



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
PETROLOGIA, METALOGÊNESE E EXPLORAÇÃO MINERAL

TESE DE DOUTORADO

MAGMATISMO SHOSHONÍTICO NO SISTEMA
OROGÊNICO SERGIPANO: *STOCK* GLÓRIA NORTE

VINÍCIUS ANSELMO CARVALHO LISBOA

SALVADOR - BA

2019

**MAGMATISMO SHOSHONÍTICO NO SISTEMA
OROGÊNICO SERGIPANO: *STOCK* GLÓRIA NORTE**

Vinícius Anselmo Carvalho Lisboa

Orientador: Prof. Dr. Herbet Conceição

Coorientadora: Profa. Dra. Maria de Lourdes da Silva Rosa

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Geologia, Área de Concentração: Petrologia, Metalogênese e Exploração Mineral.

SALVADOR - BA

2019

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Carvalho Lisboa, Vinicius Anselmo
Magmatismo Shoshonítico no Sistema Orogênico
Sergipano: Stock Glória Norte / Vinicius Anselmo
Carvalho Lisboa. -- Salvador, 2019.
213 f. : il

Orientador: Herbet Conceição.
Coorientadora: Maria de Lourdes Silva Rosa.
Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Geologia) -- Universidade Federal da Bahia, Instituto
de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 2019.

1. Sistema Orogênico Sergipano. 2. Magmas
Shoshoníticos. 3. Magmas Ultrapotássicos. 4. Domínio
Macururé. I. Conceição, Herbet. II. Silva Rosa, Maria
de Lourdes. III. Título.

VINÍCIUS ANSELMO CARVALHO LISBOA

**“MAGMATISMO SHOSHONITICO DO SISTEMA
OROGÊNICO SERGIPANO: STOCK GLORIA NORTE”**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito para a obtenção do Grau de Doutor em Geologia em 13/12/2019.

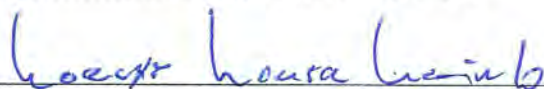
TESE APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:



Dr. Herbet Conceição
Orientador – UFS



Dra. Débora Correia Rios
Examinadora Interna – UFBA



Dr. Moacyr Moura Marinho
Examinador Externo – UFBA



Dr. Carlos Dinges Marques de Sá
Examinador Externo – UFS



Dr. Adjardo Francisco da Silva Filho
Examinador Externo – UFPE



Dr. Romulo Machado
Examinador Externo – USP

Salvador – BA
2019

*Dedico este trabalho a minha mãe.
Se cheguei até aqui, muito se deve à senhora!*

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Picuí (IFPB-Campus Picuí) pela concessão do afastamento para conclusão do Doutorado, em especial ao Dr. Anderson de Medeiros Souza.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado (processo 140117/2015-6) e pelo suporte financeiro através dos processos 311008/2017-8 (CNPq-PQ), 310391/20172 (CNPq-PQ), 405387/2016-4 (CNPq-Universal 2016). Gostaria de agradecer, igualmente, à Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC/SE) pelo suporte através do processo (019.203.02538/2009-7 PRONEX/FAPITEC/CNPq).

A Superintendência de Salvador do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em especial às Dras. Cristina Maria Burgos de Carvalho e Rita Cunha Leal Menezes, pelo apoio na confecção das lâminas delgadas e no processamento das amostras.

Ao professor Dr. Nilson Francisquini Botelho, coordenador do Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, e ao professor Dr. Cláudio Nery Lamarão, coordenador do Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, pelo auxílio na aquisição de dados químicos pontuais de minerais.

A toda equipe do Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (PARAISO-UFPA), em especial ao professor Dr. Jean Michel Lafon, pelo apoio na obtenção dos dados isotópicos das rochas estudadas.

Aos professores e orientadores doutores Herbet Conceição e Maria de Lourdes da Silva Rosa, os meus sinceros agradecimentos pelo acompanhamento acadêmico desde os primeiros semestres da graduação, incentivos, ensinamentos e bons exemplos.

Aos doutorandos, companheiros de jornada do TEAM-UFBA, por todas as sugestões e discussões geológicas, e também pelos momentos de alegria e descontração. Aos colegas, amigos e irmãos do Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral da Universidade Federal de Sergipe (LAPA-UFS). Vocês facilitaram, e muito, essa jornada!

A minha família pelo apoio incondicional!

Aos governos que entenderam que a educação é essencial para o desenvolvimento de um país, e investiram na educação pública.

RESUMO

Na porção centro-norte do Sistema Orogênico Sergipano nota-se um expressivo magmatismo granítico (*latu sensu*) neoproterozóico. Esses granitos são cálcio-alcálicos de médio, alto potássio e shoshoníticos. No Domínio Macururé (DM), os corpos de afinidade shoshonítica são constituídos essencialmente por monzonitos, com termos sieníticos e graníticos subordinados, e apresentam idades de cristalização entre 588-631 Ma. Neste plutonismo, o volume de enclaves máficos é maior, quando se compara com o magmatismo cálcio-alcálico do DM, sendo comum observar feições que indicam coexistência e interação entre magmas máficos e félsicos. No *Stock* Glória Norte (SGN), principal representante dos corpos shoshoníticos do DM, os enclaves são de três tipos: (i) enclaves máficos microgranulares; (ii) minétticos, que representam pulsos de magma máfico contemporâneos; e (iii) autólitos, gerados pela fragmentação de cumulatos precoces, constituídos predominantemente por clinopiroxênio. Os dados de química mineral e as feições texturais observadas nos anfibólitos presentes nos enclaves máficos (MME) do SGN, indicam se tratar de uma fase primária que sofreu reequilíbrio durante a interação entre os magmas básico-ultrabásico e intermediário. Os dados geoquímicos mostram afinidade shoshonítica (alto K_2O ; somatório dos álcalis maior que 5%; razão $K_2O/Na_2O > 1,22$ e altos conteúdos de Ba e Sr) para os monzonitos e monzogranitos estudados, e afinidade ultrapotássica ($K_2O > 3\%$, $MgO > 3\%$ e $K_2O/Na_2O > 2$) para os enclaves máfico-ultramáficos. Estas rochas exibem assinatura geoquímica de arco vulcânico e pós-colisional. O enriquecimento em elementos incompatíveis e o fracionamento LREE-HREE mostram a necessidade de se considerar um manto enriquecido como fonte desses magmas. Evidências de campo e petrográficas, aliadas aos novos dados geoquímicos, geocronológicos e de química mineral indicam que os magmas ultrapotássicos (básicos) e shoshoníticos (intermediários) foram contemporâneos dos magmas graníticos, e que, provavelmente, esses magmas tiveram papel importante para a granitogênese do DM.

Palavras-chave: Sistema Orogênico Sergipano, magmas shoshoníticos, magmas ultrapotássicos, Domínio Macururé

ABSTRACT

In the northern-central portion of the Sergipano Orogenic System there is an expressive Neoproterozoic granitic magmatism. These granites are, in part, medium- to high-k calc-alkaline and shoshonitic affinities. In the Macururé Domain (MD), the shoshonitic affinity plutons consist essentially of monzonites, with subordinate syenitic and granitic terms, and have crystallization ages between 588-631 Ma. In this plutonism, the volume of mafic enclaves is higher when compared to the calcalkaline magmatism of DM, being common to observe features that indicate coexistence and interaction between mafic and felsic magmas. In Gloria Norte Stock (GNS), the main representative of the shoshonitic plutons of MD, the enclaves are of three types: (i) mafic microgranular and (ii) minettes, which represent contemporary mafic magma pulses; and (iii) autolith, generated by the fragmentation of early cumulates, consisting predominantly of clinopyroxene. The mineral chemistry data and textural features observed in the amphiboles present in the mafic enclaves (MME) of GNS indicate that this is a primary phase that was rebalanced during the interaction between the basic-ultrabasic and intermediate magmas. Geochemical data show shoshonitic affinity (high K_2O ; alkali sum greater than 5%; $K_2O/Na_2O > 1.22$ and high Ba and Sr contents) for the monzonites and monzogranites studied, and ultrapotassic affinity ($K_2O > 3\%$, $MgO > 3\%$ and $K_2O/Na_2O > 2$) for MME. These rocks exhibit volcanic arc and post-collisional geochemical signature. Incompatible element enrichment and LREE-HREE fractionation show the need to consider an enriched mantle as a source of these magmas. Field and petrographic evidence, coupled with new geochemical, geochronological, and mineral chemistry data indicate that the ultrabasic (basic) and shoshonitic (intermediate) magmas were contemporary with granitic magmas, and that these magmas probably played an important role in the granitogenesis of the granite. DM.

Keywords: Sergipano Orogenic System, shoshonitic magmas, ultrapotassic magmas, Macururé Domain

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – Introdução Geral.....	8
CAPÍTULO 2 - The Onset of post-collisional magmatism in the Macururé Domain, Sergipano Orogenic System: The Glória Norte Stock.....	17
CAPÍTULO 3 – Amphibole crystallization conditions as record of interaction between ultrapotassic enclaves and monzonitic magmas in the Glória Norte Stock, South of Borborema Province.....	33
CAPÍTULO 4 - Enclaves máficos do Stock Glória Norte: Magmatismo máfico-ultramáfico ultrapotássico, pós-orogênico no Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano.....	62
CAPÍTULO 5 - Potencial ornamental do Maciço Glória Norte, Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano.....	99
CAPÍTULO 6 – Conclusões.....	108
APÊNDICE A – Justificativa da participação dos autores.....	110
APÊNDICE B – Detalhamento dos métodos de trabalho desenvolvidos.....	113
APÊNDICE C – Análises mineraloquímicas.....	119
APÊNDICE D – Análises geoquímicas de rocha total.....	184
ANEXO A – Regras de formatação da revista “Journal of South American Earth Sciences”.....	186
ANEXO B - Regras de formatação da revista “Brazilian Journal of Geology”.....	199
ANEXO C – Regras de formatação da revista “Geologia USP, Série Científica”.....	207
ANEXO D- Comprovante de submissão do artigo.....	212

CAPÍTULO 1 – Introdução Geral

Rochas ígneas potássicas foram originalmente reconhecidas no final do século XIX por Iddings (1895), que descreveu basaltos contendo ortoclásio no Parque *Yellowstone*, e propôs o termo “shoshonito” para essas rochas vulcânicas. Com o crescente interesse no estudo dessas rochas, novos locais de ocorrência e novas classificações têm sido descritas (Sørensen 1974; Morrison 1980; De Wit 1989; Rock 1991; Peccerillo 1992; Soloviev 2104; Müller & Groves 2019).

Rochas shoshoníticas estão, geralmente, associadas com rochas cálcio-alcálicas. Esta associação auxilia petrólogos e geotectonistas quando da reconstrução geológica de terrenos antigos. Isto se deve ao fato de que a colocação de magmas shoshoníticos está intimamente associada a ambientes de arco, nas fases iniciais e finais dos arcos oceânicos e continentais, e a ambientes pós-colisionais (Müller & Groves 2019). Nesses contextos tectônicos é comum observar nas associações shoshoníticas um enriquecimento em LILE e em ETR leves, assim como a presença de anomalias negativas em Ta, Nb, e Ti (Morrison 1980; Pearce et al. 1984; Kontak et al. 1986; Ringwood 1990; Foley & Peccerillo 1992; Turner et al. 1996; Blatter et al. 2001; Shiran, 2013).

O magmatismo granítico é uma das feições mais importantes da orogênese brasileira (650 – 550 Ma) na Província Borborema (PB). A distribuição e as características geoquímicas desses granitos foram revisadas por diversos autores (e.g. Almeida et al. 1967; Sial, 1986; Guimarães & Silva Filho, 1998, 2004; Brito Neves et al. 2000 e Silva Filho et al. 2013, 2016). Para Silva Filho et al. (2013) a colocação de magmas potássicos na PB ocorreu em quatro períodos distintos: (i) pré-colisional (650-620 Ma); (ii) sin-colisional (620-600 Ma); (iii) pós-colisional (580-550 Ma), e (iv) pós-tectônico (550-530 Ma).

O magmatismo potássico na PB é representado por batólitos, *sotcks* e diques com composições quartzo-monzoníticas, sienograníticas, quartzo-sieníticas a quartzo álcali-feldspato sieníticas (Guimarães 1989; Brito et al. 2009; Silva Filho et al. 2013; Gentil 2013; Ferreira et al. 2015, Lisboa et al. 2019). A distribuição espacial destes corpos está relacionada com as zonas de cisalhamento, e marca os estágios finais de compressão e/ou distensão, durante a orogênese brasileira (Silva Filho et al. 2013, 2016; Nascimento et al. 2015).

O magmatismo shoshonítico, no Domínio Rio Grande do Norte da PB, é constituído por grabos, dioritos e quartzo-monzonitos (Nascimento et al. (2015)). Estes corpos ocorrem como pequenos plútons isolados (Quixaba, São João do Sabugi, Casserengue e Poço Verde) ou associados a corpos com textura porfirítica e de afinidade cálcio-alcálica de alto K. A colocação desses corpos ocorreu entre 599 Ma (Plúton Poço Verde) e 579 Ma (Plúton São João do Sabugi).

No Domínio Transversal, Guimarães et al. (2004) identificam os corpos shoshoníticos, Bom Jardim e Toritama, que foram intrusivos em 590 e 581 Ma, respectivamente. Silva Filho et al. (2016), no Domínio Pernambuco-Alagoas, identificaram corpos potássicos cujas afinidades geoquímicas variam de cálcio-alcálica de alto K a shoshonítica, e os reuniram em três grupos distintos, de acordo com as idades de colocação: pré- a sin-colisionais, com idades de cristalização próximas de 635 Ma (e.g. Serra do Catú); sin-colisionais com idades entre 610-618 Ma (e.g. Santana do Ipanema, Água Branca, Mata Grande e Correntes), e tardios a pós- colisionais, cujas idades não ultrapassam 590 Ma (e.g. Águas Belas e Cachoeirinha).

No Sistema Orogênico Sergipano (SOS) Humphrey e Allard (1962) foram os primeiros a descrever a existência de monzonitos e quartzo-monzonitos. Posteriormente, Santos et al. (1988), Brito et al. (2009) e Gentil (2013) estudaram as intrusões shoshoníticas que ocorrem na porção norte do SOS, nos domínios Maracó, Canindé e Poço Redondo. Este magmatismo é intrusivo entre 611 e 624 Ma (Gava et al. 1983; Brito et al. 2009; Silva Filho et al. 2013; Sousa et al. 2019).

A presença de magmatismo monzonítico no Domínio Macururé (DM) foi descrita por Brito Neves & Cordani (1973). Todavia, até o ano 2000 este tipo de magmatismo não tinha sido foco de estudos mais detalhados, tampouco objeto de comparação com os outros corpos de mesma afinidade tanto no SOS quanto nas demais regiões da Província Borborema.

Após a caracterização do *Stock* Glória Norte (SGN), principal representante do magmatismo shoshonítico no Domínio Macururé, feita por Lisboa (2014), várias questões importantes foram levantadas sobre o magmatismo de afinidade shoshonítica no DM. Uma das questões foi a ocorrência de corpos com afinidade shoshonítica e com idades de colocação distintas? Qual é a razão dessa ocorrência? Qual a composição da fonte responsável pela geração dos magmas shoshoníticos no DM? E, por fim, em relação a orogênese brasileira no DM, como este magmatismo se posiciona no tempo?

A partir desses questionamentos, estabeleceu-se o principal objetivo dessa pesquisa, que foi contribuir para um melhor entendimento do magmatismo shoshonítico que ocorre no Domínio Macururé do Sistema Orogênico Sergipano.

Ao final deste estudo foi possível obter novos dados petrográficos, mineraloquímicos, geoquímicos e isotópicos das rochas que compõem o SGN, além disso foi possível caracterizar a petrologia e detalhar a ocorrência dos magmas ricos em potássio no DM. A geração de shoshoníticos e ultrapotássicos requerem condições específicas de ambiência tectônica, pressão e temperatura. Estas informações irão ajudar a compreender a participação desses magmas na evolução do SOS.

A área de estudo localiza-se na porção centro-norte do estado de Sergipe, no Domínio Macururé. Esta região se insere nas folhas topográficas Carira (SC-24-Z-A-III) e Gracho Cardoso (SC-24-Z-B-I) e está delimitada pelos paralelos 9°15' e 10°30'S e pelos meridianos 37°15' e 38°00'W (Figura 1).

O Domínio Macururé é limitado por duas zonas de cisalhamento regionais, a saber: Belo Monte Jeremoabo à norte, separando dos domínios Marancó e Poço Redondo, e São Miguel do Aleixo à sul, separando do Domínio Vaza-Barris.

O DM é composto pelas rochas metassedimentares do Grupo Macururé, que incluem quartzitos, metapelitos, metarrilitos, rochas calciossilicáticas e metavulcânicas, cuja deposição ocorreu no final do Toniano (Oliveira et al. 2006, 2010, 2015a). O metamorfismo regional no DM alcançou fácies anfíbolito, em condições intermediárias de pressões e temperaturas altas (Davison & Santos 1989; Silva et al. 1995).

Intrudindo nas rochas metassedimentares do DM tem-se granitos e rochas máfico-ultramáficas. A granitogênese observada no Domínio Macururé é classificada como anterior, sincrônica e posterior à orogenia brasiliana, com idades de cristalização entre 630 e 570 Ma (Bueno et al. 2009; Oliveira et al. 2015b; Conceição et al. 2016; Lisboa et al. 2019; Pereira 2019).

Na elaboração desta tese seguiu-se a estrutura determinada pela Resolução 01/2015 do Curso de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, na qual a tese pode ser redigida sob a forma de artigos científicos.

O primeiro artigo científico foi publicado na revista *Journal of South American Earth Sciences* (Qualis CAPES B1), volume 89 em novembro de 2018, foi intitulado

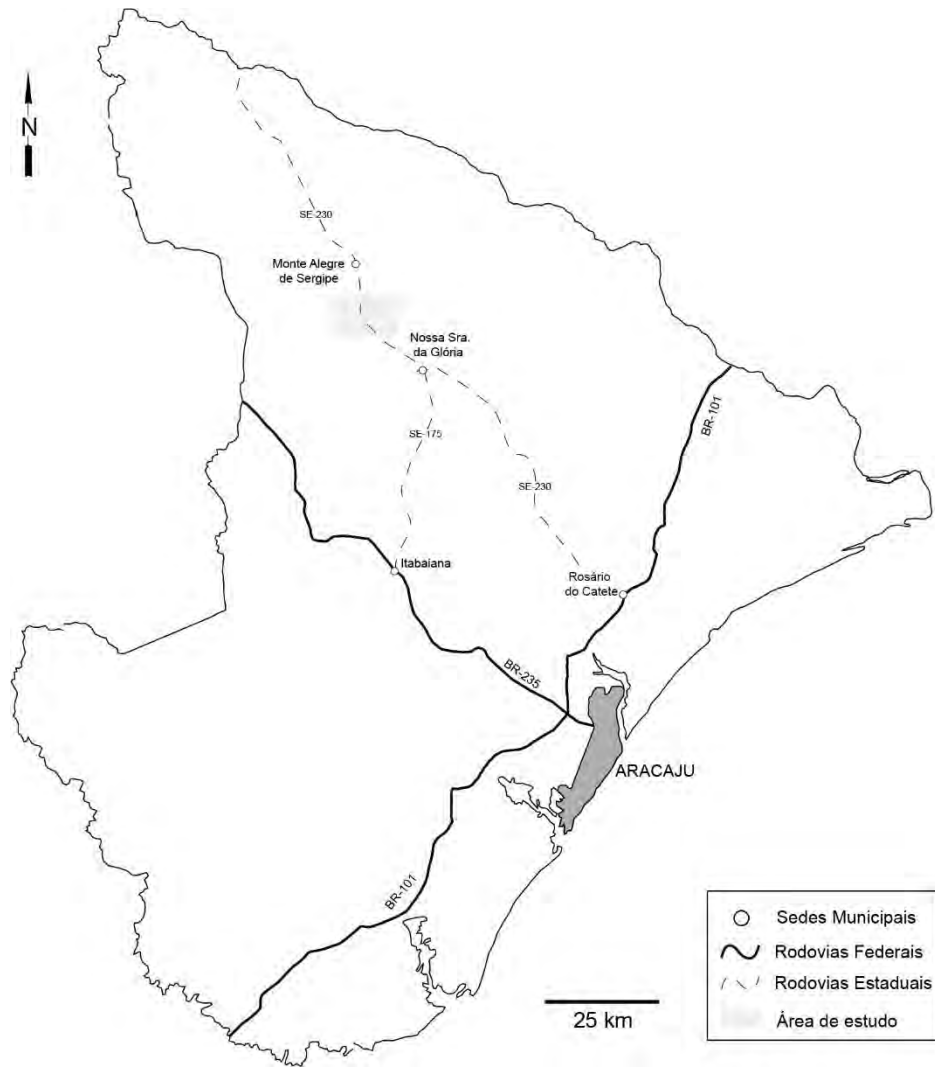


Figura 1. Mapa de localização e acessos à área de estudo.

“*The onset of post-collisional magmatism in the Macururé Domain, Sergipano Orogenic System: The Glória Norte Stock*”. Neste artigo foram apresentados os dados geoquímicos de rocha total e geocronológicos U-Pb^{SHRIMP} em zircão, identificados magmas ultrapotássicos como enclaves e caracterizadas as possíveis fontes e processos petrogenéticos envolvidos na geração do *Stock Glória Norte*, além de definido o período de colocação deste plúton.

O segundo artigo, intitulado “*Amphibole crystallization conditions as record of interaction between ultrapotassic enclaves and monzonitic magmas in the Glória Norte Stock, South of Borborema Province*”, foi submetido ao Brazilian Journal of Geology (*Qualis CAPES B1*) e encontra-se em fase de avaliação. Neste trabalho são apresentados e discutidos os resultados de análises químicas pontuais obtidas em cristais de anfibólio que ocorrem nos enclaves máficos ultrapotássicos do *Stock Glória Norte*, suas relações texturais e as condições de cristalização.

O terceiro manuscrito, intitulado “*Enclaves máfico-ultramáficos do Stock Glória Norte: Magmatismo máfico-ultramáfico ultrapotássico, pós-orogênico no Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano*”, será submetido na revista *Journal of South American Earth Sciences (Qualis CAPES B1)*. Este trabalho apresenta e discute os resultados obtidos (relações de campo, dados petrográficos e geoquímicos) dos enclaves máficos ultramáficos presentes no *Stock Glória Norte*.

Os resultados da avaliação do potencial ornamental das rochas do *Stock Glória Norte* foram objeto do artigo intitulado “*Potencial ornamental do Maciço Glória Norte, Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano*”, publicado no periódico *Geologia USP Série Científica (Qualis CAPES B2)*, volume 16 em setembro de 2016.

