.*, 2010; Schmus *et al.*, 2011), de um dos quais os corpos do

MCV fazem parte, o Terreno Alto Pajeú.

Destacam-se na Zona Transversal, pelo menos, dois grandes episódios de magmatismo granítico. O primeiro possivelmente criado a partir da quebra/colagem do Supercontinente Rodínia (Esteniano/Toniano), que inclui vulcanismo félsico e plutonismo granítico associados à supracrustais cujos posicionamentos tectônicos são debatidos na literatura (Van Schmus *et al.*, 2011; Santos *et al.*, 2010; Guimarães *et al.*, 2012). O segundo estabeleceu-se relacionado à tectônica brasileira-panafricana (Ediacarana) e a zonas de cisalhamento transcorrente. Estas últimas são também responsáveis pelo formato final geométrico-estrutural da província. De acordo com vários autores (Guimarães *et al.*, 2004; Van Schmus *et al.*, 2011), as idades obtidas para os granitos brasileiros sugerem uma atividade magmática com duração em torno de 100 Ma.

Em mapas de integração regional, o MCV foi classificado como sendo de idade mesoproterozoica (Angelim & Kosin, 2001) e pertencente a um conjunto de rochas, de natureza petrográfica e litogeoquímica diversas, denominado unidade litoestratigráfica Metagranitoides Cariris Velhos. Os corpos do MCV apresentam-se alongados, por vezes compondo estreitas lentes na direção E-W. O corpo principal foi cartografado com um desenho de dobra fechada reclinada, demonstrando que o mesmo foi afetado por fase de dobramento associada à orogênese brasileira. Em campo, os corpos MCV afloram majoritariamente sob a forma de lajedos descontínuos, constituídos por metagranitos a metagranodioritos, no geral equigranulares médios e mais raramente inequigranulares, com fenocristais de K-feldspatos (~1cm) estirados, por vezes apresentando-se como *augens*-gnais. Também mostra estruturas

migmatíticas, predominantemente bandadas, com neossomas graníticos intensamente dobrados. Uma fácies granítica pouco deformada, com recristalização e estruturas de fluxo, está relacionada a pulsos mais jovens deste plutonismo.

GEOLOGIA REGIONAL

A Faixa Alto Pajeú da Zona Transversal da Província Borborema (Fig. 1), onde se encontram os corpos do MCV, está limitado a norte-noroeste pela Faixa Piancó-Alto Brígida e ao sul pelo Domínio Pernambuco-Alagoas. Aparece com um formato de leque abrindo-se na direção E/NE, separado dos demais domínios supracitados pelas zonas de cisalhamento Parnamirim e Pernambuco Leste, respectivamente. Medeiros (2004) definiu a Zona de Cisalhamento Serra do Caboclo como o limite entre os domínios Alto Pajeú e Piancó-Alto Brígida.

A Faixa Alto Pajeú foi definido originalmente por Santos (1995; 1996) como um terreno tectonoestratigráfico, abrangendo em seu interior três associações litoestratigráficas principais. Uma associação mais antiga, de idade paleoproterozoica, a qual não congrega unidades extensas como as demais, ocorrem de forma descontínua e geralmente é representada por “janelas do embasamento”, interpretadas como sendo a porção basal do domínio. Outra, intermediária, com idade entre o Mesoproterozoico (Esteniano) e início do Neoproterozoico (Toniano), consiste de rochas metassedimentares a metavulcanossedimentares (Complexos Salgueiro, Riacho Gravatá, Lagoa das Contendas, etc.) e metaplutônicas (Metagranitoides Cariris Velhos). A última, e mais recente, apresenta idades entre 650 e 550 Ma, sendo formada por granitoides gerados durante o Ciclo Brasileiro, destacando-se um cinturão de plutons sieníticos (Sial, 1986). Em

trabalhos mais recentes sobre a Zona Transversal, alguns autores (Santos *et al.*, 2010; Van Schmus *et al.*, 2011), restringem a predominância de rochas mais antigas relacionadas ao ciclo Transamazônico-Eburneano, ao Terreno Alto Moxotó, considerando este como um conjunto primordialmente paleoproterozoico, e reafirmando o predomínio de rochas caririanas e brasileiras no Terreno Alto Pajeú, interpretando-o como eminentemente meso/neoproterozoico, onde prevalecem rochas metassedimentares de idade toniana.

O estudo do magmatismo ediacarano na Zona Transversal da Província Borborema tem sido alvo de vários pesquisadores, cuja sistematização inicial proposta (Almeida *et al.*, 1967) e sintetização (Sial, 1986), vem sendo utilizada e renovada de dados até o presente (Ferreira *et al.*, 1998; Santos & Medeiros, 1999, Brito Neves *et al.*, 2003; Guimarães *et al.*, 2004; Guimarães *et al.*, 2011, dentre outros).

Este magmatismo pode ser reconhecido com base nas relações de

campo como pré-, sin- ou pós-tectônico, em termos do evento de deformação principal da orogênese brasileira-panafricana (Van Schmus *et al.*, 2011). Segundo esses últimos autores, vários plutons graníticos (gnáissicos) pré-tectônicos, sin-deformacionais e pós-tectônicos têm idades entre 640 a 610 Ma, 610 a 590 Ma e 580 a 570 Ma, respectivamente. Outros estudos apontam pico de metamorfismo (alta T) brasileiro na Província Borborema (Domínio Central e Sul) variando entre 625-600 Ma (Neves *et al.*, 2009; 2012). Guimarães *et al.*, (2004) propôs uma subdivisão deste magmatismo em quatro grupos maiores com base nas suas características químicas e isotópicas: 1) Granitóides calcioalcalinos de médio a alto potássio, tipo I (com idades entre 640 e 600 Ma); 2) Granitóides calcioalcalinos e shoshoníticos associados com K-dioritos, intrusivos entre 590 e 581 Ma; 3) Granitóides alcalinos pós-colisionais intrusivos a 570 Ma e 4) Granitóides tipo-A, pós-orogênicos.

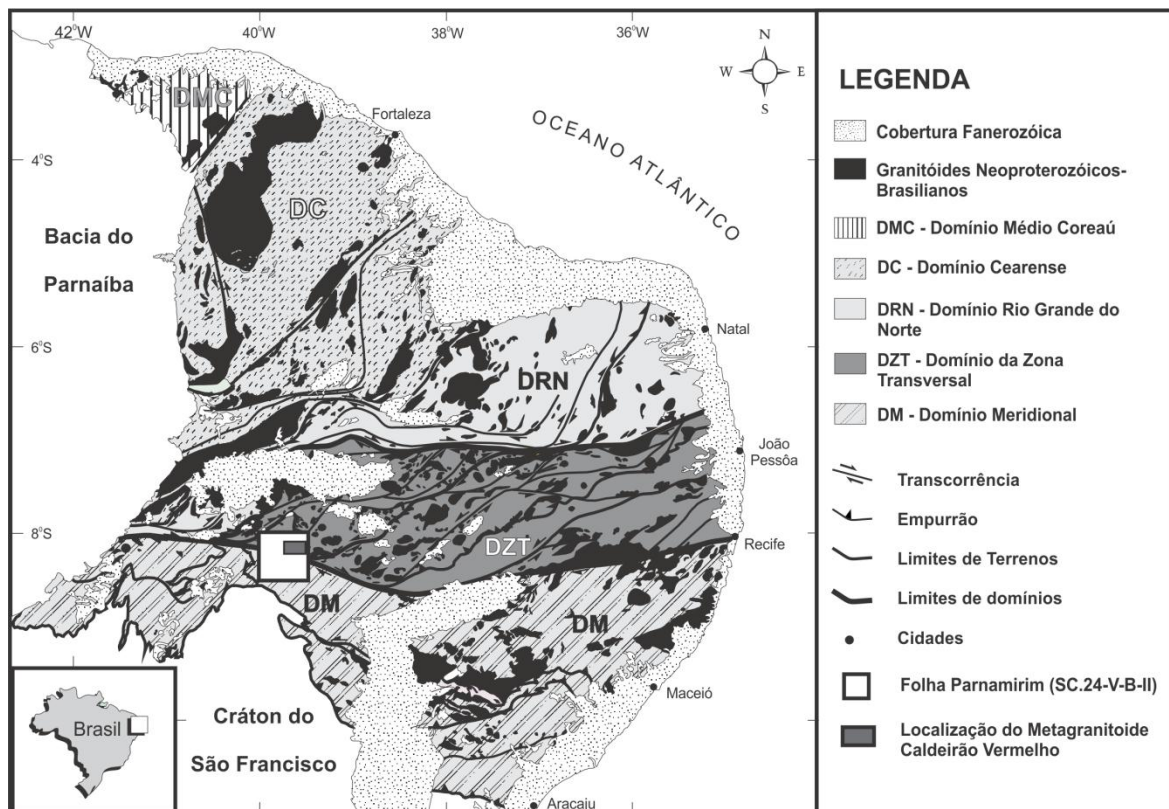


Figura 1: Província Borborema e a compartimentação em domínios geotectônicos, modificado de Medeiros (2004). Localização da Folha Parnamirim e da área de ocorrência dos corpos do MCV.

GEOLOGIA LOCAL E PETROGRAFIA DAS AMOSTRAS ESTUDADAS

Os metagranitoides Caldeirão Vermelho se encontram no interior do Domínio Alto-Pajeú em área compreendida entre as zonas de cisalhamento Pernambuco e Parnamirim, nas proximidades destas estruturas e sob a forte influência das mesmas (Figura 2). São intrusivos em granada-biotita xistos do Complexo Salgueiro de idade toniana (Projeto Folha Salgueiro CPRM/SUREG-RE, *no prelo*). Ao norte do corpo aflora um plúton batolítico de granito não deformado de idade inferida ediacarana tardia (Plúton Parnamirim), o qual também corta o MCV sob a forma de diques na borda norte do corpo principal. Embora as rochas encaixantes do MCV sejam predominantemente xistos

de grau metamórfico da zona da granada, pertencentes ao Complexo Salgueiro, este também abrange rochas metavulcânicas de amplo espectro composicional, bem como rochas metapsamíticas a metagrauváquicas. Estas rochas aparecem predominantemente na Folha Salgueiro na adjacência da Folha Parnamirim.

O principal corpo MCV, assim como as rochas metassedimentares que o encaixam, estão afetados pela intensa deformação relacionada à tectônica brasileira-panafricana. Os corpos MCV são *pre-* a *sin-orogênicos*. Aflora como matacões, lajeiros e/ou serrotes como aquele que o denomina, Caldeirão Vermelho.

Petrograficamente as amostras do MCV classificam-se como metagranitoides/ortognaisses de composição granítica a granodiorítica biotita-gnaisses graníticos que por vezes constituem *augen-gnaisses* e

apresentam um bandamento marcado pelas alternâncias de maiores concentrações em minerais félsicos (quartzo, plagioclásio e microclina) e minerais máficos (biotita, clorita e anfibólio) (Figura 3A).

O bandamento gnáissico é principalmente assinalado pela maior ou menor presença de feldspato alcalino nas bandas mais félsicas (Figura 3B). A estrutura gnáissica é penetrativa, evidenciada pela orientação de biotita, quartzo estirado e fenocristais (por vezes cristais clasto porfiríticos) de microclina e plagioclásio orientados. O plagioclásio em geral apresenta alteração nas suas bordas para saussurita. Texturas mirmequíticas são observadas. O máfico predominante é a biotita, apresentando teores que variam da ordem de 5 a 18%. Esta última aparece como palhetas xenomórficas orientadas segundo a foliação principal

da rocha (Figura 3C). Por vezes altera-se para muscovita e minerais opacos. Localmente aparece a clorita com teores muito baixos, pontualmente atingindo 5% do total modal.

Em duas amostras, anfibólios do tipo hornblenda são observados, constituindo um percentual modal de até 7%. Como minerais acessórios são encontrados apatita, allanita, zircão e minerais opacos. A associação mineral indica que o MCV esteve submetido a metamorfismo sob condições de pressão e temperatura do fácies xisto verde, a presença local de clorita pode estar associada a um processo metamórfico relacionado a uma deformação transcorrente tardia. Algumas amostras apresentam-se pouco deformadas, com os minerais félsicos exibindo bandas de deformação, texturas de recuperação/recristalização (Figura 3D).

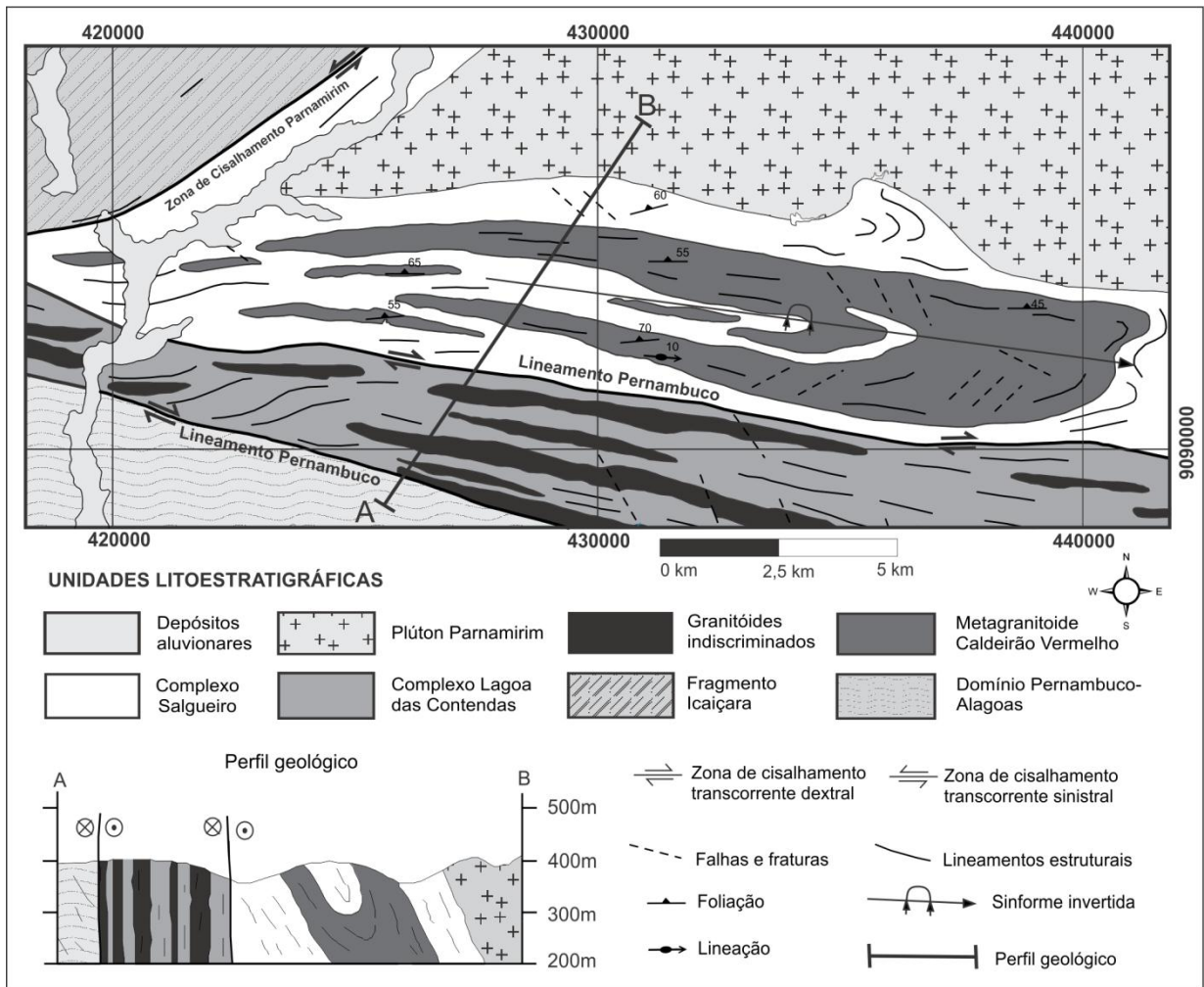


Figura 2: Mapa geológico simplificado da área de ocorrência do Metagranitoide Caldeirão Vermelho.