Referências

- Almeida F.F.M. 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira. DNPM. 241, 36 p.
- Blatter D.L., Carmichael I.S., Deino A.L., Renne P.R. 2001. Neogene volcanism at the front of the central Mexican volcanic belt: basaltic andesites to dacites, with contemporaneous shoshonites and high-TiO₂ lava. *Geological Society of America Bulletin*, 113(10), 1324-1342.
- Brito M.D.F.L., Silva Filho A.F., Guimarães I.P. 2009. Caracterização geoquímica e isotópica do batólito Serra do Catu e sua evolução da interface dos domínios Sergipano e Pernambuco-Alagoas, Província Borborema. *Revista Brasileira de Geociências*, 39(2), 324-337.

- Brito Neves B.B. & Cordani U.G. 1973. Problemas geocronológicos do "Geossinclinal Sergipano" e do seu embasamento. In Anais 27º Congresso Brasileiro de Geologia, Aracajú (pp. 67-76).
- Brito Neves B.B., Santos E.J., Van Schmus W.R. 2000. Tectonic History of the Borborema Province. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) Tectonic evolution of South- America. Rio de Janeiro, p.151-182.
- Bueno J.F., Oliveira E.P., McNaughton N.J., Laux J.H. 2009. U–Pb dating of granites in the Neoproterozoic Sergipano Belt, NE-Brazil: implications for the timing and duration of continental collision and extrusion tectonics in the Borborema Province. *Gondwana Research*, 15(1), 86-97.
- Conceição J.A., Rosa M.L.S, Conceição H. 2016. Sienogranitos leucocráticos do Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano, Nordeste do Brasil: Stock Glória Sul. *Brazilian Journal of Geology*, 46(1), 63-77.
- Davison I. & Santos R.A. 1989. Tectonic evolution of the Sergipano fold belt, NE Brazil, during the Brasiliano orogeny. *Precambrian Research*, 45(4), 319-342.
- De Wit M.J. 1989. Book review: alkaline igneous rocks. *Lithos*, 24, 81–82.
- Ferreira V.P., Sial A.N., Pimentel M.M., Armstrong R., Guimarães I.P., Silva Filho A.F., Lima M.M.C., Silva T. R. 2015. Reworked old crust-derived shoshonitic magma: The Guarany pluton, Northeastern Brazil. *Lithos*, 232, 150-161.
- Foley S. & Peccerillo A. 1992. Potassic and ultrapotassic magmas and their origin. *Lithos*, 28(3-6), 181-185.
- Gava A., Nascimento D.A., Vidal J.L.B. 1983. Geologia. In: Projeto RADAM BRASIL: Folha SC. 24/25, Aracaju-Recife. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia. 852p.
- Gentil T.F.C. 2013. Petrologia e Geoquímica do Batólito shoshonítico Serra do Brejo no Domínio Poço Redondo, Faixa Sergipana (Sul da Província Borborema). Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias. Universidade Federal de Sergipe. 166p.
- Guimaraes I.P. 1989. The petrological evolution and tectonic associations of the Bom Jardim Complex, Pernambuco State, NE Brazil. PH.D Thesis, Imperial College, University of London, 423p.
- Guimãraes I.D.P. & Silva Filho A.F. 1998. Nd and Sr-Isotopic and U-Pb Geochronologic Constraints for Evolution of the Shoshonitic Brasiliano Bom Jardim and Toritama Complexes: Evidence for a Transamazonian Enriched Mantle Under Borborema Tectonic Province, Brazil. *International Geology Review*, 40(6), 500-527.

- Guimaraes I.P., Silva Filho A.F., Almeida C.N., Van Schmus W.R., Araújo J.M., Melo S.C., Melo E.B. 2004. Brasiliano (Pan-African) granitic magmatism in the Pajeú-Paraíba belt, Northeast Brazil: an isotopic and geochronological approach. *Precambrian Research*, 135(1-2), 23-53.
- Humphrey F.L. & Allard G.O. 1962. Reconnaissance geology of pre-cretaceous rocks in the state of Sergipe. Rel. 230, Div. Reg. de Exploração, RPNE/PETROBRÁS. Maceió.
- Iddings J.P. 1895. Absarokite-shoshonite-banakite series. *The Journal of Geology*, 3(8), 935-959.
- Kontak D.J., Clark A.H., Farrar E., Pearce T.H., Strong D.F., Baadsgaard H. 1986. Petrogenesis of a Neogene shoshonite suite, Cerro Moromoroni, Puno, southeastern Peru. *The Canadian Mineralogist*, 24(1), 117-135.
- Lisboa V.A.C. 2014. Petrologia e geocronologia do Maciço Glória Norte, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE do Brasil. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias. Universidade Federal de Sergipe. 140p.
- Lisboa V.A.C., Conceição H., Rosa M.L.S., Fernandes D.M. 2019. The onset of post-collisional magmatism in the Macururé Domain, Sergipano Orogenic System: The Glória Norte Stock. *Journal of South American Earth Sciences*, 89, 173-188.
- Morrison G.W. 1980. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos*, 13(1), 97-108.
- Muller D. & Groves D. 2019. Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization. Springer.
- Nascimento M.A.L., Galindo A.C., Medeiros V.C. 2015. Ediacaran to Cambrian magmatic suites in the Rio Grande do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil): Current knowledge. *Journal of South American Earth Sciences*, 58, 281-299.
- Oliveira E.P., Toteu S.F., Araújo M.N.C., Carvalho M.J., Nascimento R.S., Bueno J.F., McNaughton N., Basilici G. 2006. Geologic correlation between the Neoproterozoic Sergipano belt (NE Brazil) and the Yaoundé belt (Cameroon, Africa). *Journal of African Earth Sciences*, 44(4-5), 470-478.
- Oliveira E.P., Windley B.F., Araújo M.N. 2010. The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana. *Precambrian Research*, 181(1-4), 64-84.
- Oliveira E.P., McNaughton N.J., Windley B.F., Carvalho M.J., Nascimento R.S. 2015a. Detrital zircon U–Pb geochronology and whole-rock Nd-isotope constraints on sediment

provenance in the Neoproterozoic Sergipano orogen, Brazil: From early passive margins to late foreland basins. *Tectonophysics*, 662, 183-194.

Oliveira E.P., Bueno J.F., McNaughton N.J., Silva Filho A.F., Nascimento R.S., Donatti-Filho J.P. 2015b. Age, composition, and source of continental arc-and syn-collision granites of the Neoproterozoic Sergipano Belt, Southern Borborema Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 58, 257-280.

Pearce J.A., Harris N.B., Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of petrology*, 25(4), 956-983.

Peccerillo A. 1992. Potassic and ultrapotassic rocks-compositional characteristics, petrogenesis, and geologic significance. *Episodes*, 15(4), 243-251.

Pereira F.S. 2019. Petrogênese da suíte máfica do Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano, setor Sul da Província Borborema. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias. Universidade Federal de Sergipe. 274p.

Ringwood A.E. 1990. Slab-mantle interactions: 3. Petrogenesis of intraplate magmas and structure of the upper mantle. *Chemical Geology*, 82, 187-207.

Rock N.M.S. 1991. *Lamprophyres*. Blackie, Glasgow, p 285.

Santos R.A., Menezes Filho N.R., Souza J.D. (Orgs). 1988. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: carta geológica, carta metalogenéticas/previsional – (Folha SC.24-Z-A-III Carira). Estados de Sergipe e Bahia: DNPM/CPRM. 124 p.

Shiran H. 2013. Petrogenesis of quaternary shoshonitic volcanism in NE Iran (Ardabil): Implication for postcollisional magmatism. *Journal of Geological Research*, 2013.

Sial A.N. 1986. Granite-types in northeast Brazil: current knowledge. *Revista Brasileira de Geociências*, 16, 54-72.

Silva Filho A.F., Guimarães I.D.P., Van Schmus W.R., Dantas E., Armstrong R., Concentino L., Lima, D. 2013. Long-lived neoproterozoic high-K magmatism in the Pernambuco–Alagoas Domain, Borborema Province, northeast Brazil. *International Geology Review*, 55(10), 1280-1299.

Silva Filho A.F., Guimarães I.D.P., Santos L., Armstrong R., Van Schmus W.R. 2016. Geochemistry, U–Pb geochronology, Sm–Nd and O isotopes of ca. 50 Ma long Ediacaran High-K Syn-Collisional Magmatism in the Pernambuco Alagoas Domain, Borborema Province, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 68, 134-154.

Silva J.M.R., Neto M.D.C.C., Brito Neves B.B. 1995. Deformação e metamorfismo principais de uma parte da Faixa Sul-Alagoana (Complexo Macururé), sistema de

dobramentos Sergipano, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4), 343-350.

Sørensen H. 1974. Origin of the alkaline rocks: a summary and retrospect. In: Sørensen H (ed) *The alkaline rocks, petrogenesis*. Wiley, London, pp 535–539.

Soloviev S.G. 2014. *The metallogeny of shoshonitic magmatism, vol I*. Scientific World Publications, Moscow, pp 1–528.

Sousa C.S., Soares H.S., Rosa M.L.S., Conceição H. 2019. Petrologia e geocronologia do Batólito Rio Jacaré, Domínio Poço Redondo, Sistema Orogênico Sergipano, NE do Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, 19(2), 171-194.

Turner S., Arnaud N., Liu J., Rogers N., Hawkesworth C., Harris N., Van Calsteren V., Deng W. 1996. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts. *Journal of petrology*, 37(1), 45-71.

CAPÍTULO 2 - The onset of post-collisional magmatism in the Macururé Domain, Sergipano Orogenic System: The Glória Norte Stock

Journal of South American Earth Sciences 89 (2019) 173–188



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Journal of South American Earth Sciences

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jsames



The onset of post-collisional magmatism in the Macururé Domain, Sergipano Orogenic System: The Glória Norte Stock



Vinícius Anselmo Carvalho Lisboa^{a,b,✉}, Herbet Conceição^{a,c}, Maria Lourdes Silva Rosa^c,
Diego Melo Fernandes^c

^a Federal University of Bahia, Postgraduate Course in Geology – Institute of Geosciences, Rua Caetano Moura, 123, Federação, CEP: 40210-340, Salvador, BA, Brazil

^b Federal Institute of Education, Science and Technology of Paraíba – Campus Picuí, Rodovia PB-151; s/n, CEP: 58187-000, Picuí, PB, Brazil

^c Federal University of Sergipe, Postgraduate Program of Geosciences and Basins Analysis, Av. Marechal Rondon, s/n, Rosa Elze, CEP: 491000-100, São Cristóvão, SE, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:

Sergipano Orogenic System
Shoshonitic magmatism
Macururé Domain

ABSTRACT

In the northern-central portion of the Sergipano Orogenic System there is an expressive Neoproterozoic granitic magmatism with high-K calc-alkaline and shoshonitic affinities. The Glória Norte Stock (GNS, 45 km²) is the most important representative of the shoshonitic magmatism in one of the domains of the Sergipano System, the Macururé. The contacts of the stock with the host metasedimentary rocks are discordant and steep, with generation of amphibolite facies hornfels. The GNS is made up of predominantly porphyritic quartz-monzonite and monzogranite. It shows a magmatic flow foliation defined by oriented mafic enclaves and feldspar phenocrysts, without evidence for solid state regional deformation. Mafic microgranular enclaves (MME) are abundant and present different sizes and shapes. Minette and biotite diopside cumulate enclaves are also present. Coexistence between two different magmas is indicated by crystal corrosion and dissolution textures, compositional zoning of feldspar and presence of clusters of mafic minerals. Grain size decrease towards the rims of the MME indicates fast cooling of small drops of mafic magma, due to temperature contrast with the felsic magma. The monzonites and granites of the GNS have shoshonitic affinity, and the enclaves are related to ultrapotassic suites (MgO > 3%, K₂O > 3%). LREE are enriched as compared to HREE, and there are remarkable negative anomalies of Ta, Nb, Ti, P, Sr and Eu, mostly in the enclaves. The MME have been probably formed from a mantle magma with shoshonitic affinity. The observed evolution from MME to quartz-monzonites and monzogranites is essentially linked to a process of fractional crystallization. The relations between Ta/Yb and Th/Yb ratios suggest enriched mantle as a possible source of this magmatism. The relative enrichment in Rb, Th, Ce and Sm indicates that magma was generated in post-collisional events. The U-Pb_{SHRIMP} age of 588 ± 5 Ma in zircon crystals indicates that the emplacement of the GNS represents a post-collisional magmatism, marking the end of collisional processes in the Macururé Domain.

1. Introduction

According to Almeida et al. (1977) the Borborema Province (BP) represents the west margin of the Gondwana Supercontinent (Brito Neves et al., 2000). It was formed as a consequence of convergence between the África-São Luís cratons to the north, and São Francisco-Congo to the south, during the Neoproterozoic (Van Schmus et al., 1995). The BP extends itself for about 380.000 km², presents stratigraphic and geochronological complexity, and is marked by extensive transcurrent shear zones. Brito Neves et al. (2000) and Van Schmus

et al. (2008) proposed a number of tectonic domains of the BP, namely, from north to south: Médio Coreáú; Ceará; Rio Grande do Norte; Transversal; Riacho do Pontal; Pernambuco-Alagoas and Sergipano.

Granitic magmatism is one of the most expressive features of the Brasiliano orogenesis (650–550 Ma) in the BP (Fig. 1). The distribution and the geochemical characteristics of these granites have been reviewed by several authors (e.g. Sial, 1986 ; Guimarães and Silva Filho, 1998, 2004 ; Ferreira et al., 1998 ; Brito Neves et al., 2000 and Silva Filho et al., 2013 , 2016). In the BP one can recognize an extensive and voluminous potassic magmatism, represented by batholiths, dykes and

[✉] Corresponding author. Federal University of Bahia, Postgraduate Course in Geology – Institute of Geosciences, Rua Caetano Moura, 123, Federação, CEP: 40210-340, Salvador, BA, Brazil.

E-mail addresses: vinicius.lisboa@ifpb.edu.br (V.A. Carvalho Lisboa), herbet@pq.cnpq.br (H. Conceição), lourdes.rosa@pq.cnpq.br (M.L. Silva Rosa), diego.melo.geologia@hotmail.com (D.M. Fernandes).

<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.11.005>

Received 16 April 2018; Received in revised form 8 October 2018; Accepted 5 November 2018

Available online 16 November 2018

0895-9811/© 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.

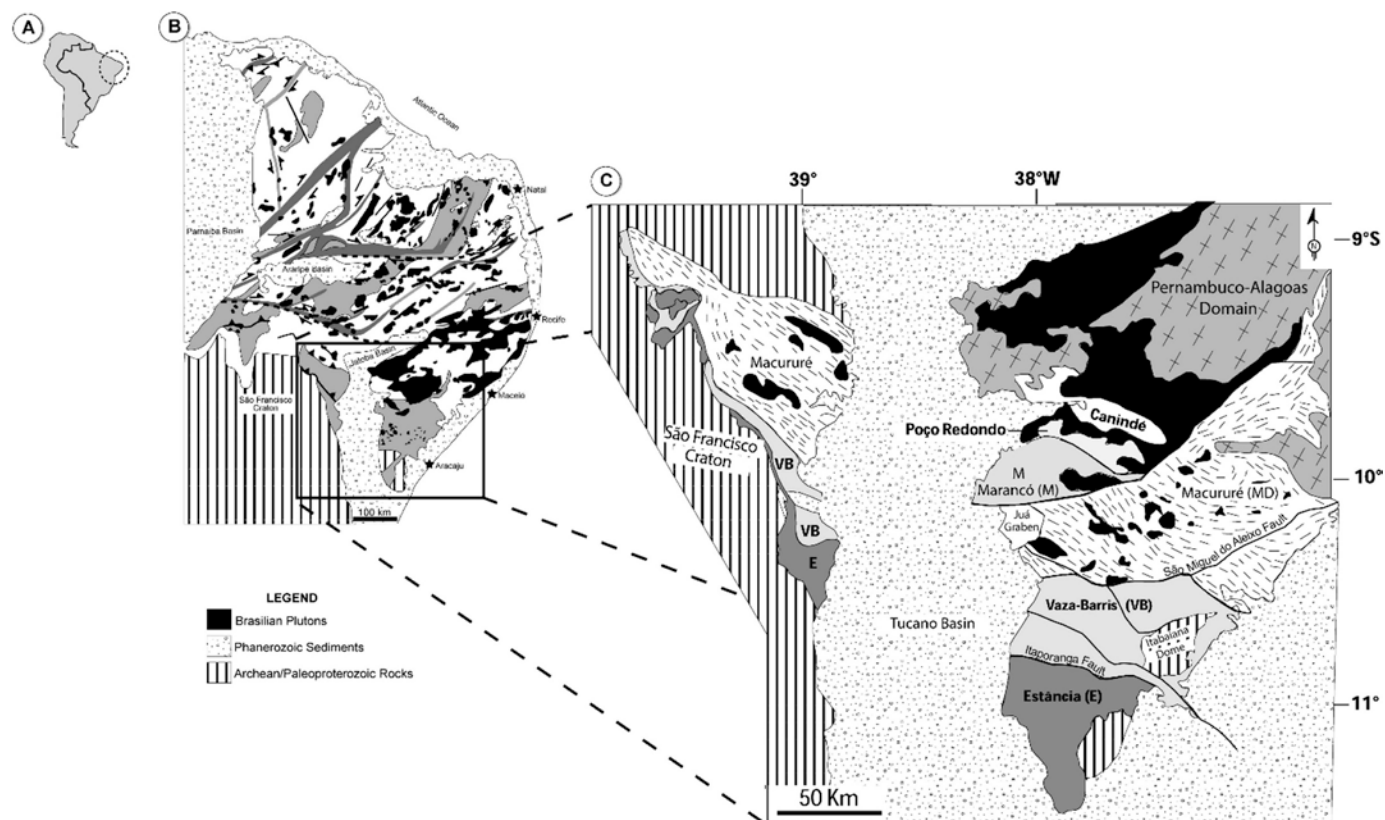


Fig. 1. [A] Political map of Brazil, with indication of the Northeast region. [B] Schematic geological map showing the shear zones system of Borborema Province (Vauchez et al., 1995), with the main Neoproterozoic granitic bodies (s.l.). [C] – Geological map of the Sergipano Orogenic System and nearby areas (D'el Rey Silva, 1992), showing six domains: Estância (E), Vaza Barris (VB), Macururé (MD), Marancó (M), Poço Redondo and Canindé; these are separated by large shear zones.

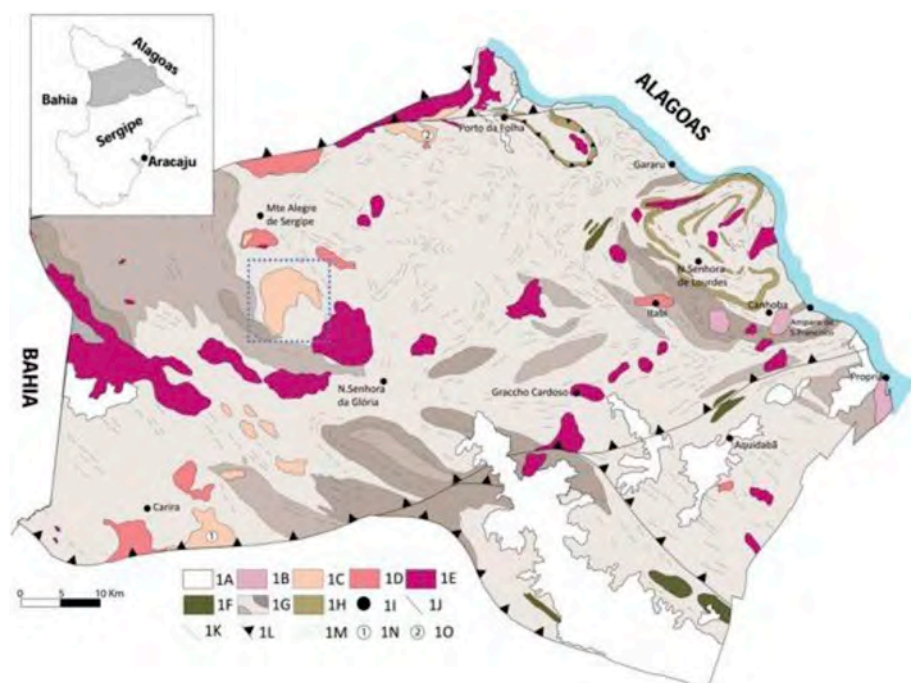


Fig. 2. Political map of Sergipe, with indication of the Macururé Domain. Geological sketch map of the Macururé Domain according to Conceição et al. (2016) with the map of Fig. 3 demarcated by the blue square. Symbols: 1A – arenaceous and argillaceous terrigenous covers; 1B – calc-alkaline granites with rapakivi texture; 1C – granitoids with shoshonitic affinities; 1D – high-K calc-alkaline granodiorites; 1E – leucocratic syenogranite; 1F – mafic-ultramafic bodies; 1G – metasedimentary rocks of the Macururé Domain; 1H – quartzites; 1I – town; 1J – defined contact; 1K – gradational contact; 1L – contractional fault; 1M – lineament; 1 – Alto Verdes Stock; 2 – Lagoas Stock. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

quartz-monzonitic, syenogranitic, quartz-syenitic to quartz alkali-feldspar dyke swarms (Guimarães, 1989; Brito et al., 2009; Silva Filho et al., 2013; Gentil, 2013; Ferreira et al., 2015). The spatial distribution of these bodies is related to the shear zones, and they mark the final stages of compression and/or distension, during the Brasiliano

orogenesis (Nascimento and Galindo, 2015).

In the Transversal Domain, Guimarães et al. (2004) identified shoshonitic granites (Bom Jardim and Toritama), that have been intruded respectively at 590 and 581 Ma. In the Pernambuco-Alagoas Domain, Silva Filho et al. (2016) identified bodies whose geochemical

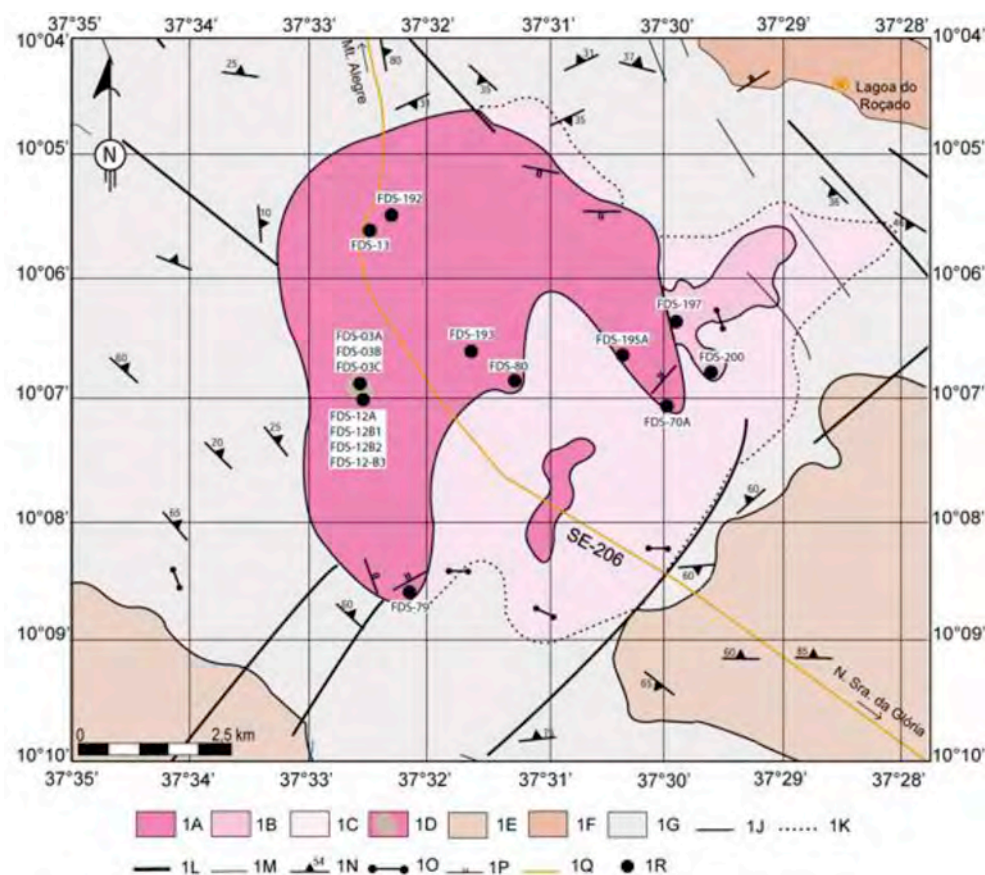


Fig. 3. Simplified Geological Map of the GNS (Lisboa, 2014). Symbols: 1A – Porphyritic hornblende-biotite quartz-monzonite, biotite granite and biotite granodiorite with mafic enclaves; 1B – Phaneritic biotite hornblende monzogranite; 1C – Influence Zone: granite dykes with muscovite; 1D – Porphyritic biotite hornblende quartz-monzonite with lamprophyric enclaves; 1E – Granite with muscovite and biotite; 1F – Porphyritic granodiorite with mafic microgranular enclaves; 1G – Garnet mica schist with local calc silicate layers, phyllites and slates; 1J – defined contact; 1K – Gradational contact; 1L – Fault; 1M – aerial photograph lineament; 1N – Foliation with measured and indicated dip; 1O – dykes; 1P – Magmatic Foliation; 1Q – Asphalt road; 1R – sampled points. Each sampling location is identified by an alphanumeric code.

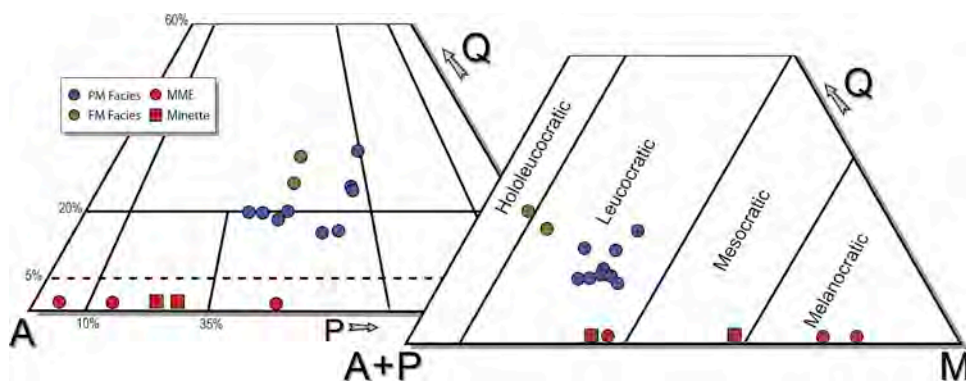


Fig. 4. Glória Norte Massif samples on modal classification diagrams (Streckeisen, 1976). Symbols: GNS rocks (blue circle – porphyritic biotite quartz-monzonite facies; green circle – biotite hornblende monzogranite facies); mafic microgranular enclaves (red circle) and minette (red square). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

affinities vary from high-K calc-alkaline to shoshonitic, and divided them into three groups according to emplacement ages: the pre-to syn-collisional, with crystallization age close to 635 Ma (e.g. Santana do Ipanema, Água Branca, Mata Grande and Correntes), and the tardi-to post-collisional, which ages do not exceed 590 Ma (e.g. Águas Belas and Cachoeirinha).

The rocks studied in this paper are located in the Sergipano Orogenic System (SOS), corresponding to the Sergipano Domain of the Borborema Province (Brito Neves et al., 2000 and Van Schmus et al., 2008), where potassic magmatism is not widespread. In the SOS, Humphrey and Allard (1962) were the first ones to ever report the existence of massifs with monzonite and quartz-monzonite compositions. Later on, Santos et al. (1988), Brito et al. (2009) and Gentil (2013) studied the shoshonitic intrusions that occur in the northern portion of the SOS, in the Maracó, Canindé and Poço Redondo domains. This magmatism has been intruded between 611 and 615 Ma (Gava et al., 1983; Brito et al., 2009; Silva Filho et al., 2013).

This work presents and discusses field, petrographic, geochemical

and geochronological data from the Glória Norte Stock (GNS), which constitutes the main example of the shoshonitic magmatism occurring in the Macururé Domain (MD).

2. Geological context

The SOS has well studied for at least three decades. It is located in the southern portion of the Borborema Province (BP), on the border of this province with the São Francisco Craton (Fig. 1). The formation of this orogenic system has been attributed to collision between the Pernambuco-Alagoas Domain and the São Francisco Craton (Brito Neves et al., 1977; D'el Rey Silva, 1992; Oliveira et al., 2006, 2010). In the Sergipe state, the SOS comprises six distinct geological domains: Estância, Vaza-Barris, Macururé, Maracó, Poço Redondo and Canindé (Davison and Santos, 1989; D'el Rey Silva, 1995), which are bounded by shear zones. The Estância, Vaza-Barris and Macururé domains are essentially metasedimentary, while the other domains consist mainly of granites and subordinate intermediate mafic and ultramafic

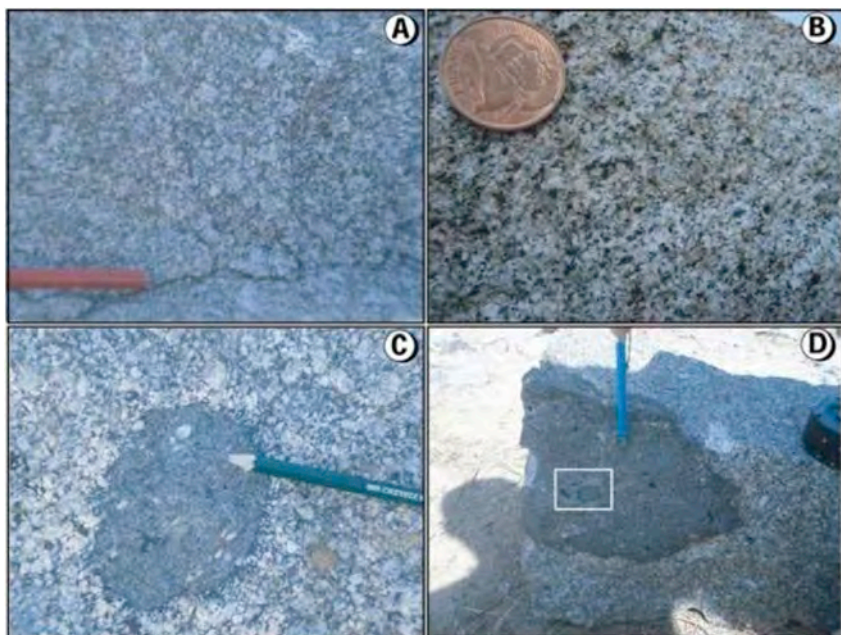


Fig. 5. Field aspects. Representative textures of the PM facies. The rock exhibits grey color, medium grained and porphyritic texture with feldspar phenocrysts [A]; Characteristic texture of the FM Facies [B]; Mafic microgranular enclave (MME) showing a finer-grained texture as compared to the host porphyritic quartz-monzonite. It is possible to see the presence of xenocrysts of alkaline feldspar or plagioclase from the host quartz-monzonite [C]; Minette with scattered biotite phenocrysts (black) throughout the rock. In detail (white square), an ultramafic enclave, displaying greenish color due to high volume of diopside [D]. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)



Fig. 6. Photomicrography of textures usually found in the porphyritic biotite quartz-monzonite facies of the Glória Norte Stock. The photomicrography shows hipidiomorphic texture with microcline phenocrysts and crystals of plagioclase, quartz, hornblende and biotite that compose the matrix. Legend: mc – microcline; qz – quartz; kfs – alkali feldspar; pl – plagioclase; bt – biotite; hbl – hornblende; ep – epidote.

intermediate (plutonic and volcanic) rocks.

The GNS is intrusive in the Macururé Domain (MD). This domain is composed of siliciclastic metasedimentary rocks and subordinate marble, calc-silicate and metavolcanic rocks which have been metamorphosed in greenschist-to amphibolite facies. The MD metasedimentary rocks were intruded by several igneous bodies with different compositions and nature as well as by mafic/ultramafic dykes, tonalites, granodiorites, monzonites and leucogranites (Silva Filho et al., 1979; Santos et al., 1988).

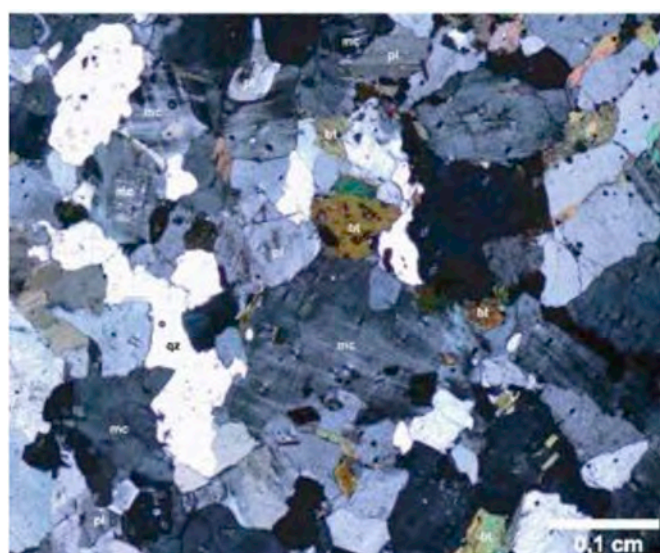


Fig. 7. Representative image of the hornblende-biotite monzogranitic facies of the Glória Norte Stock, showing even-grained hipidiomorphic texture. Legend: mc – microcline; qz – quartz; pl – plagioclase; bt – biotite.

2.1. Macururé Domain granites

The granites that occur in the Macururé Domain were grouped by Santos and Silva Filho (1975) under the designation “Glória Type Granites” (Fig. 2). Teixeira et al. (2014) updated the Sergipe geological map and gathered the granites into suites, taking into account the new available geochemical and geochronological data. The oldest massifs were named as “Coronel João Sá Intrusive Suite” (± 625 Ma; Long et al., 2005). There are also massifs belonging to the Queimada Grande (± 600 Ma; Oliveira et al., 2006, 2010) and Glória-Xingó 1 and Glória-Xingó 2 (± 570 Ma; Oliveira et al., 2006, 2010) suites.

Oliveira et al. (2015) obtained U–Pb ages in zircon and titanite crystals and separated the MD granites into two groups, according to their ages: one formed between 630 and 618 Ma and another between 590 and 570 Ma. The oldest group occurs in the Marancó, Poço Redondo and Canindé Domains as well (Fig. 1), while the younger group is

Table 1

Representative chemical analyses of the Glória Norte Stock. Porphyritic monzonite rocks (PM) and phaneritic monzonite rocks (FM).

Sample	70A	195A	80	79	192	193	13	12A	3A	197	200
Facies	PM										FM
SiO ₂	60.77	61.35	61.97	62.30	62.44	62.52	62.58	63.34	63.59	68.68	68.97
Al ₂ O ₃	15.36	14.86	14.94	14.84	14.78	14.85	14.63	14.84	14.67	15.34	15.17
CaO	4.45	4.58	4.25	4.02	4.48	4.12	4.18	4.06	3.70	2.14	1.88
Na ₂ O	3.17	3.19	3.12	3.15	3.20	2.97	3.20	3.44	3.23	3.97	4.02
K ₂ O	4.39	3.90	4.24	4.25	4.03	4.55	4.25	4.25	4.43	5.01	5.03
TiO ₂	0.81	0.84	0.74	0.75	0.75	0.73	0.77	0.67	0.63	0.33	0.30
Fe ₂ O ₃	5.85	6.00	5.54	5.40	5.49	5.35	5.59	5.12	5.21	2.42	2.23
MnO	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.04	0.04
MgO	3.54	3.81	3.51	3.40	3.22	3.41	3.19	2.94	2.82	1.26	1.08
P ₂ O ₅	0.35	0.35	0.38	0.35	0.30	0.34	0.33	0.29	0.27	0.16	0.15
LOI	0.70	0.60	0.80	1.00	0.9	0.70	0.80	0.60	1.00	0.40	0.9
Total	98.78	98.97	98.78	98.55	98.78	98.93	98.81	99.03	98.63	99.35	98.87
V	11.00	119.00	110.00	104.00	110.00	108.00	107.00	97.00	91.00	37.00	35.00
Co	16.70	16.70	15.70	15.50	14.60	15.70	15.80	13.40	13.30	5.70	4.60
Zn	61.00	64.00	64.00	–	53.00	61.00	53.00	52.00	51.00	55.00	51.00
Ni	24.00	26.10	29.80	26.20	21	25	19.30	22.00	21.40	< 20	< 20
Cr	220.00	230.00	230.00	210.00	180.00	220.00	190.00	190.00	180.00	70.00	70.00
Cu	18.70	21.20	17.80	13.90	18.00	22.40	19.60	16.60	17.20	9.90	11.20
Ba	631	1286	1648	1538	1284	1535	1232	1194	1281	1171	1078
Rb	142.00	122.80	127.80	137.20	145.30	126.20	158.90	151.50	159.40	142.50	171.40
Sr	772.70	751.40	760.80	735.00	625.00	747.00	609.20	682.90	649.10	733.60	683.40
Y	18.70	19.00	18.00	17.30	18.50	19.80	19.00	15.90	15.50	8.20	7.70
Zr	108.10	221.40	213.20	225.90	192.60	219.50	204.90	198.50	197.10	151.90	141.00
Nb	9.70	9.50	8.00	9.40	9.60	9.20	10.90	9.40	8.90	5.60	7.20
Th	11.30	14.40	11.90	13.70	16.00	18.00	14.90	13.00	13.80	12.50	18.20
U	3.00	2.80	2.40	2.20	3.60	3.30	3.20	3.10	2.70	2.00	3.60
Ga	22.50	21.20	20.80	20.80	19.10	19.80	20.90	21.20	20.60	20.00	20.70
Sc	14.00	13.00	13.00	12.00	13.00	13.00	14.00	13.00	12.00	4.00	4.00
Sn	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Ta	0.60	0.60	0.50	0.70	0.70	0.60	0.70	0.70	0.50	0.50	0.70
Hf	5.90	6.40	5.80	6.20	5.70	6.10	6.20	5.70	5.30	4.90	4.50
Be	4.00	3.00	4.00	4.00	3.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	5.00
Cs	4.40	3.20	4.60	4.40	5.30	3.20	4.40	4.60	5.50	3.70	8.80
La	38.70	49.60	41.30	44.90	40.70	58.40	41.00	35.70	37.70	33.10	32.90
Ce	81.10	102.10	86.60	88.80	83.60	119.40	87.90	76.60	78.40	64.10	63.90
Pr	9.95	11.90	10.41	10.62	9.920	13.68	10.29	8.97	9.11	7.40	7.24
Nd	39.50	45.70	43.20	42.20	38.50	49.60	39.30	36.50	37.10	27.10	26.90
Sm	8.27	8.63	8.55	8.19	7.27	9.17	6.92	6.50	6.27	5.02	5.06
Eu	1.86	2.15	1.90	1.82	1.75	2.14	1.66	1.58	1.54	1.23	1.17
Gd	6.12	6.38	6.28	5.92	5.47	6.64	5.22	4.78	4.72	3.40	3.28
Tb	0.79	0.84	0.80	0.76	0.77	0.86	0.77	0.67	0.66	0.41	0.39
Dy	3.97	4.17	3.96	3.80	3.94	4.23	3.75	3.17	2.87	1.81	1.75
Ho	0.67	0.71	0.68	0.65	0.69	0.72	0.66	0.54	0.53	0.29	0.26
Er	1.65	1.91	1.82	1.66	1.88	1.89	1.75	1.60	1.42	0.80	0.73
Tm	0.24	0.28	0.26	0.25	0.28	0.27	0.25	0.21	0.21	0.12	0.10
Yb	1.49	1.70	1.69	1.61	1.66	1.61	1.59	1.36	1.33	0.73	0.68
Lu	0.21	0.24	0.22	0.21	0.24	0.23	0.22	0.19	0.19	0.11	0.09
REE Total	193.3	236.3	207.7	211.4	196.7	268.8	201.3	178.4	182.1	145.6	144.5
K ₂ O + Na ₂ O	7.56	7.09	7.36	7.40	7.23	7.52	7.45	7.69	7.66	8.98	9.05
K ₂ O/Na ₂ O	1.38	1.22	1.36	1.35	1.26	1.53	1.33	1.24	1.37	1.26	1.25
A/CNK ^a	0.85	0.83	0.85	0.86	0.83	0.85	0.83	0.84	0.87	0.96	0.98
La _N /Yb _N ^b	107.50	19.45	16.29	18.59	16.35	24.18	17.19	17.50	18.90	30.23	32.25
Ce _N /Yb _N ^b	13.84	15.28	13.03	14.03	12.81	18.86	14.06	14.33	14.99	22.33	23.90
Eu/Eu ^b	0.80	0.89	0.80	0.80	0.85	0.84	0.85	0.87	0.87	0.92	0.88

^a A/CNK = Al₂O₃/CaO + K₂O + Na₂O.^b The La_N/Yb_N, Ce_N/Yb_N and Eu/Eu ratios were normalized to the chondrite (Nakamura, 1974).

limited to the MD. According to Oliveira et al. (2015), the 630–618 Ma granites are pre- to syn- tectonic to the collisional event that affected the MD, while the 590–570 Ma granites are syn- to post-collisional.

Conceição et al. (2016) integrated the available geological, petrographic, geochemical and geochronological data on the Macururé Domain granites (e.g. Fujimori, 1989; Gaston and Santos, 1989; Long et al., 2005; Bueno et al., 2009; Conceição, 2014; Lisboa, 2014; Oliveira, 2014; Silva, 2014; Oliveira et al., 2015) and confirmed the predominance of an arc signature described by several authors. Besides, they identified the presence of zonality in the spatial distribution of the granites (Fig. 2). The MD granites were organized by Conceição et al. (2016) into four groups: (1) high-K calc-alkaline granodiorite; (2)

shoshonitic monzonite; (3) leucocratic syenogranite; and (4) calc-alkaline granite with rapakivi texture (Fig. 2).

The shoshonitic stocks described by Conceição et al. (2016) occur in a narrow belt approximately 10 km wide, oriented NE/SW in the central west part of the MD. The most expressive stocks are Glória Norte (GNS), which is the object of this article, besides the Altos Verdes and Lagoas massifs (Fig. 2).

3. Field and petrographic aspects

The Glória Norte Stock shows a 45 km² area. It is intrusive in metasedimentary rocks of the Macururé Domain (Figs. 2 and 3) which

Table 2

Representative chemical analyses of the Glória Norte Stock enclaves, mafic microgranular enclaves [MME] and minettes present in the GNS.

Sample	12B3	3B	12B2	12B1	77G	3C
Facies	MME			Minette		
SiO ₂	44.49	45.14	45.22	47.84	55.23	56.94
Al ₂ O ₃	9.40	13.25	12.35	13.68	12.60	12.89
CaO	8.40	7.51	7.00	6.47	5.22	4.54
Na ₂ O	0.63	2.10	1.32	2.36	1.28	1.70
K ₂ O	4.40	4.50	5.34	4.49	7.66	6.96
TiO ₂	1.36	1.51	1.38	1.47	0.80	0.76
Fe ₂ O ₃	13.48	14.12	14.53	13.17	7.73	7.01
MnO	0.25	0.23	0.24	0.21	0.15	0.13
MgO	14.69	8.56	9.91	7.96	7.04	6.63
P ₂ O ₅	0.47	1.10	0.98	0.60	0.65	0.59
LOI	1.70	1.50	1.20	1.20	1.10	1.30
Total	97.57	98.02	98.27	98.25	98.36	98.15
V	269.00	274.00	247.00	249.00	139.00	129.99
Co	60.10	42.30	45.80	40.30	27.40	29.50
Zn	110.00	122.00	141.00	127.00	87.00	78.00
Ni	148.60	37.70	48.30	48.30	105.40	116.90
Cr	2001	510.00	950.00	640.00	870.00	800.00
Cu	37.80	102.70	71.20	180.30	125.90	108.20
Ba	571.00	724.00	856.00	705.00	1523.00	1381.00
Rb	295.9	251.20	320.60	262.90	332.80	326.60
Sr	67.60	244.50	176.50	273.30	377.50	399.90
Y	22.30	34.60	19.00	30.00	16.20	13.00
Zr	75.10	424.80	321.20	307.80	237.50	221.80
Nb	6.30	20.10	8.80	15.30	6.00	6.00
Th	3.20	15.10	26.50	23.40	20.90	16.20
U	1.80	4.90	2.50	3.80	2.90	2.90
Ga	22.80	30.70	29.70	28.10	19.00	20.50
Sc	36.00	42.00	37.00	37.00	21.00	18.00
Sn	4.00	7.00	5.00	6.00	1.00	2.00
Ta	0.20	1.10	0.30	0.80	0.10	< 0.10
Hf	2.90	12.60	9.90	9.40	7.00	6.70
Be	4.00	5.00	4.00	6.00	–	2.00
Cs	13.40	9.80	12.90	11.00	10.20	7.90
La	18.90	35.60	51.80	53.50	49.10	43.50
Ce	53.30	95.80	102.70	115.60	95.10	89.20
Pr	7.62	13.60	11.60	13.74	10.21	9.86
Nd	36.00	60.80	44.40	56.80	40.30	37.20
Sm	7.32	12.41	7.42	10.66	7.31	6.26
Eu	1.55	2.54	1.40	2.06	0.90	0.99
Gd	6.19	9.84	5.79	8.25	5.66	4.54
Tb	0.92	1.41	0.77	1.21	0.71	0.62
Dy	4.63	6.69	3.35	5.97	3.24	2.78
Ho	0.80	1.18	0.63	1.04	0.68	0.44
Er	2.17	3.12	1.75	2.89	1.79	1.18
Tm	0.31	0.44	0.24	0.42	0.21	0.17
Yb	1.66	3.03	1.58	2.68	1.39	1.14
Lu	0.26	0.42	0.25	0.39	0.20	0.16
REE Total	141.6	246.9	233.7	275.2	216.8	198
K ₂ O + Na ₂ O	5.03	6.60	6.66	6.85	8.94	8.66
K ₂ O/Na ₂ O	6.98	2.14	4.05	1.90	5.98	4.09
A/CKN ^a	0.44	0.60	0.59	0.66	0.63	0.69
La _N /Yb _N ^b	7.59	7.83	21.86	13.31	23.55	25.44
Ce _N /Yb _N ^b	16.53	8.04	16.53	10.97	19.90	17.40
Eu/Eu ^b	0.71	0.71	0.66	0.68	0.43	0.57

^a The A/CKN ratio was obtained through the division of the Al₂O₃/CaO + K₂O + Na₂O.