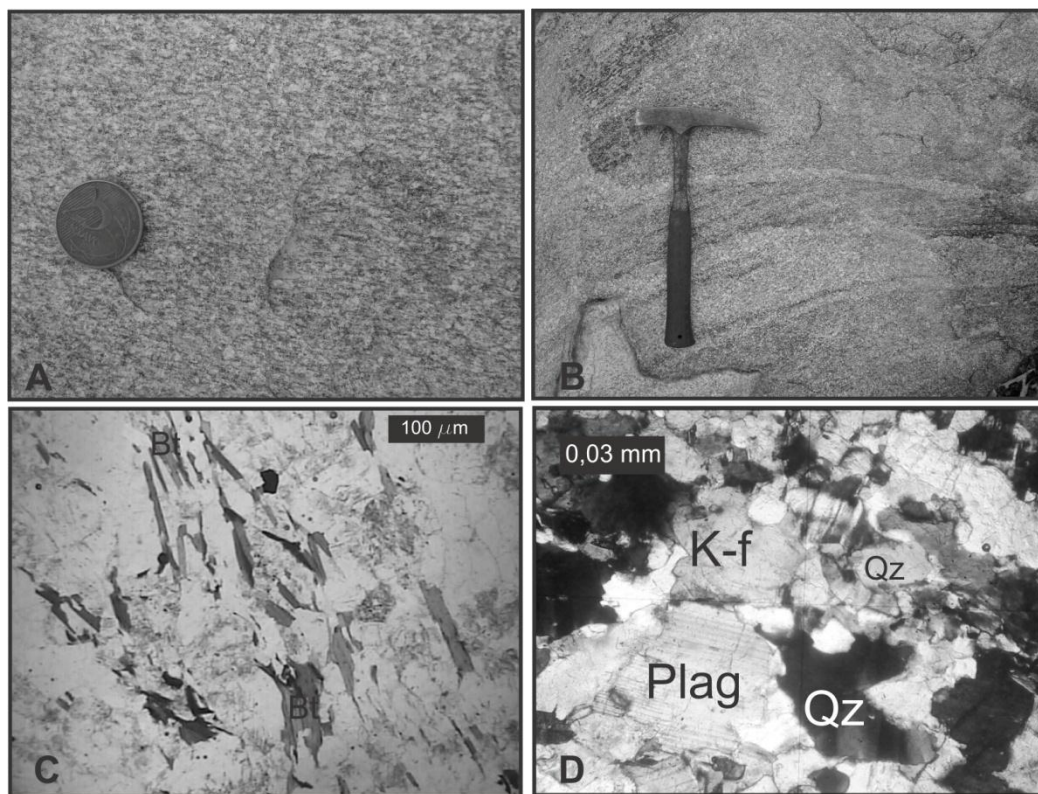


Figura 3: Fotografias de campo mostrando (A) Granito deformado da fácies equigranular média, com cristais alongados segundo a deformação principal da rocha; (B) Fácies do corpo principal do ortogneiss/metagranitoide apresentando bandamento composicional; e fotomicrografias do (C) metagranito exibindo plaquetas de biotitas orientadas (nicóis paralelos); (D) granito deformado exibindo cristais de quartzo e feldspato com bandas de deformação e/ou formando subgrãos (nicóis cruzados). Bt: Biotita; K-f: Feldspato alcalino; Plag: Plagioclásio; Qz: Quartzo.

LITOGEOQUÍMICA

Foram selecionadas oito amostras para análise química de rocha total. As análises foram realizadas no laboratório SGS-GEOSOL Laboratório LTDA. Foram analisados óxidos de elementos maiores por fusão com metaborato de Lítio e determinação por ICP-ES. Os elementos menores e traços, incluindo ETR, foram determinados através de fusão com metaborato de Lítio e análise em ICP-MS.

As amostras do MCV apresentam um espectro composicional restrito, com teores de SiO_2 variando de 70 a 75%, teor médio aproximado de 15% de Al_2O_3 e razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$

(Tabela 1). Elas plotam nas proximidades da linha limítrofe entre os campos de rochas metaluminosas e peraluminosas em diagrama de balanço de alumina ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}$ vs A/CNK) proposto por Shand (1943) (Figura 4A). Classificam-se como fracamente peraluminosas com índice de saturação em alumina, ISA, entre 1 e 1,1 com baixo percentual de corindon (0,5 a 1%) e hiperstênio (0,7 a 1,3%) normativos.

Estudos de petrologia de granitos australianos mostraram que rochas que plotam próximas ao limite metaluminoso/peraluminoso (com $\text{ISA} < 1,1$ e corindon normativo $< 1\%$) podem ser tipo-I com rochas-fontes tipo I não saturadas em Al (Chappell *et al.*,

2012). Embora as amostras do MCV sejam intrusivas em metassedimentos, elas não apresentam maiores evidências de que estes sejam sua principal fonte

protolítica. Em diagrama TAS (Figura 4B) as amostras ajustam-se como subalcalinas, com valores elevados de Na_2O , com $\text{K}_2\text{O} > 4,5\%$ para $\text{SiO}_2 > 70\%$.

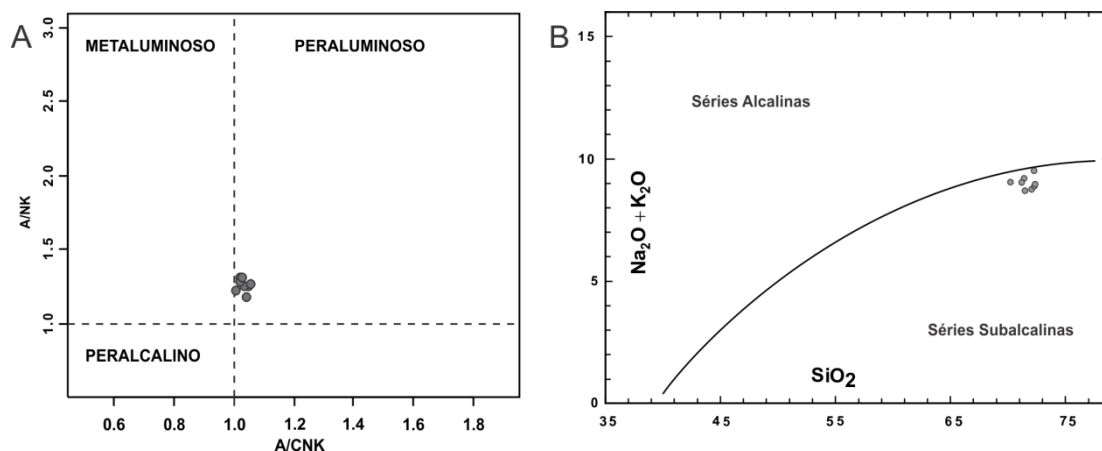


Figura 4: (A) Diagrama A/CNK vs. A/NK (Shand, 1943), com amostras plotando muito próximas do limite metaluminoso/peraluminoso e (B) Diagrama TAS (Irvine e Baragar, 1971; modificado de Rickwood, 1989) para as amostras do MCV.

Nos diagramas propostos por Frost *et al.*, (2001), as amostras MCV plotam no campo dos granitos ferrosos e álcali-calcicos (Figuras 5A e 5B). De acordo com Frost & Frost (2008) os granitos ferrosos são predominantemente metaluminosos e peralcalinos, com raros peraluminosos, corroborando a proposição de que as amostras MCV são metaluminosas a fracamente peraluminosas. Os resultados com dados de elementos maiores são usados nas interpretações finais com restrições, uma vez que se tratam de rochas graníticas deformadas.