^b The La_N/Yb_N, Ce_N/Yb_N and Eu/Eu ratios were normalized to chondrite (Nakamura, 1974).

have been affected by the D2 deformation event (Davison and Santos, 1989). The contacts with the metasedimentary rocks are discordant and, most often sharp. The host rocks show a NW-SE foliation which is not present in the GNS rocks, indicating magma emplacement after the end of regional deformation.

The GNS intrudes slates, phyllites, metarhytmities and calc-silicate layers. The pelitic rocks show paragenesis that includes garnet, muscovite, oligoclase and biotite, and in the calc-silicate rocks the metamorphic paragenesis includes tremolite, clinozoisite, titanite, oligoclase

and almandine, indicating that contact metamorphism reached medium metamorphic grade and developed hornfels rocks (Lobo, 2016).

The stock is composed of quartz-monzonites and monzogranites (Fig. 4), showing discrete variation in hornblende and biotite modal volume. The coarse-grained porphyritic quartz-monzonites predominate over ≈95% of the area (Fig. 5A), and the monzogranites with fine-grained texture (FM) (Fig. 5B), occur in the northeastern part of the body (Fig. 3).

The quartz-monzonites are usually isotropic, with local magmatic flow foliation defined by oriented mafic enclaves and feldspar phenocrysts. Mafic microgranular enclaves (MME) and minettes (Fig. 5C and D) are present in the porphyritic quartz-monzonites (PM).

In the eastern portion of the massif, apophysis of quartz-monzonite are present in the metasedimentary rocks. In this same region, it is observed that the hornfels next to the contacts exhibit structures indicative of magma mobility that resemble those of migmatites. The regional foliations disappeared in the hornfels rocks, which indicates that the GNS emplacement is posterior to the regional deformation. It is also observed quartz veins and centimeter to metric dykes of a garnet- and muscovite-bearing granite. These veins and dykes usually cross-cut the regional foliation.

In thin section the porphyritic quartz-monzonites present hypidiomorphic texture (Fig. 6), showing oligoclase and andesine (3–9 mm) and perthitic microcline (3.5–6.5 mm) phenocrysts immersed in an al-tiotriomorphic matrix comprising quartz, biotite, sodic plagioclase (oligoclase or andesine), perthitic orthoclase and hornblende. The accessory minerals are: diopside, titanite, apatite, epidote, opaque minerals and zircon. All textures are igneous, without any evidence of recrystallization or intense solid state deformation. The mineralogy and texture of the phaneritic monzogranite are similar to the matrix of the porphyritic rocks (Fig. 7).

Perthitic microcline is subhedral to anhedral and shows randomly distributed flame-shaped exsolution lamellae. Plagioclase (andesine and oligoclase) is subhedral with weak normal or sometimes oscillatory zoning with composition ranging from An₂₆ to An₃₅. Plagioclase megacrysts reach up to 9.0 mm, whilst the matrix crystals do not exceed 1.0 mm. The great variation in the size of the plagioclase may reflect a long crystallization interval.

Quartz occurs as rare phenocrysts with diameter up to 1.5 mm; in the matrix, the crystals are always smaller than 0.3 mm. It presents weak undulatory extinction.

Biotite occurs as randomly oriented euhedral and subhedral grains often associated to amphibole crystals. In some cases the formation of biotite crystals is clearly due to reactions involving hornblende crystals. Titanite grains often occur on biotite rims and cleavages. Green hornblende occurs as euhedral and subhedral grains associated to diopside and biotite. The presence of vermicular quartz inclusions associated to diopside residues in some hornblende grains suggests that hornblende is a replacement product after diopside.

Diopside is an accessory (≈0.5%) mineral mostly related to hornblende. In some samples, these two mineral phases occur either as light green irregular aggregates or as diopside clusters rimmed by hornblende. There are biotite and anhedral opaque minerals in the diopside cleavage planes.

Epidote and allanite are accessory phases in the quartz-monzonites. Epidote often has vermicular quartz inclusions. Titanite, apatite, zircon and opaque minerals are widespread accessory minerals in these rocks. Titanite occurs as euhedral inclusions in plagioclase and as anhedral rims on opaque minerals. Acicular apatite and prismatic zircon are euhedral. Opaque minerals are associated to biotite, titanite, hornblende and diopside as anhedral crystals up to 0.5 mm long.

The GNS stands out from other MD intrusions due to the great abundance and diversity of enclaves (Lisboa, 2014). The enclaves are easily distinguished from host quartz-monzonites by their black or dark green colour. Three sets of enclaves (mafic microgranular, lamprophyric and cumulate) have been identified. In several outcrops, the

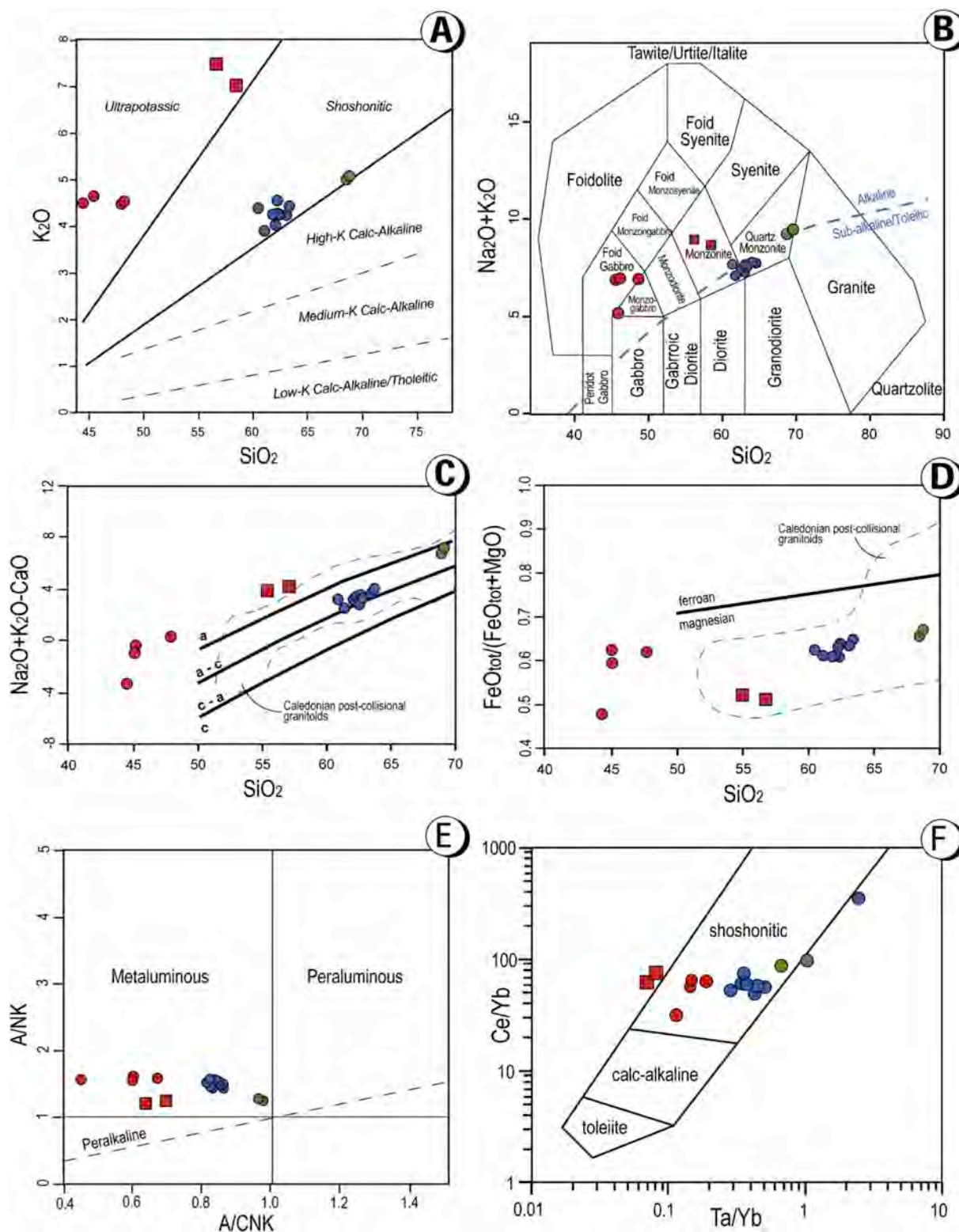


Fig. 8. The GNS rocks on geochemical diagrams. K_2O versus SiO_2 diagram of [Peccherillo and Taylor \(1976\)](#); continuous lines are from [Corriveau and Gorton \(1993\)](#). [A]; TAS diagram applied to the samples, with fields defined by [Middelmost \(1985\)](#). [B]; $(Na_2O + K_2O - CaO)$ versus SiO_2 diagram of [Frost et al. \(2001\)](#). [C]; $FeO_{tot}/(FeO_{tot} + MgO)$ versus SiO_2 diagram with fields defined by [Frost et al. \(2001\)](#). [D]; Shand Index ([Shand, 1927](#)) in the diagram by [Maniar and Picolli \(1989\)](#) was used to characterize the GNS samples, in relation to the alumina saturation degree. [E]; Ta/Yb versus Ce/Yb (fields defined after [Pearce \(1982\)](#)) [F]. Symbols: blue circles – porphyritic biotite quartz-monzonite facies; green circles – hornblende biotite monzogranite facies; red circle - mafic microgranular enclaves; red square - minette. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

enclaves show a common alignment resulting from magmatic flow.

The contact between the mafic microgranular enclaves and the host monzonites are either gradational or sharp. In the last case the MME

grain size decreases towards the enclave rim. The color gradation from darker to lighter types in MME reflects the mafic minerals contents. This variation could represent different degrees of mixing between magmas.

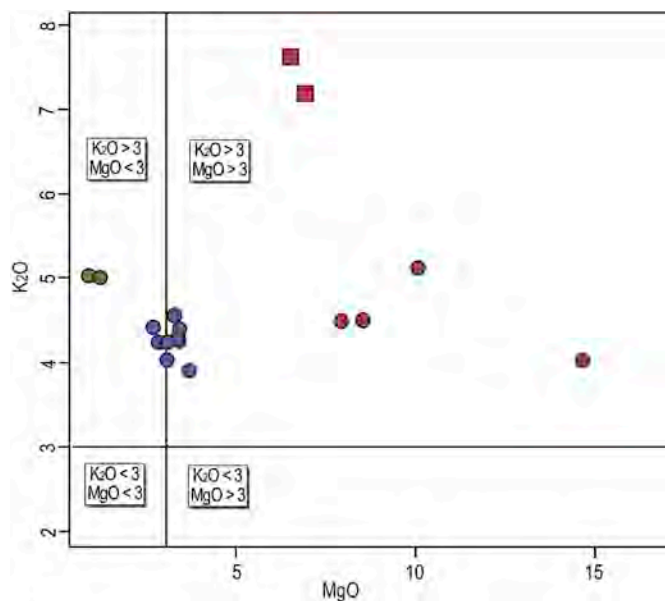


Fig. 9. K_2O versus MgO diagram for the GNS rocks. Same symbols as in Fig. 8.

The common centimetric feldspar xenocrysts in the MME are interpreted as indicative of coexistence of two magmas and as xenocrysts originated from the host monzonite. Some of the enclaves contain darker rims (0.2 cm–2 .0 cm wide) of biotite and hornblende. Fast cooling is indicated by the presence of acicular apatite crystals, as well as amphibole crystals with elongate habit and feldspar grains laden with inclusions of mafic minerals. Clusters of mafic minerals as diopside, hornblende and opaque minerals are common in these rocks.

The minette enclaves occur in the western portion of the GNS (Fig. 5D). They show rounded to subangular shape and length ranging from 15.0 to 50.0 cm. The contacts between these enclaves and the porphyritic quartz-monzonite are curvilinear, often ameboid and sharp. They show biotite phenocrysts up to 6 cm long in a matrix of diopside, hornblende, biotite, andesine ($An_{34} - An_{45}$). Accessory minerals are titanite, epidote, apatite, opaque minerals and zircon. Compositional zoning of feldspar and diopside crystals, mafic mineral agglomerates and apatite acicular crystals are common features in these rocks.

The ultramafic enclaves are green (detail in Fig. 5D), showing massive structure and fine – to medium grained cumulatic texture. There are two different groups of cumulates: (i) phlogopite – diopside cumulates and (ii) phlogopite – tremolite cumulates. In the first, diopside is the main *cumulus* phase, but it also contains phlogopite, hornblende, opaque minerals and subordinate apatite. In the latter tremolite is interpreted as the product of diopside replacement. These enclaves can be found as inclusions in the quartz-monzonite rocks as well as in the minette enclaves. In the quartz-monzonite the ultramafic enclaves present a well-developed hornblende rim, revealing chemical disequilibrium between the monzonitic magma and the cumulates. This structure is not observed when these enclaves occur in the lamprophyres, what suggests chemical equilibrium. This type of enclave has been interpreted (e.g. Rock, 1991) as cumulates formed from the evolution of minette magmas.

4. Geochemistry

4.1. Major and trace elements

Representative samples of the GNS were analysed for major elements by ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) and trace elements by ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) at ACME Laboratories in Canada. The

results of these analyses are presented in Tables 1 and 2.

The porphyritic facies of the GNS shows a narrow range of SiO_2 (60–63%), whereas the samples of the phaneritic facies are more evolved ($\approx 68\%$ SiO_2). These rocks are shoshonitic with high K_2O (3.90–5.03%) (Fig. 8A). In the TAS diagram they plot on the boundary between alkaline and subalkaline suites (Fig. 8B). Total alkali content ($K_2O + Na_2O$) ranges from 7.0 to 7.7% and the K_2O/Na_2O ratio is always greater than 1.22%. Their composition ranges from monzonite to quartz monzonite (Fig. 8B). They are rich in Ba (631–1648 ppm) and Sr (609–772 ppm) with low TiO_2 content (0.63–0.84%).

The SiO_2 versus ($Na_2O + K_2O - CaO$) diagram of Frost et al. (2001) (Fig. 8C) shows that the samples of GNS are alkali-calcic and chemically similar to Caledonian post-collisional granites. In the $FeO_{tot}/(FeO_{tot} + MgO)$ versus SiO_2 diagram of Frost et al. (2001), the samples fall in the field of rocks of the magnesian series (Fig. 8D), indicating to have been formed from hydrated and oxidized magmas (Frost and Lindsley, 1991).

The mafic enclaves are less evolved, with silica values ranging between 44 and 56%. Similarly to the GNS's samples, they show high K_2O content (4.5–7.6%). However, they are enriched in MgO , Fe_2O_3 , TiO_2 and P_2O_5 as compared to the monzonites. The alkalis ($K_2O + Na_2O$) range from 5.0 to 8.9% and the K_2O/Na_2O ratio ranges between 1.9 and 6.9%.

The set of samples studied is essentially metaluminous (Fig. 8E), what is in accordance with the presence of modal biotite and hornblende. Thirteen out of 17 samples fit at least two of the chemical criteria ($K_2O > 3.0\%$, $MgO > 3.0\%$ and $K_2O/Na_2O > 2.0\%$) established by Foley et al. (1987) to be considered *sensu stricto* ultrapotassic rocks (Fig. 9). All of the samples (granitoids and enclaves) present K_2O greater than 3%. The most evolved rocks show affinity with shoshonite series rocks (Fig. 8A and D), while the mafic enclaves show affinity with ultrapotassic series rocks (Fig. 8A).

The Harker diagrams for the GNS rocks are presented in Fig. 10. Negative correlation between silica and most of the analyzed oxides was observed, except for Na_2O . The evolution from quartz-monzonite to monzogranite is interpreted as due to a fractional crystallization process. Trace elements define trends similar to the ones of major elements, with inverse relations with silica (except for Sr).

Normalized REE patterns (Nakamura, 1974) (Fig. 11A, C and 11E) for the enclaves and monzonites are regularly similar and characterized by Ce/Yb ratios between 13.8 and 23.9 (8.04 in a MME sample) and La/Yb ratios varying from 7.5 to 19.2 (107 in a monzonite). Negative Eu anomalies are small (0.89–0.92) in the GNS samples and larger in the enclaves (0.43–0.77). LREE enrichment as well as weak Eu anomalies are characteristic features of potassic suites. Multielementary diagrams (primordial mantle, Wood et al., 1979) (Fig. 11B, D and 11F) show LILE (Ba, Rb, Th and K) enrichment as well as significant negative anomalies of Ta, Nb, Ti, P and Sr. The depletion of these elements (Ta, Nb and Ti) has been interpreted as typical of orogenic granites signature (e.g. Ringwood, 1990). In the potassic rocks the depletion in Nb and Ti is attributed to inheritance from the source and to the fractionation of Fe and Ti oxides (Foley and Wheller, 1990). In the monzonites there is a significant depletion in P, associated to increase of Th and Zr contents, suggesting apatite and zircon fractionation.

In the Y + Nb versus Rb (Fig. 12) discriminant diagram of Pearce et al. (1984) and Pearce (1996) the studied rocks may be considered as post-collisional granites although the monzonites show a signature typical of granites generated in volcanic arc environments. The enclaves show a signature of volcanic arc granites and syn-collisional granites.

4.2. Geothermometry

Watson and Harrison (1983) empirically defined the behaviour of Zr saturation in magmas as a function of temperature. The calculated temperatures for the GNS samples range from 823 °C to 759 °C, with a mean of 805 °C. Since zircon is formed in the early stages of

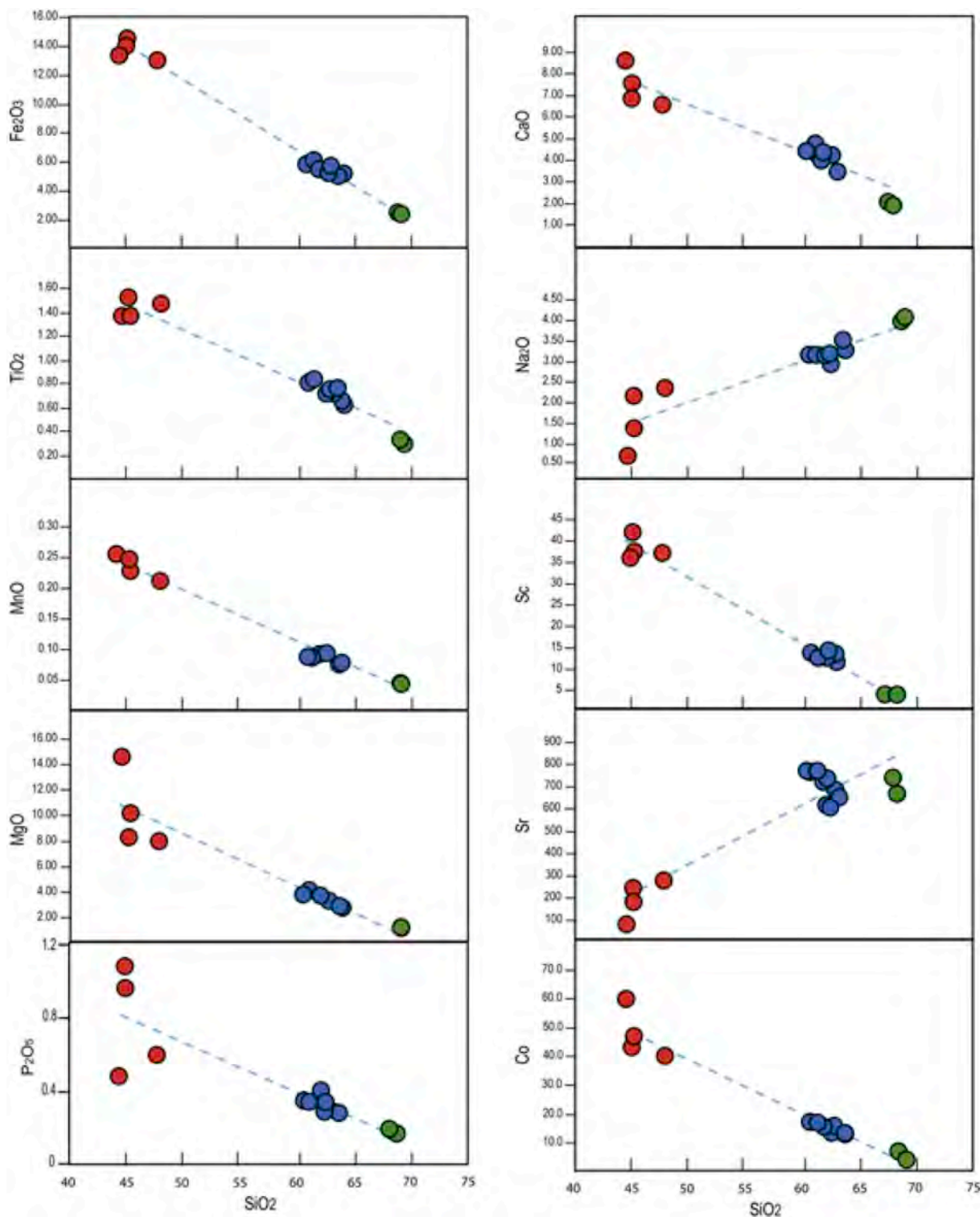


Fig. 10. Chemical variation diagrams (SiO_2 versus major and trace elements) Symbols: blue circle – porphyritic biotite quartz-monzonite facies; green circle – hornblende biotite monzogranitic facies; red circle – mafic microgranular enclaves. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

crystallization of the magma that originated the GNS, the temperature indicated by the geothermometer is interpreted as the temperature at which the magma started to crystallize. The temperatures calculated for the microgranular enclaves are quite regular and higher than the ones calculated for the monzonite host rock, ranging from 886 °C to 814 °C, with a mean of 835 °C.

In the enclaves, mostly in the MME, there are feldspar xenocrysts

originated from the porphyritic monzonites (Fig. 5C), indicating temperature differences between the two magmas. This feature indicates that by the time that the porphyritic monzonites had already been crystallized to an expressive mass of crystals, the mafic magma was still liquid and warm enough to incorporate the feldspar crystals from the felsic magma.