Os padrões de distribuição de ETR (Figura 6A) normalizado pelos valores condríticos (Boynton, 1984) para as amostras MCV são bem fracionados $(\text{La/Yb})_N > 50$, com enriquecimento em elementos terras raras leves em relação aos pesados e ausência de significativas anomalias de Eu.

Comparados a padrões de rochas graníticas ediacaranas da Província Borborema, observa-se semelhança dos padrões obtidos de ETR para o MCV e aqueles de suítes calcioalcalinas de

médio a alto potássio do Domínio Alto Pajeú, exemplo dos *plutons* de Itapetim, Timbaúba e Tabira (Guimarães *et al.*, 2011).

Em diagrama multielementos normalizado em relação ao manto primordial, os padrões das amostras caracterizam-se por uma forte anomalia negativa de Nb, Ta, Ti e Y (Figura 6B) exibindo certo enriquecimento em K, Rb e Ba (LILE: *large-ion lithophile elements*;) em relação a U, Th, Nb e Ta (HFSE: *high field strength elements*). Essas assinaturas são condizentes com granitóides calcioalcalinos gerados em arco vulcânico. No diagrama classificatório de ambiência tectônica, proposto por Pearce (1996), as amostras plotam na linha limítrofe entre os campos de granitóide de arco vulcânico e sincolisional (Figura 7A), porém no diagrama de Harris *et al.*, 1986, as mesmas se classificam no campo dos granitóides de arco vulcânico (Figura 7B). Altos teores de Rb, que fazem as amostras se aproximar do campo sincolisional, também podem ser causados por metamorfismo de *facies*

xistos verde, podendo explicar o espalhamento das amostras estudadas

entre estes dois campos.

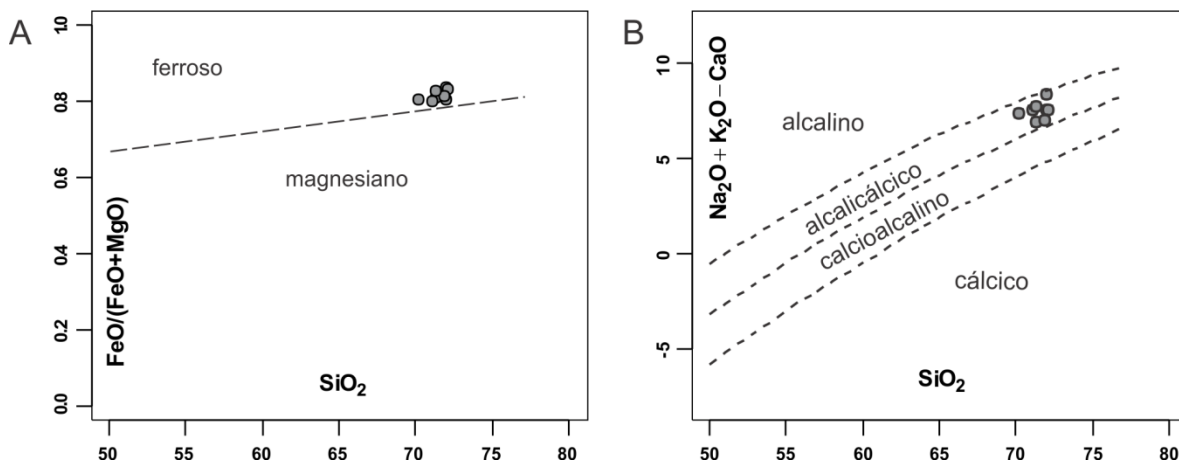


Figura 5: Diagramas propostos por Frost *et al.*, (2001) para as amostras do Metagranitoide Caldeirão Vermelho plotando no campo dos (A) granitos ferrosos e (B) alcalicálcicos.

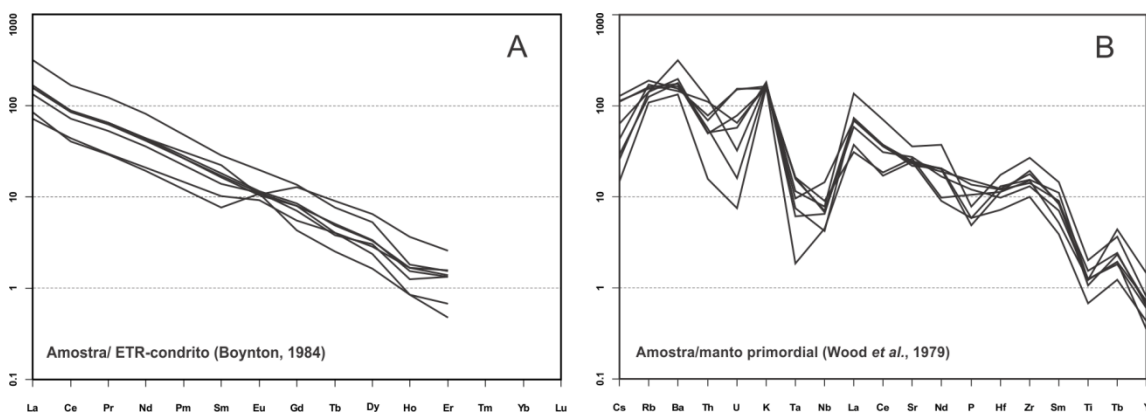


Figura 6: (A) Padrão de ETR normalizado pelo condrito (Boynton, 1984). (B) Diagrama multielementar expandido de concentrações de elementos incompatíveis normalizados em relação ao Manto (Wood *et al.*, 1979) para as amostras do MCV.

DADOS ISOTÓPICOS

Foram obtidos dados isotópicos em uma amostra de metagranito da unidade no ponto RF-018 (UTM 440362/9091622) localizado 1,5km ao sul de sua área tipo, no Serrote do Caldeirão Vermelho, em Parnamirim-PE. O método utilizado na determinação geocronológica foi o de datação U-Pb em zircão por LAM-MC-ICP-MS. As análises foram adquiridas através do instrumento *Neptune da Finnigan*, com

sistema de ablação acoplado (Nd-YAG laser - $\lambda=213$ nm) da *New Wave Research*, nas dependências do Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As imagens de *backscattering* foram obtidas no equipamento de microscopia eletrônica JEOL JSM 5800, da mesma universidade. O procedimento analítico utilizado foi a da montagem de grãos de zircão com resina epóxi (a frio), desgastado e polido para exposição do

interior dos grãos. Para a identificação dos grãos durante a análise, a superfície do concentrado foi fotografada seguida da aquisição de imagens por

backscattering dos grãos de zircão, para o melhor posicionamento dos pontos a serem analisados.

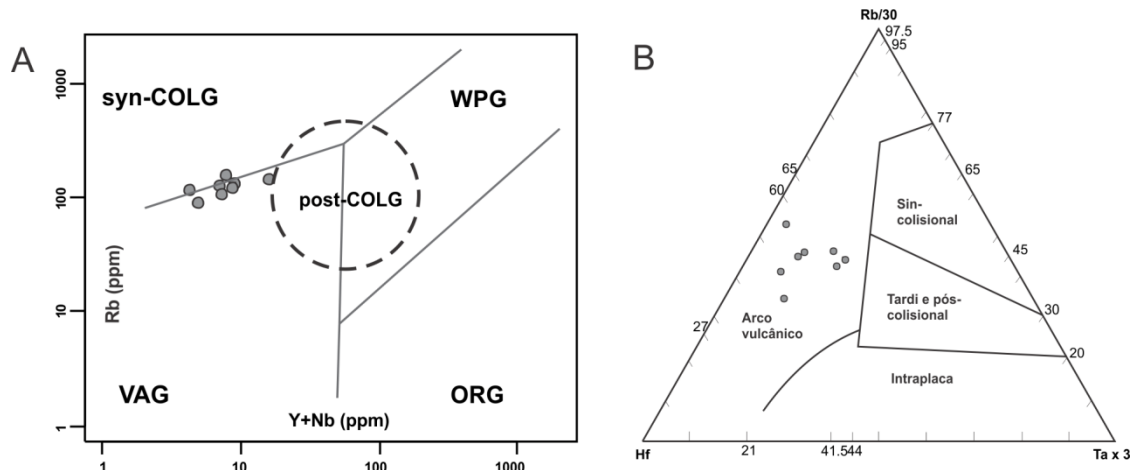


Figura 7: Diagramas discriminatórios de ambiência tectônica, (A) Pearce (1996) e (B) diagrama de Harris *et al.*, 1986. O primeiro apresenta um espalhamento na linha limítrofe entre magmatismo de arco vulcânico e colisão continental. O segundo apresenta amostras MCV concentradas no campo de magmatismo de arco vulcânico.