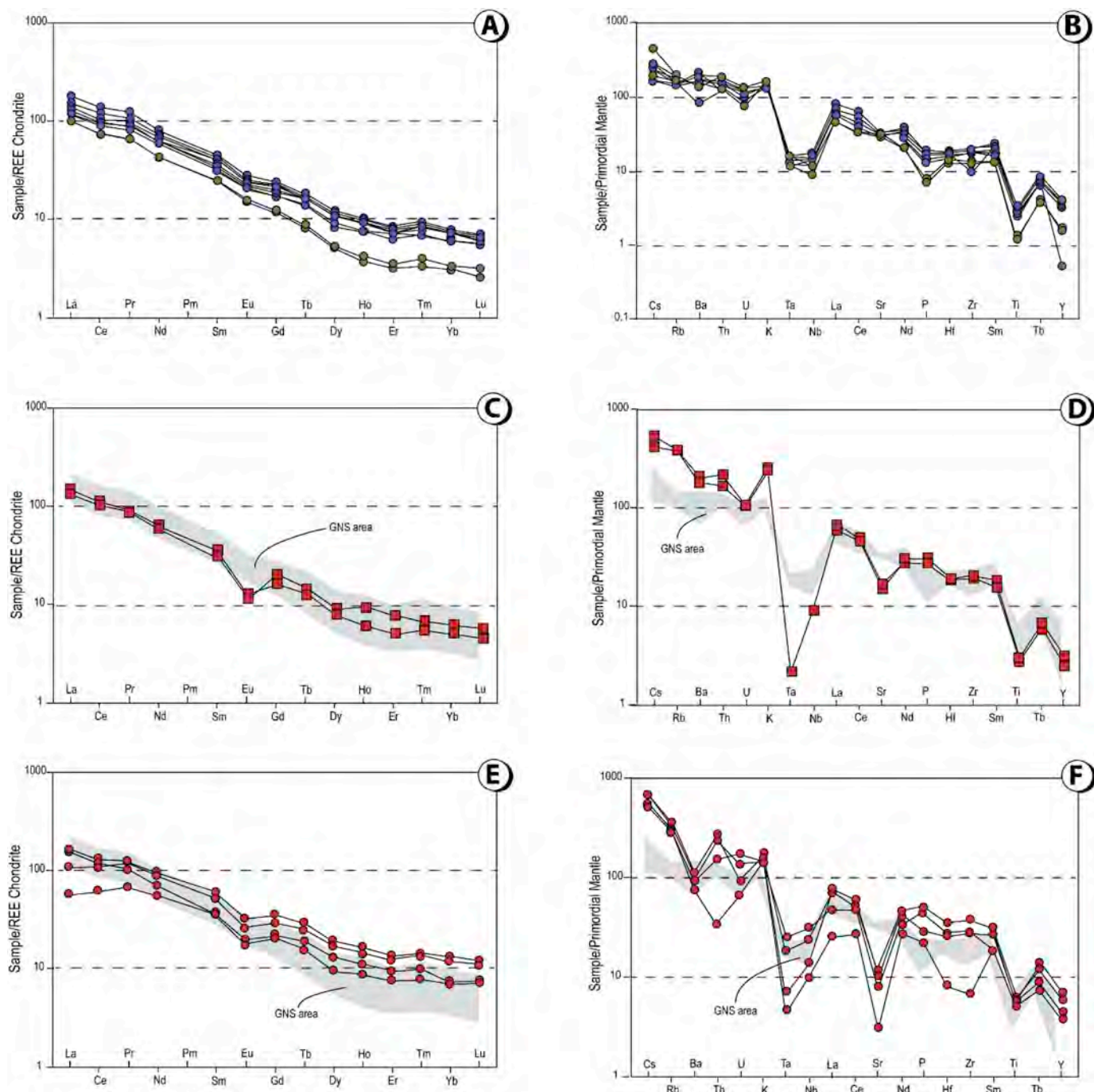


Fig. 11. REE spectra for the GNS samples [A] and enclaves [C and E], normalized to the Chondrite (Nakamura, 1974); Multi-element variation diagram for the GNS samples [B] and enclaves [D and F], normalized to Primordial mantle (Wood et al., 1979). Symbols: blue circles – porphyritic biotite quartz-monzonite facies; green circles – hornblende biotite monzogranite facies; red circle – mafic microgranular enclaves; red square – minette. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

5. U–Pb SHRIMP age

U–Pb isotopic ratios were obtained at the High Resolution Geochronology Laboratory of the Institute of Geosciences, of the University of São Paulo (GeoLab-IGC-USP). The equipment used was the SHRIMP Ile/MC (Sensitive High Resolution Ion Microprobe). The analytical parameters are detailed in Sato et al. (2014). The procedures followed the same ones recommended by Compston et al. (1984) and Williams (1997).

The zircon pattern used for measuring the concentrations and the isotopic ratios was TEMORA 2 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 416.8 ± 0.2 Ma; Black

et al., 2004). The errors in the isotopic indexes and in the ages are in the scale of 1 σ . The final results of the analyses were calculated and diagrams were built with the help of the SQUID/Excel macro program (Ludwig, 2009).

To obtain the crystallization age of the GNS, a representative rock of this massif was selected (FDS 12A – UTM coordinates: 658636/8879748), which corresponds to the hornblende biotite quartz-monzonite porphyritic.

The analyzed zircon crystals are 100–230 μm long (Fig. 13) subhedral to euhedral, colourless to light brown grains with rare inclusions or fractures. The grains are elongated, with length/width ratios ranging

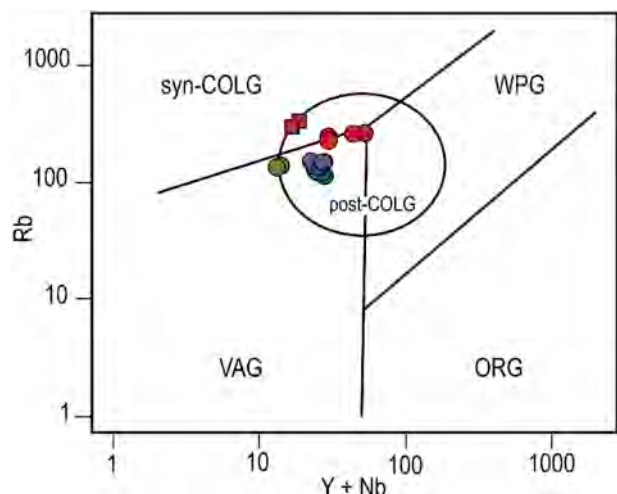


Fig. 12. Tectonic discrimination diagram. Rb versus Y + Nb diagram (Pearce, 1996). Same symbols as in Fig. 11. WPG – intra-plate granites; ORG – meso-oceanic ridge granites; syn-COLG – syn-collisional granites, VAG – volcanic arc granites; post-COLG – post-collisional granites. Symbols: blue circles – porphyritic biotite quartz-monzonite facies; green circles – hornblende biotite monzogranite facies; red circle – mafic microgranular enclaves; red square – minette. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

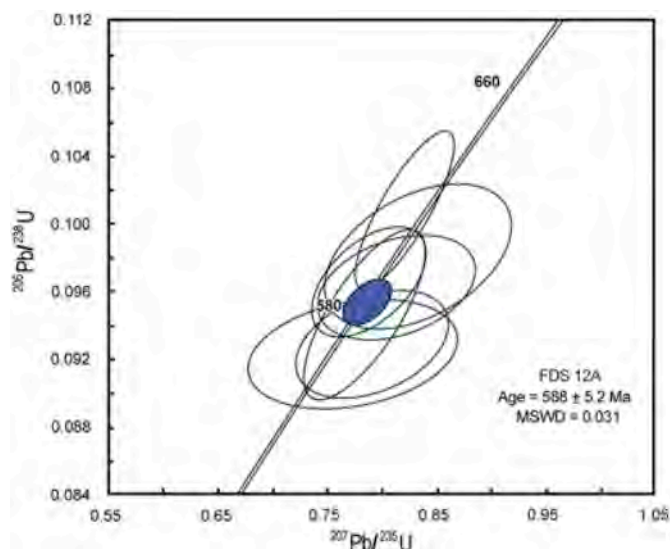


Fig. 14. U–Pb Concordia for the zircon crystals of the Sample FDS-12A.

these xenocrysts associated to the presence of younger crystals that preserve features suggestive of magmatic overgrowth (e.g. spot 10.1) discordant from the original zoning support the hypothesis that magma mixing occurred when most part of the felsic magma was already partly crystallized.

6. Discussion

6.1. Quartz-monzonite and monzogranite

Geochemical data show that the monzonites were formed by the crystallization of a shoshonite magma. They show the features pointed out by several authors (e.g. Morrison, 1980; Nardi, 1986; Lima and Nardi, 1998) for the rocks of the Shoshonitic Series, such as high content of K_2O , alkali sum exceeding 5%, K_2O/Na_2O ratio always higher than 1.22, high Sr and Ba content, moderate values of Nb, Zr and other HFS elements, besides LREE enrichment and absence of significant negative Eu anomalies.

Shoshonitic magmas have been interpreted as of mantle derived (e.g. Meen, 1987; Conceição and Green, 2004). Experimental data (e.g. Conceição and Green, 2004) indicate that the generation of shoshonitic magmas may be related to decompression melting of previously enriched mantle. In orogenic regions, like the SOS, the crystallization of these magmas occurs next to the Mohorovic discontinuity (between 30 and 45 km depth, and ± 10 kbar pressure), what agrees with crystallization of olivine, augite and plagioclase, promoting enrichment in potassium (Meen, 1987).

The Ta/Yb versus Th/Yb ratios (Fig. 15) indicate the presence of an enriched mantle as a likely source of this magmatism, and these values are comparable to the ones found in magmas generated in active continental margins. The high Ta and Th contents are alike those observed in magmas generated in intraplate settings, confirming the post-collisional nature of the stock.

Thus, it is proposed that the parental magma of the GNS was produced from mantle metasomatism caused by dehydration of a subducted oceanic plate, generating a shoshonitic magma, which was emplaced in the post-collisional stage. The high K, LREE Rb and Ba contents, as well as the negative anomalies of Nb and Ti, are coherent with a metasomatized mantle signature.

6.2. Mafic microgranular enclaves

The compositions of MME of the Glória Norte Stock are similar to

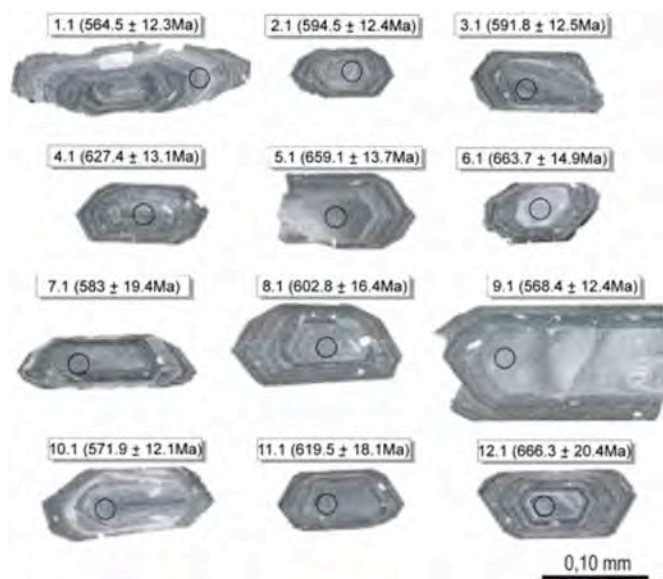


Fig. 13. Cathodoluminescence images of the analyzed zircon crystals (FDS-12A sample). The circles show the position of the SHRIMP analytical spots.

from 2:1 to 3:1, and present bipyramidal endings, typical of magmatic growth. All the analyzed crystals show oscillatory zoning.

A total of 12 crystals had their isotopic ratios measured. Of these, seven presented a better agreement, being, therefore, considered as representative of this rock. The crystals provided a U–Pb age of 588 ± 5 Ma with $MSWD = 0.031$ (Fig. 14). The Th/U ratio in the crystals range from 0.26 to 0.69 (Table 3) which corresponds to values typical of igneous zircons (e.g. Kirkland et al., 2015). The euhedral shape and high Th/U ratios indicate that the age corresponds to the crystallization age of the Glória Norte Stock.

The crystallization age obtained for the GNS constrains the magmatism that gave origin to this pluton in the Ediacaran. Crystals of more recent ages (spots 1.1 and 9.1) may indicate loss of Pb in damaged areas. Zircon crystals of older ages (spots 12.1 and 6.1) are interpreted as xenocrysts captured during the rise of the magma. The presence of

Table 3
U–Pb SHRIMP data obtained for zircon crystals from the Glória Norte Stock.

Spot	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Isotope Ratios						Age (Ma) 1 σ	Discordance (%)
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm \%$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm \%$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm \%$		
1.1 ^a	559	249	0.46	0.586	12.1	0.74	12.5	0.0915	2.3	564.5 \pm 12.3	–2
2.1	578	311	0.56	0.591	3.8	0.79	4.4	0.0966	2.2	594.5 \pm 12.4	–4
3.1	746	330	0.46	0.612	5.5	0.81	6.0	0.0961	2.2	591.8 \pm 12.5	9
4.1 ^a	627	416	0.69	0.599	1.6	0.84	2.7	0.1022	2.2	627.4 \pm 13.1	–4
5.1 ^a	607	151	0.26	0.599	1.3	0.89	2.6	0.1077	2.2	659.1 \pm 13.7	–9
6.1 ^a	343	159	0.48	0.645	14.3	0.96	14.8	0.1084	2.4	663.7 \pm 14.9	14
7.1	602	272	0.47	0.599	3.2	0.78	4.7	0.0947	3.5	583 \pm 19.4	3
8.1	426	166	0.40	0.616	6.3	0.83	6.9	0.0980	2.8	602.8 \pm 16.4	9
9.1	348	113	0.34	0.607	7.8	0.77	8.2	0.0922	2.3	568.4 \pm 12.4	11
10.1	663	224	0.35	0.617	5.4	0.79	5.9	0.0928	2.2	571.9 \pm 12.1	16
11.1	601	230	0.39	0.589	2.1	0.82	3.7	0.1009	3.1	619.5 \pm 18.1	–9
12.1 ^a	553	327	0.61	0.624	1.5	0.94	3.6	0.1089	3.2	666.3 \pm 20.4	3

^a Spots not used in the construction of concordia.

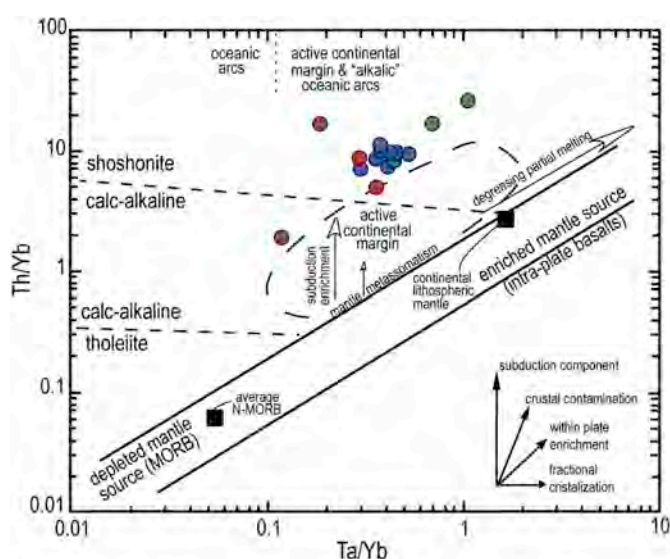


Fig. 15. Th/Yb versus Ta/Yb diagram (Pearce, 1983). The average compositions for the N-MORB and for the continental lithospheric mantle are from Sun and McDonough (1989). Symbols: GNS rocks (blue circle – biotite quartz-monzonite porphyritic facies; green circle – hornblende biotite monzogranitic facies); Mafic microgranular enclaves (red circle). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

those of cumulates of granitic liquid (e.g. SiO₂ between 44 and 47%). However, the absence of accumulation textures, together with the presence of structures like abundance of needle-like of apatite, the euhedral nature of mafic phases, which are usually included in the felsic minerals, besides the identification of quenched rims at the contact with the monzonitic host rock, both confirm the coexistence of mafic and latitic magmas.

The mafic microgranular enclaves are ultrapotassic and enriched in LILEs (e.g. Rb, K), LREE and Th, and depleted in incompatible elements such as Ta, Nb, Zr, Hf, Ti and Y (Fig. 11E and F). The high LREE/HREE ratios require the presence of a component rich in incompatible elements, which was probably remobilized in the oceanic crust and incorporated to the lithospheric mantle during subduction (Wilson, 1989). The low SiO₂ content and high MgO, CaO, Mg# (0.38–0.52) and Ni (37–250 ppm) contents are compatible with mantle-derived magmas. The low TiO₂ content reveals a source with collisional signature, as suggested by Foley et al. (1987) for the ultrapotassic rocks of group III.

Based on geochemical evidence (e.g. sum of alkalis always higher than 5%), it is possible to suppose that the basic liquids that coexisted

with the granitic (*latu sensu*) shoshonitic magmas had compositions similar to slightly alkaline basalts saturated in silica. However, the low content of HFSE (Zr, Ta, Nb and Y) is not compatible with alkaline magmas generated in intra-plate environments. The enrichment in Rb and Th coupled to HFSE depletion suggests lithospheric mantle probably enriched by incorporation of incompatible elements during subduction processes. Thus, the mafic enclaves the mafic magma could have resulted from the partial fusion of relatively fertile mantle, at deep levels, probably induced by the rise of the asthenosphere during a post-collisional stage.

In the Ta/Yb versus Th/Yb diagram of Pearce (1983 - Fig. 15), one can see that the studied samples have Ta/Yb ratios greater than 0.1 and Th/Yb ratios are higher than those of the mantle, revealing addition of components to the mantle, probably, during subduction (Pearce, 1983). Brown et al. (1984) attribute the increase of Th and Ta to liquids generated from heterogeneous mantle. This general trend observed for both the enclaves and the GNS samples point out for a same parental material, with different degrees of partial fusion.

6.3. Lamprophyric enclaves

The lamprophyric rocks present limited range of silica contents (55–56% of SiO₂), high magnesium (6.5–7.0% MgO), potassium (6.9–7.9 K₂O), barium (1381–1785 ppm) and niobium (85–116 ppm); and low contents of titanium (0.7–0.8% TiO₂). This geochemical signature is comparable to the one of lamprophyric rocks associated with Proterozoic subduction-related post-tectonic granites described by Corriveau and Gorton (1993).

The minettes are similar to ultrapotassic rocks of Group III, defined by Foley et al. (1987), namely: presence of plagioclase associated with clinopyroxene and phlogopite; relatively high contents of Al, LILE, REE and negative anomalies of Sr, Ti and Ta (Fig. 11). According to Mckenzie (1989) and Ringwood (1989) the generation of Group III ultrapotassic rocks is related to partial fusion of a lithospheric source enriched in incompatible elements. For the minette rocks, Rock (1984) and Foley et al. (1987) consider that continental sources play an important role in the evolution of these magmas. However, Thompson and Fowler (1986) propose that the genesis of the minettes is directly related to the crystallisation of ultrapotassic magmas.

The high trace elements contents of the GNS minettes suggest that the source of this magma was metasomatized mantle. Mantle metasomatism could have been caused by fluids from the subducted oceanic lithosphere. The absence of regional deformation in these rocks is compatible with a post-collisional tectonic setting (Fontes et al., 2018).

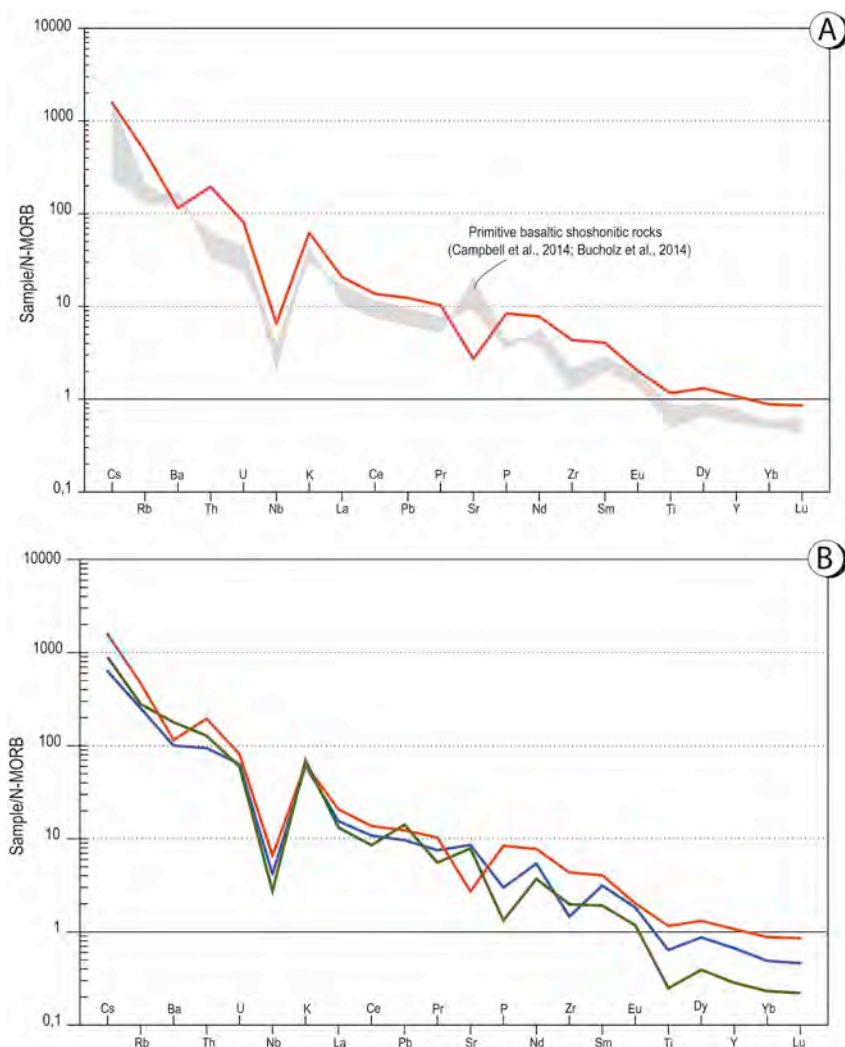


Fig. 16. N-MORB normalized trace element patterns for representative rocks of GNS. The normalizing values used are those of Sun and McDonough (1989). Red line – average of the mafic microgranular enclaves; blue line – more primitive quartz-monzonite (FDS-70A); green line – average of monzogranite rocks. (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

6.4. Petrogenetic model

Primitive shoshonitic basaltic magmas ($11\% < \text{MgO} < 20\%$; $1,5\% < \text{K}_2\text{O} < 3\%$; $160 \text{ ppm} < \text{Ni} < 900 \text{ ppm}$; $300 \text{ ppm} < \text{Cr} < 1500 \text{ ppm}$) show distinctive geochemical signatures (e.g. Leslie et al., 2009; Campbell et al., 2014; Bucholz et al., 2014) and are clearly LILE-enriched and HFSE-depleted (Fig. 16A). This suggests low partial rate of mantle melting, at depth corresponding to the one of garnet stability (Green, 1976; Mengel and Green, 1989; Thibault et al., 1992; Conceição and Green, 2004). The presence of Nb, P, Zr and Ti lows (Fig. 16A) indicate an enriched mantle source.

In the present paper the MME of GNS are interpreted as droplets of potassic orogenic basaltic magmas (Figs. 8 and 11) which have been confined in quartz-monzonite magma. The similarity between the N-MORB normalized spectra of MME and those of primitive shoshonitic basalts indicate that they correspond to shoshonitic magmas (Fig. 16A). However, the enclaves show higher contents of most trace elements, except for Ba and Sr. The presence of pronounced Ba and Sr troughs (Fig. 16A) in the MME and the ubiquitous Eu anomaly ($0,6 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 0,7$) suggest plagioclase fractionation (Eu, Sr). The moderate Cr contents (950–510 ppm) and low Ni (65–37 ppm) in the MME suggest early fractionation of olivine and pyroxene (Fig. 17A).

There is also likeness between the trace element spectra of MME and those of the more primitive quartz-monzonite (sample FDS-70A) and

monzonite (Fig. 16B). This supports a hypothesis of their being cogenetic. The fractional crystallization of a basaltic magma (MME) corresponding to the one which generated the MME may generate latites, which correspond to a quartz-monzonite composition and may be explained by the fractionation of apatite, titanite, zircon, feldspar, amphibole, clinopyroxene and opaque minerals (Fig. 17).

The geochemical evolution of GNS is clear as we compare the trace element spectrum of the more primitive quartz monzonite to that of the monzogranite. It is clear that in the latter the Nb, P and Ti troughs are more pronounced and Sr is lower. This reflects the low-P fractionation of plagioclase (Sr), apatite (P), ilmenite and titanite (Ti, Nb). The distinctive Pb peak and the higher Rb, Ba, Th and K in the monzogranites support the hypothesis of fractional crystallization, but might as well reflect some degree of crustal contamination (e.g. Sun and McDonough, 1989).

Geological evidence shows the coexistence of basaltic and latitic magma, at 588Ma, in the GNS. Geochemical data indicate that the MME correspond to primitive shoshonitic basaltic magmas generated by partial melting of enriched mantle. These in turn generated latite (quartz-monzonite) and quartz-rhyolitic (monzogranite) magma by fractional crystallization. The quartz-monzonites may have been formed by fractional crystallization of MME. The monzogranite seem to derive from the fractional crystallization of quartz-monzonitic magma.

6.5. Comparison with other granites of Borborema Province

Brito Neves et al. (2000), Van Schmus and Brito Neves (2011), Araújo et al. (2013) and Caxito et al. (2016) proposed that the collisional stage in the Borborema Province (BP), which was marked by the closure of both passive margins and oceanic basins, occurred between 620 and 590 Ma. For these authors, this event marks the climax of compression in the Brasiliano event throughout the BP. During this stage, the emplacement of several bodies with shoshonitic affinity in several domains of the BP would have occurred.

Nascimento and Galindo, 2015 describe, in the Rio Grande do Norte Domain of the BP, rocks with shoshonitic affinity with compositions ranging from gabbro, through diorite and quartz monzonite. They occur as isolated small plutons (Quixaba, São João do Sabugi, Casserengue and Poço Verde) or associated to massifs with porphyritic texture and high-K calc-alkaline affinity. The emplacement of these bodies occurred between 599 Ma (Poço Verde Pluton) and 579 Ma (São João do Sabugi Pluton).

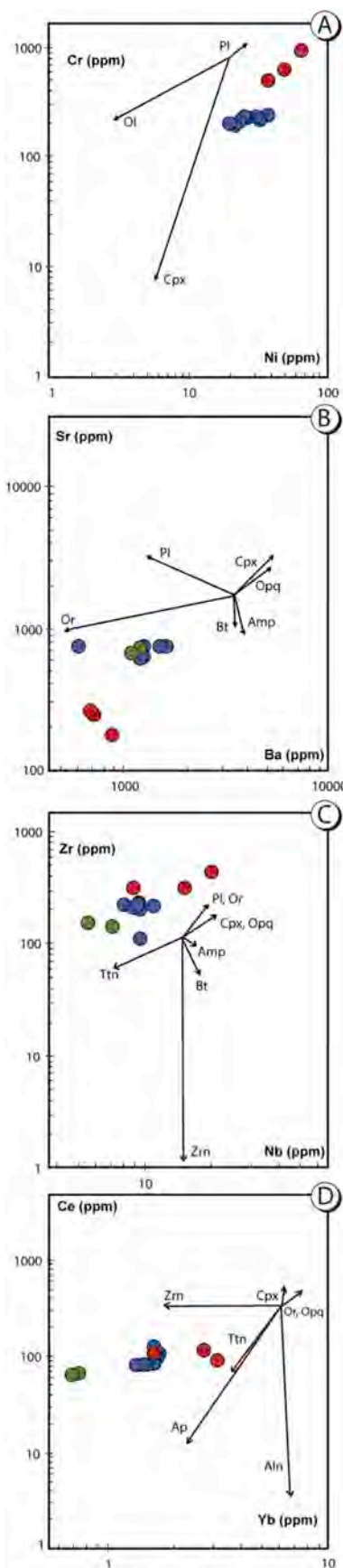
In the Pernambuco-Alagoas Domain, Silva Filho et al. (2013, 2016) described granites (s.l.) with high K content (e.g. Serra do Catú – 632 Ma; Água Branca – 624 Ma; Serra da Caiçara – 613 Ma; Mata Grande – 612 Ma). According to Guimarães et al. (2004), Oliveira et al. (2010, 2015) and Silva Filho et al. (2013, 2016), these massifs are pre- to syn-collisional. In the Sergipano Orogenic System (SOS) Bueno et al. (2009) obtained the age of 628 Ma for the Camará, tonalite. According to these authors the foliations and ages indicate the beginning of the deformation in the Macururé Domain.

At the end of the collisional phase, the BP passed a stage of lateral adjustment of blocks, between 590 and 530 Ma, which resulted in the formation of large shear systems or shear zones (Caxito et al., 2016). This phase coincides with the emplacement age of several late to post-collisional plutons intruded during a transcurrent event (e.g. Águas Belas – Silva Filho et al., 2016). Guimarães et al. (2004) described the emplacement of high-K calc-alkaline suites associated with shoshonitic granitoids between 590 and 581 Ma. Silva Filho et al. (2013) obtained several ages close to 590 Ma for the shoshonitic and high-K calc-alkaline bodies (for example, Águas Belas – 588 Ma; Cachoeirinha – 587 Ma; Viçosa – 580 Ma) in the Pernambuco-Alagoas Domain of the BP. The emplacement of these plutons, according to these authors, occurred during a shear event, controlled by active shear zones during the last stage of the Brasiliano orogenesis. Ferreira et al. (2015) described a shoshonite granite at the northern portion of the Pernambuco-Alagoas Domain dated at 572 Ma.

Several authors (e.g. Santos et al., 1988; Brito et al., 2009; Gentil, 2013) described the occurrence of magmas with shoshonitic affinities in the SOS, mainly in the northern portion of the orogen (Marancó, Poço Redondo and Canindé domains). The age of this magmatism is around 615 Ma (Brito et al., 2009; Silva Filho et al., 2013). The age of crystallisation obtained (588 ± 5 Ma) in the present paper suggests that the GNS represents a second event of emplacement of magmas with shoshonitic affinity in the SOS, marking the end of collisional processes in the Macururé Domain.

Transitional regimes reflect slowing down of subduction, which leads to a later stabilization of the orogenic belt (Morrison, 1980). The identification of isotropic texture, preservation of the magmatic foliation and the absence of fractured and/or recrystallized crystals indicate the inexistence of important deformational processes on the Gloria Norte stock.

The identification of a post-collisional tectonic setting in the GNS indicates that the K-rich magmas of the Macururé Domain formed by breaking off the subducted oceanic plate slab by the rise of hot asthenosphere. This would cause the partial fusion of previously enriched lithospheric mantle (Davies and Blanckenburg, 1995; Pe-piper et al., 2009; Liu et al., 2014; Fontes et al., 2018). Similar models have been proposed to explain Caledonian post-collisional magmatism by Atherton and Ghani (2002), Brown et al. (2008) and Miles et al. (2016).



(caption on next page)

Fig. 17. Binary diagrams for GNS rocks showing vectors corresponding to fractionation of: olivine (Ol); clinopyroxene (Cpx); plagioclase (Pl); Orthoclase (Or); biotite (Bt); amphibole (Amp); titanite (Ttn); zircon (Zrn); apatite (Ap); allanite (Aln); opaque minerals (Opq). The lines have been drawn for Rayleigh melting and the Kds by Villemant et al. (1981); Wöner et al. (1983) and Lemarchand et al. (1987).

The relative Rb, Th, Ce and Sm enrichment and Ba, Nb and Hf depletion point out to subduction – related magmas generated in a post-collisional setting according to Pearce et al. (1984) (Figs. 11 and 12). Potassic and ultrapotassic magmas with arc signature, as the ones identified in the GNS, are usually formed after the subduction event, being coeval to uplift, extension or transcurrent motions (Sloman, 1989).

7. Conclusions

The Glória Norte Stock is intrusive in the Macururé Domain, central-northern portion of the Sergipano Orogenic System. It truncates the regional foliation of the MD metasedimentary rocks and the host phyllites are recrystallized to coarse-grained garnet muscovite hornfels. The 588 Ma U–Pb age dates this type of magmatism in the Ediacaran and also implies that deformation had ceased at the time this magma was emplaced in the Macururé Domain.

The GNS is composed of porphyritic quartz-monzonites, besides minor even-grained. The mafic microgranular enclaves are evenly distributed throughout the stock, their longest axis being oriented parallel to the magmatic foliation. The high LILE and LREE contents are typical of shoshonitic series rocks and express the geochemical signature of a metasomatized mantellic source. The mafic enclaves represent droplets of primitive shoshonitic magma, which also generated the porphyritic quartz-monzonites by fractional crystallization. The more evolved rocks (monzogranites) were generated by fractional crystallization of a latitic magma. These shoshonitic/ultrapotassic magmas have been generated from melting of metasomatized mantle and were emplaced in a post-collisional tectonic setting.

Acknowledgments

The authors would like to thank the financial support of the National Council for Scientific and Technological Development and the Foundation for Research and Technological Innovation of the State of Sergipe, file numbers: 140117/2015-6 (Grant VACL), 311008/2017-8 (CNPq-PQ), 310391/2017-2 (CNPq-PQ), 405387/2016-4 (CNPq-Universal 2016) and 019.203.02538/2009-7 (PRONEX/FAPITEC/CNPq). This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001. The authors also would like to acknowledge to Msc. Paulo César D'Ávila Fernandes for reviewing the text translation. We are grateful to Dr. Rita Cunha Leal Menezes and Dr. Cristina Maria Burgos Carvalho, researchers of the Superintendence of Salvador of CPRM (Brazilian Geological Survey), for the fruitful discussions and laboratory facilities in the preparation of samples and separation of minerals. We acknowledge the reviewers for the suggestions.

References

- Almeida, F.F.M., Hassui, Y., Brito Neves, B.B., Fuck, R.A., 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: VIII Simpósio de Geologia do Nordeste, Atas, pp. 363–391.
- Atherton, M.P., Ghani, A.A., 2002. Slab breakoff: a model for Caledonian, Late Granite syn-collisional magmatism in the orthotectonic (metamorphic) zone of Scotland and Donegal, Ireland. *Lithos* 62 (3–4), 65–85.
- Araújo, C.E.G., Weinberg, R.F., Cordani, U.G., 2013. Extruding the Borborema province (NE-Brazil): a two-stage neoproterozoic collision process. *Terra Nova* 26, 157–168.
- Black, L.P., Kamo, S.L., Allen, C.M., Davis, D.W., Aleinikoff, J.N., Valley, J.W., Mundi, R., Campbell, I.H., Korsch, R.J., Williams, I.S., Foudoulis, C., 2004. Improved ²⁰⁶Pb/²³⁸U microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chem. Geol.* 205, 115–140.
- Brito, M. de F.L.de, Silva Filho, A.F., Guimarães, I.P., 2009. Caracterização geoquímica e isotópica do batólito Serra do Catu e sua evolução da interface dos domínios Sergipano e Pernambuco-Alagoas. *Provincia Borborema: Rev. Bras. Geociências* 39, 324–337.
- Brito Neves, B.B., Sial, A.N., Beurlen, H., 1977. O sistema de dobramento Sergipano – análise do conhecimento. In: Simpósio Cráton São Francisco e Faixas Marginais, Anais, pp. 369–391.
- Brito Neves, B.B., Santos, E.J., Van Schmus, W.R., 2000. Tectonic history of the Borborema province. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic evolution of South- America*. Rio de Janeiro, pp. 151–182.
- 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.
- Brown, P.E., Ryan, P.D., Soper, N.J., Woodcock, N.H., 2008. The Newer Granite problem revisited: a transtentional origin for the Early Devonian trans-suture suite. *Geol. Mag.* 145, 235–256.
- Bucholz, C.E., Jagoutz, O., Schmidt, M.W., Sambuu, O., 2014. Fractional crystallization of high-K arc magmas: biotite-versus amphibole-dominated fractionation series in the Dariv Igneous complex, Western Mongolia. *Contrib. Mineral. Petrol.* 168 (5), 1072. <https://doi.org/10.1007/s00410-014-1072-9>.
- Bueno, J.F., Oliveira, E.P., McNaughton, N., Laux, J.H., 2009. U-Pb dating of granites in the Neoproterozoic Sergipano Belt, NE-Brazil: implications for the timing and duration of continental collision and extension tectonics in the Borborema Province. *Gondwana Res.* 15, 86–97.
- Campbell, I.H., Stepanov, A.S., Liang, H.Y., Allen, C.M., Norman, M.D., Zhang, Y.Q., Xie, Y.W., 2014. The origin of shoshonites: new insights from the Tertiary high-potassium intrusions of eastern Tibet. *Contrib. Mineral. Petrol.* 167 (3), 983. <https://doi.org/10.1007/s00410-014-0983-9>.
- Caxito, F.A., Uhlein, A., Dantas, E.L., Stevesson, R., Salgado, S.S., Dussin, I.A., Sial, A.N., 2016. A complete Wilson cycle recorded within the Riacho do pontal orogen, NE Brazil: implications for the neoproterozoic evolution of the Borborema province at the heart of west Gondwana. *Precambrian Res.* 282, 97–120.
- Compston, W., Williams, I.S., Meyer, C., 1984. U-Pb geochronology of zircon from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass resolution ion microprobe. *Journal of Geophysical Research* 89, 525–534.
- Conceição, R.V., Green, D.H., 2004. Derivation of potassic (shoshonitic) magmas by decompression melting of phlogopite + pargasite /herzolite. *Lithos* 72, 209–229.
- Conceição, J.A., 2014. Petrologia do Stock Granítico Glória Sul, Faixa Sergipana, setor sul da Província Borborema, Sergipe. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Sergipe 125 p.
- Conceição, J.A., Rosa, M.L.S., Conceição, H., 2016. Sienogranitos leucocráticos do Domínio Macururé, sistema Orogênicos Sergipano, nordeste do Brasil: stock Glória Sul. *Brazilian Journal of Geology* 46, 63–77.
- Corriveau, L., Gorton, M.P., 1993. Coexisting K-rich alkaline and shoshonitic magmatism arc affinities in the Proterozoic: a reassessment of syenitic stocks in the southwestern Grenville Province: Contribution to Mineralogy and Petrology 113, 262–279.
- Davies, J.H., Blanckenburg, F.V., 1995. Slab breakoff: a model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens. *Earth Planet. Sci. Lett.* 129, 85–102.
- Davison, I., Santos, R.A., 1989. Tectonic evolution of the Sergipano fold belt, NE Brazil, during the Brasiliano Orogeny. *Precambrian Res.* 45, 319–342.
- Del Rey Silva, L.J.H., 1992. Tectonic Evolution of the Southern Part of the Sergipano Fold Belt, Northeastern Brazil. [Tese de Doutorado]. University of London 288 p.
- Del Rey Silva, L.J.H., 1995. Tectonic evolution of the Sergipano belt, NE Brazil. *Rev. Bras. Geociências* 25, 315–332.
- 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, northeastern Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 11, 439–455.
- Ferreira, V.P., Sial, A.N., Pimentel, M.M., Armstrong, R., Guimaraes, I., Silva Filho, A.F., Lima, M.M.C., Silva, T.R., 2015. Reworked old crust-derived shoshonitic magma: the Guarany pluton. *Northeastern Brazil: Lithos* 232, 150–161.
- Foley, S.F., Venturelli, G., Green, D.H., Toscani, L., 1987. The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. *Earth Sci. Rev.* 24, 81–134.
- Foley, S.F., Wheller, G.E., 1990. Parallels in the origin of the geochemical signatures of island arc volcanic and continental potassic igneous rocks. *Chemistry Geology* 85, 1–18.
- Fontes, M.P., Conceição, H.C., Rosa, M.L.S., Lisboa, V.A.C., 2018. Minettes do Stock monzonítico Glória Norte: Evidência de magmatismo ultrapotássico pós-orogênico, com assinatura de subdução, no Sistema Orogênico Sergipano. *Geol. Usp. Série Científica* 1, 1–16.
- Frost, B.R., Lindsley, D.H., 1991. The occurrence of Fe-Ti oxides in igneous rocks. Oxide minerals: petrogenetic and magnetic significance: Mineralogical Society of America. *Ver. Mineral* 25, 433–486.
- Frost, B.R., Arculus, R.J., Barnes, C.G., Collins, W.J., Ellis, D.J., Frost, C.D., 2001. A geochemical classification of granitic rocks. *J. Petrol.* 42, 2033–2048.
- Fujimori, S., 1989. Contribuição ao estudo dos granitóides do Sistema de Dobramentos Sergipano. *Rev. Bras. Geociências* 25, 241–247.
- Gaston, G.O., Santos, R.A., 1989. Geoquímica de alguns Granitóides da Faixa de Dobramentos Sergipana. XXXV Congresso Brasileiro de Geologia. Anais 3, 1037–1052.
- Gava, A., Nascimento, D.A., Vidal, J.L.B., 1983. Geologia. In: Projeto RADAM BRASIL: Folha SC. 24/25, Aracaju-Recife. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro 852p.
- Gentil, T.F.C., 2013. Petrologia e Geoquímica do Batólito shoshonítico Serra do Brejo no Domínio Poço Redondo, Faixa Sergipana (Sul da Província Borborema). [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Sergipe 166 p.
- Green, D.H., 1976. Experimental testing of "equilibrium" partial melting of peridotite under water-saturated, high-pressure conditions. *Can. Mineral.* 14 (3), 255–268.