Após a aquisição dos dados brutos pelo equipamento, o tratamento e correção destes dados foram realizados em planilha EXCEL (Buhnet *et al.*, 2009). As idades foram calculadas utilizando o ISOPLOT 3.0 (Ludwig, 2003) e os diagramas confeccionados no mesmo programa. Os grãos de zircão da amostra analisada apresentaram duas populações distintas, uma com idades mais antigas, entre o Arqueano e Paleoproterozoico e outra com idades mais novas (neoproterozoicas).

A primeira população é composta por grãos médios a grandes, prismáticos, por vezes com bordas arredondadas, com proporção predominante 3x1. Estes grãos são muito fraturados, possuem inclusões e cor alaranjada. A segunda população é composta por grãos pequenos, aciculares, com proporção entre 4 e 5x1, variando de transparentes a alaranjados. As imagens de *backscattering* mostraram que os grãos maiores

possuem um zoneamento bastante evidente, muitos com núcleo bem distinto (Fig. 9A). Alguns dos grãos menores também possuem zoneamento, o qual se diferencia dos grãos grandes por se limitar às bordas. O predomínio nesta população é de grãos mais homogêneos (Fig. 9B). Foram realizadas diversas análises das quais 36 puderam ser finalizadas (Tabela 2 e 3). Destas, sete foram desconsideradas devido ao erro analítico muito elevado, consequência da elevada presença de Pb comum (Tabela 3). As 29 análises restantes foram plotadas em um diagrama concórdia, resultando em uma distribuição muito espalhada ao longo da concórdia (Fig. 8c). Esta distribuição deve-se, muito provavelmente, ao processo de metamorfismo e deformação que causa destruição da estrutura cristalina e perda de chumbo.

A primeira população forneceu um arranjo linear em diagrama concórdia com intercepto superior de

2622±15 Ma, cuja idade é interpretada como sendo herdada de material mais antigo. Em outra amostra de metagranito Caldeirão Vermelho obteve-se uma idade modelo T_{DM} paleoproterozóica de 2082 Ma, cujos dados do sistema Sm-Nd forneceram $\epsilon_{Nd}^{(0,6)}$ negativo com valor determinado de (-19,73) e ainda com baixas razões $^{143}Nd/^{144}Nd=0.5111420$ e $^{147}Sm/^{144}Nd=0.0753$, compatíveis com a crosta inferior.

A segunda população de zircões é pouco discordante, e a idade obtida de 611±14 Ma (MSWD=2,5 e confiabilidade de 95%), quando o intercepto inferior é forçado para zero, é considerada como idade de cristalização/geração do MCV, semelhante a outras idades publicadas de granitos sin-tectônicos (Brasiliano-Panafricano) da Zona Transversal da Província Borborema (Brito Neves *et al.*, 2003; Guimarães, *et al.*, 2004; 2011). Na borda de um zircão foi encontrada idade de 595 Ma que pode estar relacionada com a atividade das zonas cisalhamento.

DISCUSSÕES

O MCV é intrusivo em rochas supracrustais (metassedimentos do Complexo Salgueiro, Eo-Neoproterozoico) que em parte se desenvolveram em substratos rochosos predominantemente paleoproterozoicos retrabalhados. Magmas gerados por fusão parcial de rochas metassedimentares têm uma variação bastante restrita no teor de sílica, mesmo a temperaturas elevadas, e são extremamente peraluminosos (Neves, 2012). As amostras do MCV são quimicamente muito homogêneas, fracamente peraluminosas, álcali-cálcicas, de médio a alto K. Assemelham-se aquelas descritas por Frost *et al.* (2001) como granitóides peraluminosos, álcali-

cálcicos, associados a processos de assimilação de crosta félsica tipo I. Também podem ser enquadrados de acordo com Chappell *et al.* (2012) como granitos tipo I peraluminosos, que apresentam poucas variações composicionais e têm a fusão parcial de rochas ígneas intermediárias como processo mais provável para sua petrogênese.

A homogeneidade litoquímica das amostras estudadas sugere que processos de fusão parcial de uma rocha intermediária (crosta inferior granodiorítica) estariam envolvidos na formação do MCV. A idade T_{DM} paleoproterozóica, com ϵ_{Nd} negativo e os zircões arqueanos herdados indicam que processos de assimilação também atuaram na petrogênese do MCV. O substrato das rochas metassedimentares do Complexo Salgueiro, na Faixa Alto Pajeú, é uma fonte inferida para os mesmos. Outra fonte possível pode ser atribuída às rochas que constituem o Domínio Pernambuco-Alagoas, o qual é predominantemente formado por rochas ortoderivadas paleoproterozoicas com alguns núcleos arqueanos, em contato tectônico com as rochas supracrustais da Faixa Alto Pajeú.

Embora o MCV não se assemelhe litologicamente e quimicamente aos granitos calcioalcalinos clássicos da Província Borborema (ex, tipo Conceição), os quais são enquadrados segundo uma tipologia/posicionamento como rochas relacionadas à evolução de arcos magmáticos, ele representa um plúton granítico “peraluminoso” tipo I, de mesma cronologia e posicionamento tectônico. O MCV é mais um exemplo de que a clássica tipologia de granitos/posicionamento geodinâmico não é uma regra para a zona transversal da Província Borborema, fato este discutido por Guimarães *et al.* (2011).

CONCLUSÕES

O MCV está posicionado em rochas metassedimentares do Complexo Salgueiro em um contexto *pre-* a *sin-*cinemático às zonas de cisalhamento Pernambuco e Parnamirim, que se localizam nas imediações dos corpos e marcam o desenho estrutural da área. O MCV possui idade Ediacarana de 611 ± 14 Ma. Os dados geoquímicos e isotópicos sugerem uma assinatura química de rocha fracamente

peraluminosa, embora com características de rocha tipo I, tendo como fonte mais provável rochas infracrustais intermediárias, em um contexto de ambiência tectônica colisional, com assimilação/contaminação das encaixantes, isto explicaria a assinatura levemente peraluminosa e o ϵ_{Nd} negativo. Estes dados sugerem como fonte um magma gerado por reciclagem orogênica de fonte híbrida, com contribuições de (meta)ígneas de crosta inferior.

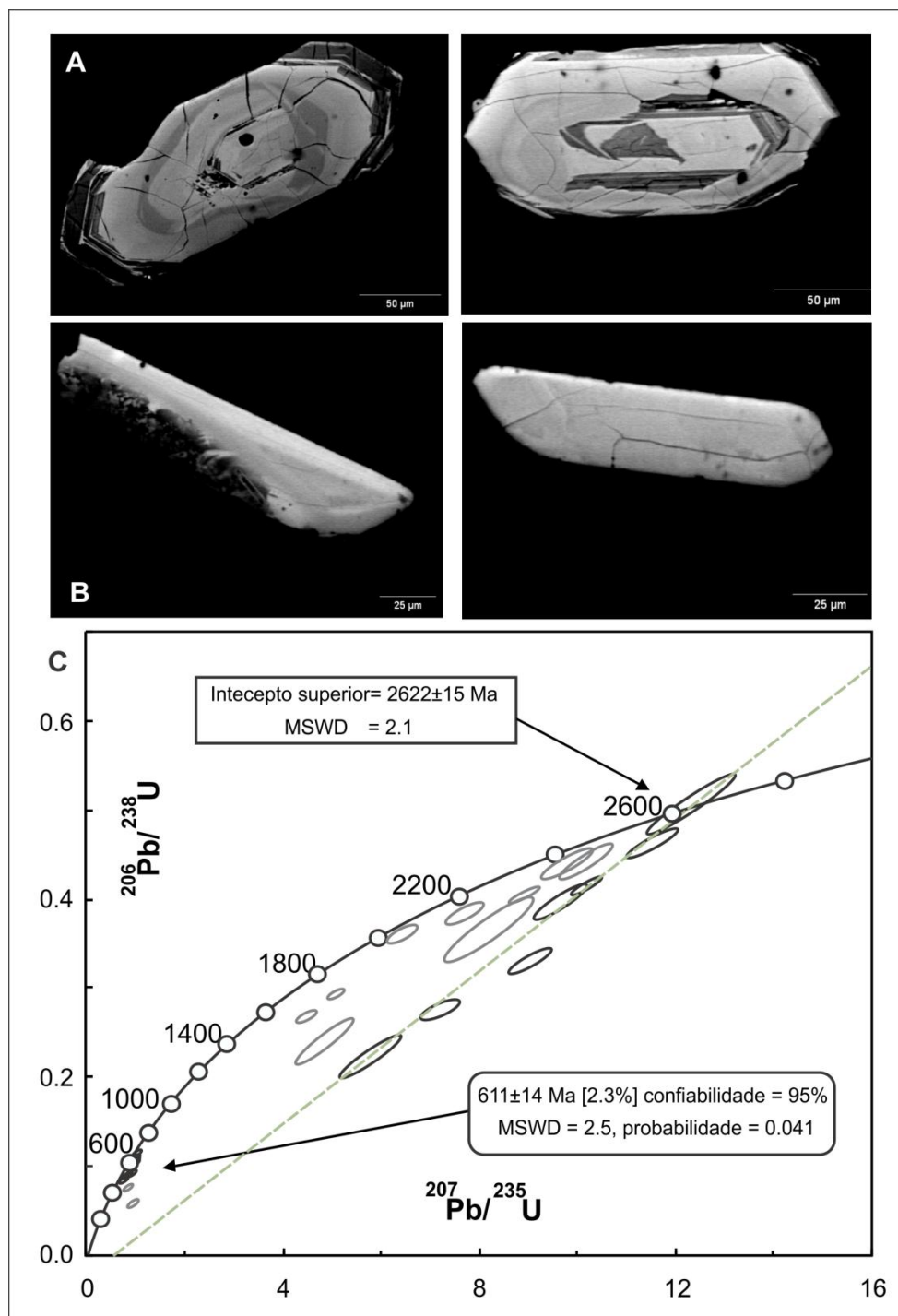


Figura 8: A) Imagens de *backscattering* da população composta por grãos maiores e zonados. À esquerda, grão MT66_01 e, à direita, grão MT66_18. B) Imagens de *backscattering* da população de grãos menores, à esquerda, grão MT66_22 e, à direita, grão MT66_33). Diagrama concórdia com os pontos analisados da amostra RF-18, onde se observa o espalhamento das análises. Com pequenas concentrações em dois pontos, indicativos de idade de cristalização ($611 \pm 14 \text{ Ma.}$) e de zircões herdados ($2,622 \pm 15 \text{ Ma.}$).

Tabela 1: Dados químicos em rocha total de biotita-metagranitos do Metagranitóide Caldeirão Vermelho.

IDADE E LITOGEOQUÍMICA DO METAGRANITOIDE CALDEIRÃO...

Unidade Amostra	Metagranito Caldeirão Vermelho							
	RF-017	RF-017B	RF-017C	RF-018B	RF-212B	RF-205B	RF-206	RF-212C
Elementos maiores								
SiO ₂	71,13	73,35	75,47	70,46	70,43	70,16	71,04	71,16
TiO ₂	0,32	0,32	0,32	0,26	0,51	0,31	0,17	0,39
Al ₂ O ₃	15,12	15,12	15,69	14,52	15,12	14,65	15,08	15,26
Fe ₂ O ₃	1,82	1,83	1,99	1,66	2,46	2,27	1,54	2,1
MnO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
MgO	0,39	0,33	0,43	0,3	0,53	0,51	0,32	0,39
CaO	1,78	1,07	1,42	1,36	1,69	1,49	1,77	1,38
Na ₂ O	4,02	4,07	4,33	3,88	3,65	4,01	3,87	3,99
K ₂ O	4,71	5,57	5	4,9	5,45	4,94	4,84	5,15
P ₂ O ₅	0,25	0,1	<0,01	0,27	0,16	0,12	0,12	<0,01
Cr ₂ O ₃	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Total	99,71	101,83	104,76	97,76	100,39	98,74	98,89	99,85
Perda ao fogo	0,15	0,07	0,2	0,13	0,38	0,25	0,12	0,08
Ni	2	1,2	2,3	1,5	2,6	2,2	2	2,3
Co	2,9	2,3	3	2,1	4,1	2,2	3,2	3,1
Cu	4,8	2,1	4,2	4,2	11	2	5,3	2,4
Pb	7,9	5,7	6,7	4,8	8,8	13,5	1,9	8,6
Zn	47	54	48	50	55	50	22	47
Rb	132	121	137	164	123	148	93	108
Cs	2,14	1,22	2,11	2,42	0,49	0,81	0,28	0,55
Ba	1231	1505	1323	1155	2375	1088	1002	1338
Sr	635	570	609	541	831	501	561	531
Ga	20,3	16,1	19,8	22,7	20	22,8	16,1	18,9
Ta	0,7	0,32	0,71	0,68	0,5	0,41	0,08	0,26
Nb	4,17	2,61	5,59	4,35	4,83	8,97	2,78	4,01
Hf	3,43	3,94	3,98	4,23	6,14	4,53	2,5	4,31
Zr	142	213	167	156	295	168	110	196
Y	2,9	1,69	3,49	3,36	3,88	7,07	2,08	3,11
Th	6,7	4,9	4,8	7,5	11,6	10,6	1,5	5,4
U	4,13	1,54	2,11	4,11	0,87	1,76	0,2	0,43
La	41,4	52,2	22,2	49	97,7	48,7	26,2	49,2
Ce	58,4	71,1	35,4	70,7	135,2	70,2	32,4	68
Pr	6,44	7,99	3,61	7,88	14,96	7,96	3,55	7,53
Nd	21,4	25,9	12,5	26,5	48,5	26,3	11,6	24,6
Sm	2,7	3,2	2	3,5	5,6	4,3	1,5	3,3
Eu	0,81	0,76	0,68	0,85	1,44	0,78	0,79	0,81
Gd	1,83	2,04	1,42	2,21	3,5	3,31	1,11	2,07
Tb	0,18	0,19	0,19	0,23	0,36	0,43	0,12	0,24
Dy	0,98	0,76	0,92	1,05	1,7	2,07	0,52	1,07
Ho	0,09	0,06	0,12	0,12	0,13	0,26	0,06	0,11
Er	0,28	0,1	0,33	0,29	0,32	0,54	0,14	0,28
Tm	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	0,07	<0,05	<0,05
Yb	0,2	<0,1	0,4	0,2	0,2	0,4	<0,1	0,2
Lu	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Be	1,7	1,6	2,9	2,8	1	2,2	0,7	1,3
W	2,3	<0,1	<0,1	0,2	11,2	2,9	1,3	1,5
Mo	0,1	<0,05	0,05	0,13	0,05	0,11	0,16	0,12
Au	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Tabela 2: Dados de amostras de Metagranito Caldeirão Vermelho utilizados para o cálculo das idades. População de zircões mais antigos.