- Guimarães, I.P., 1989. The Petrological Evolution and Tectonic Associations of the Bom Jardim Complex, Pernambuco State, NE Brazil. [Ph.D Thesis]. Imperial College, University of London 423 p.
- Guimarães, I.P., Silva Filho, A.F., Almeida, C.N., Van Schmus, W.R., Araújo, J., Melo, S.C., Melo, E.B., 2004. Brasiliano granitic magmatism in the Pajeú-Paraíba belt, northeast Brazil: an isotopic and geochronological approach. *Precambrian Res.* 135, 23–53.
- Humphrey, F.L., Allard, G.O., 1962. Reconnaissance geology of pre-cretaceous rocks in the state of Sergipe. *Rel. 230 Div. Reg. de Exploração, RPNE/PETROBRÁS*.
- Kirkland, C.L., Smithies, R.H., Taylor, R.J.M., Evans, N., McDonald, B., 2015. Zircon Th/U ratios in magmatic environs. *Lithos* 212–215, 397–414.
- Lemarchand, F., Benoit, V., Calais, G., 1987. Trace element distribution coefficients in alkaline series. *Geochem. Cosmochim. Acta* 51 (1). [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(87\)90201-8](https://doi.org/10.1016/0016-7037(87)90201-8). 071-1,081.
- Leslie, R.A., Danyushevsky, L.V., Crawford, A.J., Verbeeten, A.C., 2009. Primitive shoshonites from Fiji: geochemistry and source components. *G-cubed* 10 (7). <https://doi.org/10.1029/2008GC002326>.
- Lima, E.F., Nardi, L.V.S., 1998. The Lavras do Sul Shoshonitic Association: implications for the origin and evolution of Neoproterozoic shoshonitic magmatism in southernmost Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 11, 67–77.
- Lisboa, V.A.C., 2014. Petrologia e Geocronologia do Maciço Glória Norte, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE do Brasil. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Sergipe 140 p.
- Liu, D., Zhao, Z., Zhu, D.C., Niu, Y., DePaolo, D.J., Harrison, T.M., Mo, X., Dong, G., Zhou, S., Sun, C., Zhang, Z., Liu, J., 2014. Postcollisional potassic and ultrapotassic rocks in Southern Tibet: mantle and crustal origins in response to India-Asia collision and convergence. *Geochem. Cosmochim. Acta* 143, 207–231.
- Lobo, A.F.B., 2016. Petrografia e Mineraloquímica das rochas cálcio-silicáticas do Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano [Trabalho de Conclusão de Curso]. Universidade Federal de Sergipe 89 p.
- Long, L.E., Castellana, C.H., Sial, A.N., 2005. Age, origin and cooling history of the Coronel João Sá pluton, Bahia, Brazil. *J. Petrol.* 46, 255–273.
- Ludwig, K., 2009. *SQUID 2: a User's Manual*, Rev. 12 Apr, 2009. Berkeley Geochronology Center Special Publication 5, 110 p.
- Maniar, P.D., Picolli, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society American* 101, 635–643.
- Mckenzie, D., 1989. Some remarks on the movement of small melt fractions in the mantle. *Earth Planetary Science Letter* 95, 53–72.
- Meen, J.K., 1987. Formation of Shoshonites from calcalkaline basalt magmas: geochemical and experimental constraints from the type locality. *Contribution Mineralogy Petrology* 97, 333–351.
- Mengel, K., Green, D.H., 1989. Stability of amphibole and phlogopite in metasomatized peridotite under water-saturated and water-undersaturated conditions. Fourth International Kimberlite Conference. *Perth. Geol. Soc. Aust. Spec. Publ.* 14, 571–581.
- Middelmost, E.A.K., 1985. Magmas and Magmatic Rocks: an Introduction to Igneous Petrology. Longman, London and New York, pp. 253–257.
- Miles, A.J., Woodcock, N.H., Hawkesworth, C.J., 2016. Tectonic controls on post-subduction granite genesis and emplacement: the late Caledonian suite of Britain and Ireland. *Gondwana Res.* 39, 250–260. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2016.02.006>.
- Morrison, G.W., 1980. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos* 13, 97–108.
- Nardi, L.V.S., 1986. As rochas granitoides da série shoshonítica. *Revista Brasileira de Geologia* 16, 3–10.
- Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochem. Cosmochim. Acta* 38, 757–775.
- Nascimento, M.A.L., Galindo, A.C., 2015. Ediacaran to cambrian magmatic suites in the Rio Grande do Norte domain, extreme northeastern Borborema province (NE of Brazil): current knowledge. *J. S. Am. Earth Sci.* 58, 281–299.
- Oliveira, A.C.S., 2014. Petrogênese Do Stock Granítico Monte Alegre, Nordeste Do Domínio Macururé, Faixa Sergipana. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Sergipe 124p.
- Oliveira, E.P., Toteu, S.F., Araújo, M.N.C., Carvalho, M.J., Nascimento, R.S., Bueno, J.F., McNaughton, N., Basilic, G., 2006. Geologic correlation between the neoproterozoic Sergipano belt (NE Brazil) and the yaoundé belt (Cameroon, Africa). *J. Afr. Earth Sci.* 44, 470–478.
- Oliveira, E.P., Windley, B.F., Araújo, M.N.C., 2010. The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana. *Precambrian Res.* 181, 64–84.
- Oliveira, E.P., Bueno, J.F., McNaughton, N.J., Silva Filho, A.F., Nascimento, R.S., Donatti-Filho, J.P., 2015. Age, composition, and source of continental arc- and syn-collision granites of the neoproterozoic Sergipano belt, southern Borborema province, Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 58, 257–280.
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate margins. In: Thorpe, R.S. (Ed.), *Andesites*. John Wiley, New York, pp. 525–548.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva Publishing Ltd., Cambridge, Mass, pp. 230–249 272 p.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.* 25, 956–983.
- Pearce, J.A., 1996. Source and settings of granitic rocks. *Episodes* 19, 120–125.
- Pe-piper, G., Piper, D.J.W., Koukouvelas, I., Dolansky, L.M., Kokkalas, S., 2009. Postorogenic shoshonitic rocks and their origins by melting underplated basalts: the Miocene of Limnos. *Greece* 121, 39–54. <https://doi.org/10.1130/B26317.1>.
- Peccerillo, A., Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area. *Northern Turkey. Contrib. Mineralogy Petrology* 58, 63–81.
- Ringwood, A.E., 1989. Phase transformations and differentiation in subducted lithosphere: implications for mantle dynamic basalt petrogenesis, and crustal evolution. *J. Geol.* 90, 611–643.
- Ringwood, A.E., 1990. Slab-mantle interaction – petrogenesis of intraplate magmas and structure of the upper mantle. *Chem. Geol.* 82, 187–207.
- Rock, N.M.S., 1984. Nature and origin of calc-alkaline lamprophyres: minettes, vogesites, kerdaantites and spessartites. *Transactions of the Royal Society Edinburgh. Earth Science* 74, 193–227.
- Rock, N.M.S., 1991. *Lamprophyres*. Blackie/Van Nostand Reinhold 285p.
- Santos, E.J., Silva Filho, M.A., 1975. Ensaio interpretativo sobre a evolução da geosinclinal de Propriá. *MIN (Minim. Invasive Neurosurg.)* 39, 3–22.
- Santos, R.A., Menezes Filho, N.R., Souza, J.D., 1988. Programa Levantamentos Geológicos Básicos Do Brasil: Carta Geológica, Carta Metalogenéticas/previsional – (Folha SC.24-z-a-iii Carira) (Orgs). DNP/CPRM, Estados de Sergipe e Bahia 124 p.
- Sato, K., Tassinari, C.C.G., Basei, M.A.S., Júnior, O.S., Onoe, A.T., Souza, M.D., 2014. Sensitive high resolution ion microprobe (SHRIMP II/MS) of the Institute of Geosciences of the University of São Paulo, Brazil: analytical method and first results. *Geol. Usp. Série Científica* 14, 3–18.
- Sial, A.N., 1986. Granite-types in northeast Brazil: current knowledge. *Rev. Bras. Geociências* 16, 54–72.
- Silva, C.C., 2014. Petrologia e Geocronologia do Stock Granodiorítico Lagoa do Roçado, Domínio Macururé, Faixa Sergipana – SE. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Sergipe 76p.
- Silva Filho, M.A., Bomfim, L.F.C., Santos, R.A., Leal, R.A., Santana, A.C., Filho, P.A.B., 1979. Geologia da Geosinclinal Sergipana e do seu embasamento; Projeto Baixo São Francisco/Vaza Barris. DNP/CPRM 134 p.
- Silva Filho, A.F., Guimarães, I.G., Van Schmus, W.R., Dantas, E., Armstrong, R., Conzentino, L., Lima, D., 2013. Long-lived neoproterozoic high-K magmatism in the pernambuco–Alagoas domain, Borborema province, northeast Brazil. *Int. Geol. Rev.* 55, 1280–1299. <https://doi.org/10.1080/00206814.2013.774156>.
- Silva Filho, A.F., Guimarães, I.P., Santos, I., Armstrong, R., Van Schmus, W.R., 2016. Geochemistry, U-Pb geochronology, Sm-Nd and O isotopes of ca. 50Ma long Ediacaran high-K syn-collisional magmatism in the Pernambuco Alagoas domain, Borborema province, NE Brazil. *Journal of South American Earth Science* 68, 134–154. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.12.013>.
- Shand, S.J., 1927. *The Eruptive Rocks*. Wiley, New York 51pp.
- Sloman, L.E., 1989. Triassic shoshonites from the dolomites, northern Italy: alkaline arc rocks in the strike-slip setting. *J. Geophys. Res.* 94, 4655–4666.
- Streckeisen, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review* 12, 1–33.
- Sun, S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and process. *Geological Society of London, Special Publications* 42, 313–345.
- Teixeira, L.R., Lima, E.S., Neves, J.P., Santos, R.A., Santiago, R.C., Melo, R.C., 2014. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Sergipe. CPMR Escala 1:250.000.
- Thibault, Y., Edgar, A.D., Lloyd, F.E., 1992. Experimental investigation of melts from a carbonated phlogopite lherzolite: implications for metasomatism in the continental lithospheric mantle. *Am. Mineral.* 77, 784–794.
- Thompson, R.N., Fowler, M., 1986. Subduction-related shoshonite magmatism: a study of Siluro-Ordovician syenites from the Scottish Caledonides. *Contribution of Mineralogy and Petrology* 94, 507–522.
- Van Schmus, W.R., Brito Neves, B.B., Hackspacher, P., 1995. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema province, northeastern Brazil: initial conclusions. *J. S. Am. Earth Sci.* 8, 267–285.
- Van Schmus, W.R., Oliveira, E.P., Silva Filho, A.F., Toteu, S.F., Penaye, J., Guimarães, I.P., 2008. Proterozoic links between the Borborema province, NE Brazil, and the central African fold belt. *Geological Society London* 294, 69–99.
- Van Schmus, W.R., 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. *J. S. Am. Earth Sci.* 31, 227–252.
- Vauchez, A., Neves, S., Cabry, R., Corsini, M., Egidio-Silva, M., Arthaud, M., Amaro, V., 1995. The Borborema shear zone system, NE Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 8, 247–266.
- Villemant, B., Jaffrezic, H., Joron, J.L., Treuil, M., 1981. Distribution coefficients of major and trace-elements - fractional crystallization in the alkali basalt series of chaîne-Despuys (massif central, France). *Geochem. Cosmochim. Acta* 45 (11). [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(81\)90055-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(81)90055-7). 1,997-2,016.
- Watson, E.B., Harrison, T.M., 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters* 64, 295–304.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrology*. London, 457p.
- Williams, I.S., 1997. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe: not just ages but histories. *Rev. Econ. Geol.* 7, 1–35.
- Worner, G., Beusen, J.M., Duchateau, N., Gijbels, R., Schmincke, H.U., 1983. Trace element abundances and mineral/melt distribution coefficients in phonolites from the Laacher See volcano (Germany). *Contrib. Mineral. Petrol.* 84, 152–173.
- Wood, D.A., Joron, J.L., Treuil, M., 1979. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth Planet Science Letter* 45, 326–336.

CAPÍTULO 3 - Amphibole crystallization conditions as record of interaction between ultrapotassic enclaves and monzonitic magmas in the Glória Norte Stock, South of Borborema Province

Brazilian Journal of Geology

BRAZILIAN JOURNAL OF GEOLOGY

Amphibole crystallization conditions as record of interaction between ultrapotassic enclaves and monzonitic magmas in the Glória Norte Stock, South of Borborema Province

Journal:	<i>Brazilian Journal of Geology</i>
Manuscript ID	Draft
Manuscript Type:	Special Session
Date Submitted by the Author:	n/a
Complete List of Authors:	Lisboa, Vincius; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus Picuí, Coordenação de Geologia Conceição, Herbet; Universidade Federal de Sergipe, Geologia Rosa, Maria ; Universidade Federal de Sergipe, Geologia Marques, Gisele; Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências Lamarão, Cláudio; Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências Lima, André ; Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe.
Keyword:	Amphiboles, Thermobarometry, Glória Norte Stock

SCHOLARONE™
Manuscripts

1
2
3 **Amphibole crystallization conditions as record of interaction between ultrapotassic**
4 **enclaves and monzonitic magmas in the Glória Norte Stock, South of Borborema**
5 **Province**
6
7

8
9 Vinícius Anselmo Carvalho Lisboa^{1,2}; Herbet Conceição^{1,3}; Maria Lourdes Silva Rosa³;
10 Gisele Tavares Marques⁴; Cláudio Nery Lamarão⁴; André Luiz Rezende Lima³
11
12

13 ¹ Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências.
14 Rua Barão de Jeremoabo, s/n, CEP: 40170-290, Salvador-BA, Brasil. E-mail:
15 vinicius.lisboa@ifpb.edu.br [corresponding author]
16
17

18 ² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Picuí.
19 Rodovia PB-151, s/n, CEP: 58187-000, Picuí-PB, Brasil.
20
21

22 ³ Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe.
23 Av. Marechal Rondon, s/n, Rosa Elze, CEP: 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil. E-
24 mail: herbet@ufs.br; lrosa@ufs.br; luizrezendelima@gmail.com
25
26

27 ⁴ Laboratório de Microanálises, Universidade Federal do Pará. Rua Augusto Corrêa, 1,
28 CEP: 66075-900, Belém-PA, Brasil. E-mail: gisele.ufpa@gmail.com; lamarão@ufpa.br
29
30

31 **Abstract**
32

33 The Glória Norte Stock (GNS) is made up of predominantly porphyritic quartz-monzonite
34 and mafic enclaves (MME) are abundant. The MME from the GNS are fine-grained rocks
35 with droplet and ellipsoid shapes which show clear-cut contacts with the host rocks and
36 are parallel to the magmatic flow structure. The studied amphibole crystals are calcic and
37 correspond to pargasite, edenite and magnesium-hornblende. Their compositions are
38 influenced by substitutions involving Al³⁺, Na⁺, Fe²⁺, Si⁴⁺ e Mg²⁺ ions (edenite and
39 pargasite types), reflecting the decrease of temperature and the increase of the oxygen
40 fugacity. They present low Ti and Al contents, and varied Si content (6.2-7.7 apfu) and
41 mg# ratio (0.48 – 0.84). Pressure was estimated to vary between 2.6 and 7.8 kbar and the
42 *solidus* and *liquidus* temperatures were estimated to range between 600 to 659 °C and 887
43 to 908 °C respectively. Amphiboles with lower Si and Mg content, were formed under
44 high pressure and temperature conditions, being interpreted as early precipitated crystals
45 forms in the magma. The compositional similarity between amphibole from the MME
46 and GNS reflect that the interaction between these magmas occurred with a minimum
47 temperature of the 862 °C and under ± 5 kbar pressure (~18 km depth).
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58

59 Key words: Amphiboles; Thermobarometry; Glória Norte Stock.
60

1. INTRODUCTION

Amphiboles constitute a complex group of rock-forming minerals, which present great chemical variation and diversity of mineral associations. Their structures and chemical compositions are affected by changes in conditions during or after their crystallization (Hawthorne, 1983). Amphiboles occur in igneous rocks, from acidic to ultrabasic, and in medium to high temperature metamorphic rocks (Deer et al. 1997; Martin 2007). Additionally, the occurrence of amphibole in mafic-ultramafic enclaves associated with granites and basalts indicates that it is stable in the mantle (e.g. Green & Ringwood 1963; Krawczynski et al. 2012).

Granites make up around 25% of the outcrop area of the metasedimentary Macururé Domain (MD), in the Sergipano Orogenic System (SOS), (Davison & Santos 1989). Conceição et al. (2016) grouped the MD intrusions in four distinct groups: (1) High-K calc-alkaline granodiorites; (2) Shoshonitic monzonites; (3) Leucocratic syenogranites, and (4) Rapakivi-textured calc-alkaline granites.

Microgranular mafic enclaves (MME) are common in the SOS granites and some of them show high amphibole volume (Sial et al. 1998). The genesis of amphibole enclaves in the MD has been ascribed to mixing between felsic and mafic magmas (Sial et al. 1998; Conceição et al. 2016; Lisboa et al. 2019). Interaction between magmas with distinct compositions can generate total or partial mixing, and partial corrosion textures in early formed crystals (Barbarin & Didier 1992). The minerals formed during mixing may have their chemical composition modified or rebalanced due to reactions with the hybrid magma (Sahin et al. 2010).

This work presents and discusses the result of chemical analysis obtained on amphibole crystals of microgranular mafic enclaves of the Glória Norte Stock (GNS), their textural relations and crystallization conditions.

2. GEOLOGICAL CONTEXT

The GNS, which was crystallized at 588 ± 5 Ma (zircon U-Pb_{SHRIMP}) is the main representative of the MD post-orogenic shoshonitic magmatism (Lisboa et al. 2019). This stock has an area of 45 km² (Figure 1), being composed essentially of porphyritic quartz-monzonite. Biotite, amphibole and diopside are the mafic minerals present in these rocks. In quartz-monzonites, the enclaves and feldspar phenocrysts mark a magmatic flow foliation. The GNS contains abundant mafic enclaves, there being three different types: microgranular mafic, lamprophyric and cumulatic ultramafic.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

Figure 1. [A] Geological compartmentation of the Sergipano Orogenic System (Pinho Neto et al. 2019). [B] Geological sketch map of the Macururé Domain proposed by Conceição et al. 2016. [C] Geological scheme of the GNS (Lisboa 2014). 1A – Porphyritic hornblende biotite quartz-monzonite with mafic enclaves; 1B – Hornblende biotite monzogranite; 1C – Area with the highest incidence of lamprophyric enclaves; 1D – Other granites; 1E – Metasediments of the Macururé Domain; 1F – Aerial photograph lineaments; 1G – Magmatic foliation.

The lamprophyric enclaves occur in the midwestern portion of the GNS. They show dark color with varied shape and their length reaches 1.3 meters, with clear-cut contacts with quartz-monzonite. The diopside biotite cumulate enclaves (Fontes et al. 2018) are medium-grained rocks with olive green color, and rounded shape.

The MME are abundant in the GNS (Figure 2A). They have different sizes and shapes (mostly rounded and ellipsoidal), often with the longest axis orientated by magmatic flow. The contacts of these enclaves with the host quartz-monzonitic rocks is gradational or sharp and their core is more coarse-grained than the border (Figure 2B). The decreasing grain size towards the edge of the MME is interpreted as resulting from rapid cooling of the mafic magma droplets, due to temperature contrast with the felsic magma.

Lisboa et al. (2019) characterizes the MME as ultrapotassic ($MgO > 3\%$, $K_2O > 3\%$ e $K_2O/Na_2O > 2$). According to these authors, the rocks of the GNS correspond to trachyandesitic magma, while the composition of the most primitive microgranular mafic enclaves correspond to basanitic magmas. The low Ta, Nb and Ti contents which characterize orogenic magmas are both present in the GNS and MME samples.

Figure 2. Field aspects of the studied enclaves. [A] Dark-colored MME with ellipsoidal shape. Note the finer grain size as compared to the host porphyritic monzonite. The white arrow marks the feldspar xenocrysts. [B] Microgranular mafic enclave composed of biotite and amphibole with a finer-grained border (with darker coloration) as well as feldspar xenocrysts (white arrow).

3. MATERIALS AND METHODS

The investigation was executed in polished thin sections of representative samples. The petrographic study was carried out with the aid of a transmitted and reflected light petrographic microscope of the Microscopy Laboratory at the Geoscience Laboratories, Federal University of Sergipe (CLGeo-UFS).

1
2
3 The chemical compositions of the amphibole crystals were obtained from analysis
4 through wavelength dispersion (WDS) and dispersive energy (EDS). The analysis with
5 WDS were performed with the JEOL JXA-8230 electronic probe from the Microanalysis
6 Laboratory, Federal University of Pará (LABMEV-UFPA). Constant accelerating voltage
7 of 15kV, electron beam current of 20 nA, electron beam diameter of 10 μm , with counting
8 time for the analysis of major and minor elements of 20s and 40s, respectively. The
9 following calibration standards were used for WDS analysis: fluorite (F), sodalite (Na_2O),
10 diopside (MgO), anortite (Al_2O_3), orthoclase (SiO_2 , K_2O), wollastonite (CaO), celestine
11 (SrO), magnetite (FeO), rhodonite (MnO), barite (BaO), rutile (TiO_2), sodalite (Cl),
12 vanadinite (V_2O_3), Cr_2O_3 (Cr_2O_3) and NiO (NiO).

13
14
15
16
17
18
19
20 EDS analysis was performed with an Oxford Instrument® X-Act model EDS
21 attached to a Tescan® Scanning Electron Microscope (SEM) Vega 3 LMU model at the
22 Laboratory of Microanalysis, Federal University of Sergipe (CLGeo-UFS). Potential
23 acceleration of 20 kV and current intensity from 17 nA, generating a beam with a diameter
24 of 400 nm; analysis time was 30 s. The CLGeo's EDS-SEM is calibrated with copper
25 energy and the reliability of the analyses is assessed from the analysis of ASTIMEX
26 international mineral standards (Table 1). The analytical uncertainties, given by the
27 difference between the certified values and those obtained with the EDS, were less than
28 2% for the elements with content greater than 10% in weight and errors between 4 and
29 19% for elements with content below 5% in weight.

30
31
32
33
34
35
36
37
38
39 Table 1. Comparison between the composition of ASTIMEX reference standards and the results obtained
40 through the EDS, adapted from Leandro (2018). 1 – ASTIMEX standard, 2 – analyses accomplished with
41 the EDS; 3 – difference between oxide content in standard and the one dosed by EDS.

4. RESULTS

4.1. Textural Aspects

42
43
44
45
46
47
48
49 The studied MMEs exhibit fine- to medium-grained or equigranular porphyritic
50 texture. The essential mineralogy of these enclaves is: amphibole, biotite, plagioclase
51 (andesine and oligoclase), alkali feldspar and quartz (Figure 3). Accessory minerals are
52 diopside, epidote, allanite, titanite, apatite, zircon, ilmenite, magnetite, pyrite and
53 chalcopyrite.
54
55
56
57
58
59
60

Figure 3. Representative texture of the microgranular mafic enclaves of the Glória Norte Monzonitic Stock. It is possible to observe a fine- to medium-grained granular rock; bt – biotite; amp – amphibole; ep – epidote; ap – apatite; qz – quartz; kfs – alkaline feldspar.

Green amphibole is the dominant mafic phase in the MMEs (up to 53% volume). Most crystals are subhedral with length up to 1.5 mm. Pleochroism ranges between olive green (Y), yellowish green (Z') to light yellowish green (X'). The grain limits with most minerals are rectilinear and irregular to interpenetrating with biotite and diopside. It shows inclusions of anhedral quartz, subhedral biotite, as well as apatite and ilmenite euhedral grains. Green amphibole is replaced by colorless amphibole at borders.

The amphibole crystals are well distributed in the MME. They occur as grains up to 0.5 mm, as agglomerates of mafic minerals as well as inclusions in alkali feldspar, and more rarely in plagioclase. In contrast with the non-included grains, the grains of amphibole present as inclusions in K-feldspar and plagioclase are commonly euhedral.

Mafic minerals like amphibole, diopside, titanite, ilmenite and magnetite, occur as agglomerates with up to 3.0 mm in length. Diopside is anhedral and rimmed by dark green amphibole (Figure 4A). The limits between diopside and amphibole grains are diffuse and the diopside cleavage planes contain subhedral grains of ilmenite and magnetite. The association of amphibole with biotite is more common. In this case, biotite occurs as subhedral grains with size up to 0.8 mm, arranged between amphibole crystals (Figure 4B) or along their cleavage planes.

Figure 4. Photomicrography of the GNS microgranular mafic enclaves. [A] Contact relationships between amphibole and diopside grains. Note also the presence of subhedral amphibole and acicular apatite crystals included in alkali feldspar; [B] Subhedral biotite crystals between amphibole crystals. amp – amphibole; di – diopside; bt – biotite; ep – epidote; ttn – titanite; kfs – alkaline feldspar.

Lisboa (2014) described the existence of mafic mineral agglomerates in the GNS porphyritic quartz monzonite. Baxter & Feely (2002) propose that agglomerates of this nature are formed from reaction between pyroxene and magma, thus leading to crystallization of amphibole. The occurrence of these agglomerates in the studied rocks suggests that they originated from mafic magma, which was responsible for the formation of the MME, and its presence in the GNS enclaves and monzonites is interpreted as due to the interaction between the two magmas.

4.2. Mineral Chemistry

4.2.1. Nomenclature and Chemical Composition

Chemical classification of the amphiboles was accomplished from the results of structural formula calculations based on 23 oxygens, assuming the general formula $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}(OH, F, Cl)$, whose site occupation complied to the recommendations of Leake et al. (1997). Representative chemical analyses of the amphibole crystals are presented in Table 2.

According to the nomenclature of Leake et al. (1997), the MME amphibole crystals are calcic, with Ca_B content between 1.5 – 2.0 apuf (atoms per unit formula), and correspond to pargasite and edenite ($(Na+K)_A > 0.5$ apuf; Figure 5A), and magnesium-hornblende and actinolite when the content $(Na+K)_A < 0.5$ (Figure 5B). The studied amphiboles show $mg\# [Mg^{2+}/(Mg^{2+}+Fe^{2+})]$ ratios ranging from 0.48 – 0.84. TiO_2 (0.0-2.0%), Al_2O_3 (3.9-12.3%), FeO (5.0-16.0%), MgO (9.0-15.4%), MnO (0.0-0.4%), CaO (10.0-12.4%), Na_2O (0.5-1.9%) and K_2O (0.2-3.8%). The intermediate contents of SiO_2 and low TiO_2 and alkali (Na_2O) contents is similar to those of amphiboles found in rocks formed in orogenic environments (Martin 2007; Coltorti et al. 2007).

In some amphibole crystals, the increase of Si and Mg associated to the depletion in ^{IV}Al from nucleous to border, forms actinolite (Figure 5B). The existence of such zoning may be a consequence of increasing oxygen fugacity in the magma. It may also result from reaction between magmatic amphibole and late fluids (Kawakatsu & Yamaguchi 1987; Martin 2007). Similar zoning is also described as evidence of mixture between magmas by Sato et al. (1999).

Figure 5. Classification diagrams for calcic amphiboles, after Leake et al. (1997). The composition of the crystal core corresponds to the circle (1), and the rim corresponds to the diamond (2). The grey area represents amphiboles from the Glória Norte Stock (3).

Table 2. Representative analyses of the studied amphiboles. The Fe^{2+}/Fe^{3+} partition was made using Stout's method (1972). H_2O^* was calculated by stoichiometry.