Sample	f(206)%	Th/U	6/4 ratio	7/6 ratio	1s(%)	7/5 ratio	1s(%)	6/8 ratio	1s(%)	Rho		7/6 age	1s	7/5 age	1s	6/8 age	1s	Conc (%)
População 1																		
Grãos maiores com núcleos distintos e/ou com zoneamento																		
MT66_01_zon_interna	0,19	0,14	7868	0,17632	1,0	9,6290	2,1	0,39609	1,9	0,89		2618,5	15,9	2399,9	19,7	2151,0	35,1	82,15
MT66_01_zon_interna	0,30	0,28	8460	0,18760	0,9	5,7686	4,5	0,22302	4,4	0,98		2721,2	14,3	1941,7	38,6	1297,8	51,4	47,69
MT66_02_núcleo	0,01	0,15	277889	0,17839	0,8	10,1876	1,2	0,41420	0,9	0,75		2637,9	12,5	2452,0	10,9	2234,1	17,0	84,69
MT66_03_zon_interna	0,02	0,13	73264	0,14589	1,5	7,7226	2,0	0,38391	1,4	0,67		2298,4	25,2	2199,2	17,9	2094,5	24,2	91,13
MT66_05_zon_interna	0,01	0,17	121114	0,18057	1,0	11,5236	1,8	0,46286	1,5	0,82		2658,1	16,8	2566,5	17,0	2452,2	30,8	92,25
MT66_07_zon_interna	0,04	0,17	34701	0,16020	0,9	8,9115	1,2	0,40345	0,9	0,68		2457,8	14,7	2329,0	11,2	2184,9	16,1	88,90
MT66_07_zon_interna	0,04	0,19	104228	0,17643	0,7	12,2989	3,0	0,50558	2,9	0,97		2619,6	12,0	2627,5	27,9	2637,7	62,3	100,69
MT66_11_poroso_externa	1,20	0,06	1483	0,06894	1,4	0,8647	1,8	0,09098	1,1	0,59		896,8	28,9	632,7	8,3	561,3	5,8	62,59
MT66_12_homog	0,06	0,01	59300	0,06477	1,0	0,8270	1,4	0,09260	0,9	0,65		766,9	21,9	611,9	6,4	570,9	5,1	74,45
MT66_14_núcleo	0,11	0,10	13905	0,12918	1,4	6,4218	1,8	0,36053	1,2	0,80		2086,9	25,3	2035,3	16,3	1984,7	19,9	95,10
MT66_15_zon_irreg	3,76	0,14	363	0,11657	1,3	0,9188	3,6	0,05717	3,4	0,93		1904,3	23,3	661,7	17,7	358,4	11,9	18,82
MT66_16_zon_irreg	0,24	0,07	7580	0,07939	1,9	0,8289	2,8	0,07573	2,0	0,73		1181,8	37,7	613,0	12,9	470,6	9,3	39,82
MT66_17_zon_interna	0,01	0,04	118195	0,12024	1,3	4,4531	1,5	0,26860	0,8	0,67		1959,8	22,8	1722,3	12,4	1533,7	10,8	78,26
MT66_17_zon_interna	0,07	0,04	23215	0,12498	0,8	5,0639	1,1	0,29385	0,8	0,66		2028,6	13,9	1830,1	9,3	1660,8	11,2	81,87
MT66_18_núcleo	5,08	0,05	48	0,19807	1,0	9,0442	1,9	0,33117	1,7	0,87		2810,3	15,6	2342,5	17,8	1844,1	27,1	65,62
MT66_18_crescimento	0,54	0,11	2941	0,18945	1,7	7,1963	2,3	0,27549	1,5	0,67		2737,4	27,2	2136,0	20,1	1568,6	21,3	57,30
MT66_38_zon_irreg	0,06	0,16	25741	0,16684	1,0	10,1736	2,1	0,44227	1,8	0,87		2526,2	17,2	2450,7	19,2	2360,8	35,7	93,45
MT66_42_zon_irreg	0,05	0,17	31742	0,16146	1,2	9,7830	2,0	0,43946	1,6	0,79		2471,0	20,2	2414,6	18,4	2348,2	31,4	95,03
MT66_48_núcleo_externo	0,39	0,04	5098	0,16305	1,8	8,2028	4,6	0,36488	4,2	0,92		2487,5	30,5	2253,7	41,6	2005,2	72,8	80,61
MT66_49_núcleo	1,15	0,12	1425	0,14646	1,7	4,8421	4,7	0,23978	4,4	0,93		2305,0	29,1	1792,2	39,6	1385,5	54,8	60,11
Borda																		
MT66_02_borda	0,03	0,03	55574	0,05966	1,1	0,7952	1,4	0,09667	1,0	0,82		591,3	23,1	594,1	6,5	594,9	5,5	100,61

Tabela 3: Dados de amostras do Metagranito Caldeirão Vermelho utilizados para o cálculo das idades. População de zircões mais novos (Dados em vermelho, não foram utilizados no cálculo das idades).

Amostra	f(206)%	Th/U	6/4 ratio	7/6 ratio	1s(%)	7/5 ratio	1s(%)	6/8 ratio	1s(%)	Rho		7/6 age	1s	7/5 age	1s	6/8 age	1s	Conc (%)
População 2																		
Grãos pequenos e mais jovens																		
MT66_19_peq_zon_interna	0,06	0,09	29444	0,05818	2,4	0,8069	2,7	0,10059	1,3	0,69		536,5	52,7	600,7	12,3	617,8	7,5	115,16
MT66_22_peq_homog	0,16	0,09	12388	0,06062	1,5	0,8524	1,9	0,10199	1,1	0,60		625,7	31,6	626,0	8,7	626,1	6,8	100,06
MT66_24_peq_homog	0,13	0,35	14060	0,05836	1,4	0,7864	1,9	0,09772	1,2	0,64		543,4	31,1	589,1	8,4	601,1	7,0	110,60
MT66_26_peq_homog	0,11	0,15	16692	0,06230	1,6	0,8552	2,2	0,09956	1,5	0,66		684,5	34,9	627,5	10,2	611,8	8,5	89,38
MT66_30_peq_homog	0,21	0,17	8277	0,06369	2,4	0,8590	2,7	0,09782	1,1	0,40		731,4	51,4	629,6	12,5	601,6	6,4	82,25
Ainda mais jovens																		
MT66_33_peq_homog	0,09	0,28	19146	0,06237	2,5	0,7110	2,8	0,08268	1,2	0,67		686,7	53,2	545,3	11,7	512,1	6,1	74,58
MT66_47_comprido_homog	0,05	0,07	37990	0,06090	1,6	0,7064	1,9	0,08412	1,0	0,52		635,7	33,5	542,6	7,8	520,7	5,0	81,91
MT66_21_peq_homog	0,04	0,27	42950	0,06446	1,3	0,7792	1,6	0,08767	0,9	0,56		756,9	27,1	585,0	7,1	541,7	4,8	71,58
Desconsiderados - erro analítico muito elevado																		
MT66_06_nucleo_ext	26,07	0,12	68	0,18958	8,1	2,5918	8,6	0,09916	2,9	0,57		2738,5	133,6	1298,3	63,2	609,5	16,8	22,26
MT66_10_pedaço_zoneia	0,32	0,08	5592	0,06398	2,6	0,8063	3,5	0,09140	2,4	0,86		741,0	55,4	600,4	16,0	563,8	12,8	76,09
MT66_25_peq_zon_interna	3,42	0,08	517	0,12575	15,6	1,7964	15,8	0,10361	2,5	0,30		2039,4	276,7	1044,2	103,4	635,5	15,2	31,16
MT66_29_peq_homog	0,25	0,19	14772	0,06504	6,8	1,1025	6,9	0,12295	1,1	0,15		775,6	143,5	754,6	36,8	747,5	7,7	96,39
MT66_37_núcleo	0,26	0,30	6158	0,16518	2,1	6,9677	4,4	0,30593	3,8	0,88		2509,4	35,1	2107,3	38,9	1720,6	58,1	68,57
MT66_41_núcleo	12,36	0,09	84	0,20320	2,1	0,9639	22,9	0,03440	22,8	1,00		2852,1	34,9	685,3	114,3	218,1	48,9	7,65
MT66_50_zon_interna	1,06	0,10	1498	0,12061	4,9	4,8275	6,3	0,29029	4,0	0,85		1965,3	86,9	1789,7	53,2	1643,0	58,5	83,60

Agradecimentos

Os autores agradecem as prestimosas sugestões dos Doutores Lauro Nardi, Edilton Santos e Joseneusa Brilhante Rodrigues. Ao Laboratório de Geologia Isotópica da UFRGS pela qualidade de suas análises, a SGB-CPRM/Sureg-RE pelo apoio logístico e a cedência de importantes dados usados neste trabalho. Aos comentários do revisor do E.G. que muito contribuiu para este trabalho

REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M.; Leonardos J.R., O. H., valença, J. 1967. Granitic rocks of Northeast South America. *International Union of Geological Sciences, Recife*. IUGS/UNESCO. 37 p.
- Almeida, F. F. M.; Hasui, Y., Brito Neves, B. B. de, Fuck, R. A., 1977. Províncias estruturais brasileiras. 8º Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande. *Resumo das comunicações. Campina Grande: SBG*, 79p. (*Boletim Especial SBG, Núcleo Nordeste*, 6) p.12 –13.
- Almeida, F. F. M., Hasui, Y. , Brito Neves, B.B., Fuck, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Science Reviews*, 17, p. 01–29
- Angelim, L. A. A; Kosin, M. 2001. Aracaju NW.:Folha SC.20-V Estados da Bahia, Pernambuco e Piauí Escala 1:500.000. Rio de Janeiro: CPRM, 2001. CD-Rom. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB*.
- Brito Neves, B. B., Santos, E. J., Van Schmus, W. R. 2000. Tectonic History of the Borborema Province, Northeastern Brazil, p. 151-182. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos D.A. 2000. *Tectonic evolution of South America*. 31st INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, august 6-17, 2000. Rio de Janeiro-Brazil. 855p.
- Brito Neves, B. B., Passarelli, C. R.; Basei, M. A. S.; Santos, E. J. 2003. Idades U-Pb em zircão de alguns granitos clássicos da Província Borborema. *Geol. USP, Sér. cient.* v.3 São Paulo.
- Boynton, W. V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. *Henderson, P. (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, p. 63-114.
- Bühn, B., Pimentel, M. M., Matteini, M., Dantas, E.L. 2009. High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation ,ulti-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-MC-IC-MS). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 81(1):1-16.
- Chappell, B. W., Bryant, C. J., Wyborn, D. 2012. Peraluminous I-Type Granites. *Lithos Available Online* . In Press
- Ferreira, V. P., Sial, A. N., Jardim De Sá, E. F., 1998. Geochemical And Isotopic Signatures Of Proterozoic Granitoids In Terranes Of The Borborema Structural Province, Northeast Brazil. *Journal Of South American Earth Sciences*, Vol. 11, p. 438-455.
- Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J. & Frost, C. D. 2001. A Geochemical Classification For Granitic Rocks. *Journal Of Petrology* 42, p. 2033–2048.
- Frost, B. R.; Frost, C. D., 2008. A Geochemical Classification For Feldspathic Igneous Rocks.

- Journal of Petrology* 49, p. 1955-1969.
- Guimarães, I. P., Van Schmus, W. R., Brito Neves, B. B., Bittar, S. M. B., Silva Filho, A. F., Armstrong, R., 2012. U–Pb zircon ages of orthogneisses and supracrustal rocks of the Cariris Velhos belt: Onset of Neoproterozoic rifting in the Borborema Province, NE. *Brazil Precambrian Research* 192–195 p. 52–77.
- Guimarães I. P., Silva Filho A. F., Almeida C. N., Macambira M. B., Armstrong, R., 2011. U-Pb SHRIMP data constraints on calc-alkaline granitoids with 1.3 e 1.6 Ga Nd TDM model ages from the central domain of the Borborema province, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 31, p. 383-396.
- Guimarães, I. P., Silva Filho, A. F., Almeida, C. N., Van Schmus, W. R., Araújo, J. M. M., Melo, S. C., Melo, E. B., 2004. Brasiliano (Pan-African) Granitic Magmatism In The Pajeú-Paraíba Belt, Northeast Brazil: Anisotopic And Geochronological Approach. *Precambrian Research* 135, p. 23-53.
- Harris, N. B. W., Pearce, J. A., Tindle, A. G., 1986. Geochemical Characteristics Of Collision- Zone Magmatism. In: Coward M P, Ries A C (Eds) *Collision Tectonics. Geological Society London Special Publication* 19, p. 67-81.
- Irvine, T. N., Baragar, W. R. A., 1971. A Guide To The Chemical Classification Of The Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol.8, p. 523-48.
- Ludwig, K.R., 2003. Isoplot 3.00 – A Geochronological Toolkit For Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center, Special Publication* N^o4.
- Medeiros, V. C., 2004. *Evolução Geodinâmica e Condicionamento Estrutural dos Terrenos Piancó-Alto Brígida e Alto Pajeú, Domínio da Zona Transversal, Ne do Brasil*. Natal. Tese de doutorado, PPGG/UFRN, 200 p.
- Neves, S.P. 2012. Granitos orogênicos: da geração dos magmas à intrusão e deformação. Synergia, Rio de Janeiro, 148 p.
- Neves, S. P., Bruguier, O., Silva, J. M. R., Bosch, D., Alcantara, V. C.; Lima C. M., 2009. The age sequences distributions of detrital zircons in metasedimentary in eastern Borborema Province (Ne Brazil): Evidence for intracontinental sedimentation and orogenesis. *Precambrian Research*, 175, p. 187–205.
- Neves, S.P; Monié, P.; Bruguier, O.; Silva, J.M.R. 2012. Geochronological, thermochronological and thermobarometric constraints on deformation, magmatism and thermal regimes in Eastern Borborema Province (Ne Brazil). *Journal Of South American Earth Sciences* 38, p. 129–146.
- Pearce, J. A., 1996. Sources And Settings Of Granitic Rocks. *Episodes*, p.120-125.
- Peccherillo, A., Taylor, S. R., 1976. Geochemistry Of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks From The Kastamonu Area Northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58, p. 63–81
- Rickwood, P. C., 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22, p. 247-263.
- Santos, E. J., 1995. *O Complexo Granítico Lagoa Das Pedras:*

- Acreção e Colisão na Região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema.* Instituto de Geociências, Universidade De São Paulo, São Paulo. Tese de doutorado, 219p.
- Santos, E. J., 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. *Congresso Brasileiro De Geologia*, 39, Salvador. *Anais...* Salvador: Sbg, 1996. vol. 6, p. 47-50.
- Santos, E. J., Van Schmuss, W. R., Kozuch, M., Brito Neves, B. B., 2010. The Cariris Velhos tectonic event in Northeast Brazil. *Journal Of South American Earth Sciences* 29, p. 61-76.
- Santos, E. J.; Medeiros, V. C., 1999. Constraints from granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the transverse zone, Borborema Province, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências* n. 29, p. 73-84.
- Sial, A. N., 1986. Granite-Types in Northeast Brazil: current knowledge. *Revista Brasileira De Geociências* 16, p. 54-72.
- Shand, S. J., 1943. Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite. *New York: John Wiley & Sons.*
- Van Schmus, W. R., Kozuch, M., Brito Neves, B. B. 2011. Precambrian history of the Zona Transversal of the Borborema Province, NE Brazil: Insights from Sm-Nd and U-Pb geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, 31, p. 227-252.
- Wood, D. A., Joron, J. L. & TREUIL, M. A., 1979. Reappraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth and Planetary Science Letters* 45, p. 326-36.