Leake (1971, 1978) used the relationship between Si and $(Na+Ca+K)$, to distinguish magmatic from post-magmatic amphiboles. Using these criteria, it is clear that some compositions in the MME amphiboles evolve from the magmatic field to the post-magmatic field (Figure 6). Crystals with higher Si content (>7.1 apuf) are also enriched in Mg, depleted in $Na+Ca+K$ (<2.4 apuf) and present similar compositional variation to that observed by Yamaguchi (1985) for late crystals, which had their chemical

1
2
3 compositions partially modified due to reactions with magma, or formed under subsolidus
4 conditions in the presence of fluids (Chivas 1981; Hendry et al. 1985).
5
6
7

8 Figure 6. Si versus Na+Ca+K diagram of Leake (1971). The curve separates the compositions of magmatic
9 from post-magmatic amphiboles. Core – circle; rim – diamond.
10
11
12

13 4.2.2. Substitutions

14
15 Spear (1981) listed the most common amphibole substitutions. The compositional
16 variations in the studied crystals can be described in terms of pargasite, tschermakite and
17 Ti-tschermakite substitutions, in addition to the simple replacement of Fe^{2+} by Mg (Spear
18 1981).
19
20
21
22

23 The diagram in Figure 7A shows good positive correlation between (Na_A+K) and
24 $^{\text{IV}}\text{Al}$. The relationship shown in this diagram is close to the 2:1 ratio, implying the
25 predominance of pargasite substitution, indicating that the partial occupation of site A by
26 alkalis requires the replacement of Si for $^{\text{IV}}\text{Al}$ at the tetrahedral site. The highest vacancy
27 rates at site [A] are observed for the crystals with higher Mg and Si contents. The $^{\text{IV}}\text{Al}$
28 versus $^{\text{VI}}\text{Al}$ ratio (Figure 7B) demonstrates the importance of edenite and pargasite
29 substitutions in the evolution of the studied amphibole compositions. The inverse
30 behaviour of Fe and Mg suggests important participation in the simple substitution Fe^{+2}
31 \leftrightarrow Mg, and also shows the good negative correlation existent between these elements
32 (Figure 7C).
33
34
35
36
37
38
39
40
41

42 Figure 7. Diagrams for visualization of chemical substitutions present in the amphiboles, microgranular
43 mafic enclaves of the Glória Norte Stock. [A] $^{\text{IV}}\text{Al}$ and the occupancy rate of Site "A"; [B] $^{\text{IV}}\text{Al}$ and $^{\text{VI}}\text{Al}$;
44 [C] Fe^{+2} and Mg. Substitutions are named according to Spear (1981). Core – circle; rim – diamond.
45
46
47

48 4.2.3 Conditions of Crystallization

49 Several studies used amphibole composition to infer pressure (e.g. Schmidt 1992;
50 Mutch et al. 2016), temperature (e.g. Holland & Blundy 1994. Putirka 2016) and oxygen
51 fugacity (e.g. Anderson & Smith 1995) conditions. In calcium amphiboles, with increased
52 pressure and temperature, K, Na, Ti, and Al contents are generally increased, Al being
53 most sensitive to changes in pressure (Hammarstrom & Zen 1986; Féménias et al. 2006;
54 Nandedkar et al. 2014).
55
56
57
58
59
60

1
2
3 The main calcium amphibole geobarometers are based on the existence of a linear
4 relationship between $^{total}Al$ and the crystallization pressure (Anderson 1996). The
5 identification of the amphibole association with biotite, titanite, magnetite (and/or
6 ilmenite), quartz, alkaline feldspar and plagioclase in the studied MME allowed the use of
7 these geobarometers. Pressure values calculated for the studied amphiboles by different
8 algorithms are presented in table 3.
9
10
11
12
13

14
15 Table 3. Geobarometry data obtained for the studied amphiboles. P¹ (Hammarstron & Zen 1986); P²
16 (Hollister et al. 1987); P³ (Johnson & Rutherford 1989); P⁴ (Schmidt 1992); P⁵ (Anderson & Smith 1995);
17 P⁶ (Mutch et al. 2016).
18
19

20
21 The Al^{total} content in the analysed crystals ranges from 1.42 and 2.22 apuf.
22 Considering all calibrations, the pressures (P) obtained range from 2.6 to 7.8 kbar,
23 corresponding to high- and low-pressure amphiboles (Figure 8A), according to
24 Hammarstron & Zen (1986). The identification of high- and low-pressure amphiboles in
25 orogenesis-associated magmas is described in several papers (e.g. Samaniego et al. 2010;
26 Ribeiro et al. 2016).
27
28
29
30
31

32
33 Figure 8. Diagrams showing the variation of chemical parameters and the conditions of pressure and oxygen
34 fugacity for the crystallization of calcium amphiboles. [A] ^{IV}Al versus Al^{total} diagram with high and low
35 pressure, amphibole fields defined by Hammarstron & Zen (1986). [B] $Fe/(Fe+Mg)$ versus ^{IV}Al diagram,
36 showing fields with different conditions of oxygen fugacity (fO_2), according to Anderson & Smith (1995).
37 The composition of grain cores corresponds to the circle; the grey area represents compositions of
38 amphibole from monzonites of the Glória Norte Stock.
39
40
41
42

43 As demonstrated by Anderson & Smith (1995), the increase of Al^{total} may also be
44 related to the increase in temperature. In this case, these authors recommended the use of
45 barometers that consider the effect of temperature. When applying the calibration
46 proposed by Anderson & Smith (1995) in the studied amphiboles, it is seen that the
47 pressure values range from 3.8 to 6.6 kbar, similar or very close from those obtained using
48 other calibrations (Table 2).
49
50
51
52

53 The *solidus* temperature estimates were obtained from the amphibole-plagioclase
54 pair thermometry, which is based on the amount of ^{IV}Al in the amphibole coexisting with
55 plagioclase in silica-saturated rocks. The results can be seen in table 4.
56
57
58
59
60

1
2
3 Table 4. Temperature data obtained for the studied amphiboles. $T_{\text{Hb-P11}}$ – Holland & Blundy
4 geothermometer, calculated with Schmidt (1992) pressures; $T_{\text{Hb-P12}}$ – Holland & Blundy geothermometer,
5 calculated with Anderson & Smith (1995) pressures; T_{Hb1} – liquid-amphibole of Ridolfi et al. (2010).
6
7
8

9 The crystallization temperature for the studied amphiboles use the calibration made
10 by Holland & Blundy (1994) for the edenite-richterite reaction. The temperatures were
11 calculated based on the pressures obtained by the Schmidt (1992) and Anderson & Smith
12 (1995) barometers. The temperature values obtained from this geothermometer are
13 situated between 600 and 659 °C (Table 4), below the temperature of the granite *solidus*,
14 which is around 700 °C (McDowell & Willie 1971; Piwinski 1973).
15
16
17
18

19 The composition of the cores of pargasite crystals was used to estimate the
20 temperature using the empirical geothermometer of Ridolfi et al. (2010). The obtained
21 temperatures range from 887 to 908 °C (Table 3) and may represent the equilibrium
22 temperature with magma.
23
24
25

26 The $f\text{O}_2$ has a strong chemical control over major mafic phases in igneous rocks
27 (Anderson & Smith, 1995). The studied amphiboles show Fe/(Fe+Mg) ratios of less than
28 0.6. When these ratios are correlated to the IVAl content of the MME amphibole, they
29 indicate crystallization at high $f\text{O}_2$ (Figure 8B). The presence of the magnetite + titanite
30 paragenesis in the MME reinforces the hypothesis of crystallization under more oxidizing
31 conditions (Wones 1989).
32
33
34
35

36 5. DISCUSSION

37
38
39 Amphiboles are very useful for the investigation of the genesis of mafic magmas,
40 especially the ultrapotassic one, in which amphibole is an early crystallizing phase (Foley
41 1992; Conceição & Green 2004; Förster et al. 2017). Compositional variation in
42 amphibole is strongly affected by changes in pressure, temperature, oxidation conditions,
43 magma composition and water activity (Scaillet & Evans 1999; Dalpé & Baker 2000;
44 Rooney et al. 2011).
45
46
47
48

49 Experimental studies performed on amphiboles which crystallized in equilibrium
50 with primitive basaltic magma have shown high mg# values (0.83-0.75; Groove et al.
51 2003) as compared to amphiboles equilibrated with more evolved magmas, where lower
52 values are observed ($\text{mg}\# \leq 0.65$; Alonso-Perez et al. 2009). The studied MME
53 amphiboles show mg# ranging between 0.48 and 0.84, partially overlapping the values
54 observed in amphiboles equilibrated balanced with primitive basaltic magmas. This
55 suggests that this mineral phase is the product of early fractionation in these magmas
56
57
58
59
60

(Hidalgo & Rooney, 2010; Rooney et al. 2011). The lower mg# figures (below 0.65) of the studied amphiboles may be related to the physico-chemical changes in the magmatic chamber (i.e. P, T, fO_2) or crystallization in equilibrium with more evolved magmas (Ribeiro et al. 2016).

To determine whether the studied amphibole crystals were actually formed from primitive magmas, the equation $Mg\#_{\text{parental magma}} = 1/(1 + K_D^{\text{Fe/Mg}} \times [Fe_T/Mg]_{\text{amphibole}})$, using $K_D^{\text{Fe/Mg}} = 0.38$ proposed by Alonso-Perez et al. (2009) was used, to estimate the degree of differentiation of parental magma of MME amphiboles. Primitive magmas, formed in the mantle, have $Mg\# > 0.70$ while the values of $Mg\#$ in evolved magma do not exceed 0.60 (Groove et al. 2003, 2012). Magmas in equilibrium with the studied amphiboles of mafic enclaves have $Mg\#$ ranging from 0.71 to 0.93 (average 0.78), indicating that these amphiboles represent early crystallized phases in primitive magmas.

The compositions of the studied MME amphibole crystals, especially the Al content, are similar to those of high- and low- pressure amphiboles (Figure 8A), indicating that two generations of amphiboles crystallized from the magmas that originated the enclaves.

The highest pressure figures were obtained in crystals with lower Si and Mg content, and richer in Al, and should represent the first phases to crystallize at lower crustal levels, approximately 28 km (considering 1kbar = 3.7 km of continental crust; Tulloch & Challis 2000). The lower pressure values were obtained in Si- rich Al-poor crystals, and may represent a second generation of amphiboles or crystals reequilibrated under shallower crustal conditions.

Calcium amphiboles are also important mafic minerals in the GNS monzonites, reaching 14% of the volume (Lisboa 2014). Analyses from representative samples of the GNS revealed that amphibole crystals from this stock correspond to edenite (Figure 5A) and to magnesium-hornblende (Figure 5B). The mean pressure figures calculated for GNS monzonite amphiboles are approximately 5 kbar, indicating crystallization at approximately 18 km depth. Using the Holland & Blundy (1994) and Ridolfi et al. (2010) geothermometers, the temperature values obtained range between 615 and 747 °C and 772 and 862 °C, respectively.

In the Macururé Domain plutons, interaction between mafic and felsic magmas has been pointed out by several authors as the process responsible for generating the mafic enclaves in these massifs (e.g. Sial et al. 1998; Conceição et al. 2016; Fontes et al. 2018; Lisboa et al. 2019). The following evidence, coming from our data, points out that

1
2
3 interaction between the mafic and felsic magmas is physically possible: textural evidence
4 (e.g. mafic mineral agglomerates); compositional similarity between MME and the GNS
5 amphiboles; similar crystallization temperature and *liquidus* temperature of the MME
6 amphiboles and the GNS monzonite.
7
8
9

10 Yamaguchi et al. (2003) stated that amphiboles formed at an early stage in mafic
11 magma continue to crystallize after the interaction between magmas. The pre-interaction
12 conditions can be obtained from early amphiboles and the reequilibrium conditions can
13 be obtained from those phases which crystallized after the interaction. Our results suggest
14 that the parental magmas of the MME were stored in deeper (~28 km) and shallower (~18
15 km) crustal conditions, and that the interaction between these magmas occurred at
16 temperatures ranging from 772 to 862 °C.
17
18
19
20
21

22 6. CONCLUSION

23
24
25 The amphiboles of the microgranular mafic enclaves of the Glória Norte Stock are
26 calcic and correspond to pargasite, edenite, magnesium-hornblende and actinolite. They
27 have varying Si contents (6.2 – 7.7 apuf) and mg# ratio between 0.48 and 0.84. The most
28 important substitutions involve Al, Si, Na, Fe and Mg (edenite and pargasite types) and
29 reflect temperature decrease and increase of fO_2 .
30
31
32

33 The textures and chemical compositions (e.g. Si apuf content) indicate that the
34 earliest amphibole crystals have undergone transformations at the *subsolidus* stage, and
35 their borders are richer in Mg and Si.
36
37
38

39 The identification of similar chemical compositions in calcium amphiboles from
40 monzonite enclaves, as well as the equivalent estimates of pressure and temperature
41 obtained and the compositional similarity between amphibole from the MME and GNS
42 monzonites all suggest chemical reequilibration between the magmas which originated
43 the monzonites and the enclaves. The interaction between these magmas occurred under
44 ± 5 kbar pressure (~18 km depth), with temperature ranging between 772 and 862 °C.
45
46
47
48
49

50 Acknowledgments

51
52 The first author thanks the IFPB – Campus Picuí for granting the removal for
53 completion of the Doctorate in Geology at UFBA. The authors thanks CNPq and the
54 Sergipe State Research and Technological Innovation Support Foundation
55 (FAPITEC/SE), number of processes: 140117/2015-6 (bolsa de Doutorado VACL),
56 311008/2017-8 (CNPq-PQ), 310391/20172 (CNPq-PQ), 405387/2016-4 (CNPq-
57
58
59
60

1
2
3 Universal 2016) and 310391/2017-2 (CNPq-PQ), 405387/2016-4 (CNPq-Universal
4 2016).

7 **References**

- 9
10 Alonso-Perez R., Müntener O., Ulmer P. 2009. Igneous garnet and amphibole
11 fractionation in the roots of island arcs: experimental constraints on andesitic
12 liquids. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **157**:541.
13
14 Anderson J.L., Smith D.R. 1995. The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-
15 hornblende barometer. *American Mineralogist*, **80**:549-559.
16
17 Anderson J.L. 1996. Status of thermobarometry in granitic batholiths. *Earth and*
18 *Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, **87**:125-138.
19
20 Barbarin B., Didier J. 1992. Genesis and evolution of mafic microgranular enclaves
21 through various types of interaction between coexisting felsic and mafic magmas. *Earth*
22 *and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, **83**:145-153.
23
24 Baxter S., Feely M. 2002. Magma mixing and mingling textures in granitoids: examples
25 from the Galway Granite, Connemara, Ireland. *Mineralogy and Petrology*, **76**:63-74.
26
27 Chivas A.R. 1981. Geochemical evidence for magmatic fluids in porphyry copper
28 mineralization. Part I. Mafic silicates from the Koloula Igneous Complex. *Contributions*
29 *to Mineralogy and Petrology*, **78**:389-403.
30
31 Coltorti M., Bonadiman C., Faccini B., Grégoire M., O'Reilly S.Y., Powell W. 2007.
32 Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle. *Lithos*, **99**:68-84.
33
34 Conceição J.A., Rosa M.L.S., Conceição H. 2016. Sienogranitos leucocráticos do
35 Domínio Macururé, Sistema Orogênicos Sergipano, Nordeste do Brasil: Stock Glória Sul.
36 *Brazilian Journal of Geology*, **46**:63-77.
37
38 Conceição R.V., Green D.H. 2004. Derivation of potassic (shoshonitic) magmas by
39 decompression melting of phlogopite+pargasite lherzolite. *Lithos*, **72**:209-229.
40
41 Dalpé C., Baker D.R. 2000. Experimental investigation of large-ion-lithophile-element-,
42 high-field-strength-element and rare-earth-element-partitioning between calcic
43 amphibole and basaltic melt: the effects of pressure and oxygen fugacity. *Contributions*
44 *to Mineralogy and Petrology*, **140**:233-250.
45
46 Davison I., Santos R.A. 1989. Tectonic evolution of the Sergipano fold belt, NE Brazil,
47 during the Brasiliano orogeny. *Precambrian Research*, **45**:319-342.
48
49 Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1997. *Rock-Forming Minerals. 2B. Double-Chain*
50 *Silicates*, Geological Society of London, 764p.
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

- 1
2
3 Féménias O., Mercier J.C.C., Nkono C., Diot H., Berza T., Tatu M., Demaiffe D. 2006.
4 Calcic amphibole growth and compositions in calc-alkaline magmas: Evidence from the
5 Motru Dike Swarm (Southern Carpathians, Romania). *American Mineralogist*, **91**:73-81.
6
7 Foley S.F. 1992. Petrological characterization of the source components of potassic
8 magmas: geochemical and experimental constraints. *Lithos*, **28**:187-204.
9
10 Fontes M.P., Conceição H.C., Rosa M.L.S., Lisboa V.A.C. 2018. Minettes do Stock
11 monzonítico Glória Norte: Evidência de magmatismo ultrapotássico pós-orogênico, com
12 assinatura de subducção, no Sistema Orogênico Sergipano. *Geologia USP – Série*
13 *Científica*, **1**:1-16.
14
15 Förster M.W., Prelević D., Schmück H.R., Buhre S., Veter M., Mertz-Kraus R., Jacob
16 D.E. 2017. Melting and dynamic metasomatism of mixed harzburgite+ glimmerite mantle
17 source: Implications for the genesis of orogenic potassic magmas. *Chemical*
18 *Geology*, **455**:182-191.
19
20 Green D.H., Ringwood A.E. 1963. Mineral assemblages in a model mantle
21 composition. *Journal of Geophysical Research*, **68**:937-945.
22
23 Grove T.L., Elkins-Tanton L.T., Parman S.W., Chatterjee N., Muntener O., Gaetani G.A.
24 2003. Fractional crystallization and mantle-melting controls on calc-alkaline
25 differentiation trends. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **145**:515–533.
26
27 Grove T.L., Till C.B., Krawczynski M.J. 2012. The role of H₂O in subduction zone
28 magmatism. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **40**:413–439.
29
30 Hammarstron J.M., Zen E. 1986. Aluminium in hornblende: an empirical igneous
31 geobarometer. *American Mineralogist*, **71**:1297-1313.
32
33 Hawthorne F.C. 1983. The crystal chemistry of the amphiboles. *Canadian Mineralogist*,
34 **21**: 173-480.
35
36 Hendry D.A.F., Chivas A.R., Long J.V.P., Reed S.J.B. 1985. Chemical differences
37 between minerals from mineralizing and barren intrusions from some North American
38 porphyry copper deposits. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **89**:317-329.
39
40 Hidalgo P.J., Rooney T.O. 2010. Crystal fractionation processes at Baru volcano from the
41 deep to shallow crust. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **11**:1-29.
42
43 Holland T., Blundy J. 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing
44 on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to mineralogy and Petrology*,
45 **116**:433-447.
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

- 1
2
3 Hollister L.S., Grissom G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B. 1987. Confirmation
4 of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-
5 alkaline plutons. *American Mineralogist*, **72**:231-239.
6
7
8 Johnson M.C., Rutherford M.J. 1989. Experimental calibration of the aluminum-in-
9 hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic
10 rocks. *Geology*, **17**:837-841.
11
12 Kawakatsu K., Yamaguchi Y. 1987. Successive zoning of amphiboles during progressive
13 oxidation in the Daito-Yokota granitic complex, San-in belt, southwest
14 Japan. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **51**:535-540.
15
16 Krawczynski M.J., Grove T.L., Behrens H. 2012. Amphibole stability in primitive arc
17 magmas: effects of temperature, H₂O content, and oxygen fugacity. *Contributions to*
18 *Mineralogy and Petrology*, **164**:317-339.
19
20 Leake B.E. 1971. On aluminous and edenitic hornblendes. *Mineralogical*
21 *Magazine*, **38**:389-407.
22
23 Leake B.E. 1978. Nomenclature of amphiboles. *The Canadian Mineralogist*, **16**:501-520.
24
25 Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Linthout K.
26 1997. Report. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles
27 of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral
28 names. *Mineralogical Magazine*, **61**:295-321.
29
30 Leandro M.V.S. 2018. *Mineraloquímica de Rochas do Batólito Sienítico Itabuna, Sul do*
31 *Estado da Bahia*. Monografia, Departamento de Geologia, Universidade Federal de
32 Sergipe, 67p.
33
34 Lisboa V.A.C. 2014. *Petrologia e Geocronologia do Maciço Glória Norte, Faixa de*
35 *Dobramentos Sergipana, NE do Brasil*. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em
36 Geociências e Análise de Bacias. Universidade Federal de Sergipe, 140p.
37
38 Lisboa V.A.C., Conceição H., Rosa M.L.S., Fernandes D.M. 2019. The onset of post-
39 collisional magmatism in the Macururé Domain, Sergipano Orogenic System: The Glória
40 Norte Stock. *Journal of South American Earth Sciences*, **89**:173-188.
41
42 Martin R.F. 2007. Amphiboles in the igneous environment. *Reviews in Mineralogy and*
43 *Geochemistry*, **67**:323-358.
44
45 McDowell S.D., Willye P.J. 1971. Experimental studies of igneous rock series: the
46 Kungnat complex of southwest Greenland. *Journal of Geology*, **79**:173-194.
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

- 1
2
3 Mutch E.J.F., Blundy J.D., Tattitch B.C., Cooper F.J., Brooker R.A. 2016. An
4 experimental study of amphibole stability in low-pressure granitic magmas and a revised
5 Al-in-hornblende geobarometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **171**:85.
6
7
8 Nandedkar R.H., Ulmer P., Müntener O. 2014. Fractional crystallization of primitive
9 hydrous arc magmas: an experimental study at 0.7 GPa. *Contributions to Mineralogy and
10 Petrology*, **167**:1015.
11
12
13 Pinho Neto M.A., Rosa M.L.S., Conceição H. 2019. Petrologia do Batólito Sítios Novos,
14 Sistema Orogênico Sergipano, Província Borborema, NE do Brasil. *Geologia USP. Série
15 Científica*, **19**:135-150.
16
17
18 Piwinski A.J. 1973. Experimental studies of igneous rock series, central Sierra Nevada
19 batholith, California. Part II. *Neues Jahrbuch Mineralogie Monatsh.* **5**:193-215.
20
21
22 Putirka K. 2016. Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some
23 implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes. *American
24 Mineralogist*, **101**:841-858.
25
26
27 Ribeiro J.M., Maury R.C., Grégoire M. 2016. Are Adakites slab melts or high-pressure
28 fractionated mantle melts? *Journal of Petrology*, **57**:839-862.
29
30
31 Ridolfi F., Renzulli A., Puerini M. 2010. Stability and chemical equilibrium of amphibole
32 in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and
33 application to subduction-related volcanoes. *Contributions to Mineralogy and
34 Petrology*, **160**: 45-66.
35
36
37 Rooney T.O., Franceschi P., Hall C.M. 2011. Water-saturated magmas in the Panama
38 Canal region: a precursor to adakite-like magma generation? *Contributions to Mineralogy
39 and Petrology*, **161**:373–388.
40
41
42 Şahin S.Y., Orgun Y., Gungor Y., Goker A.F., Gultekin A.H., Karacik Z. 2010. Mineral
43 and Whole-rock Geochemistry of the Kestanbol Granitoid (Ezine-Çanakkale) and its
44 Mafic Microgranular Enclaves in Northwestern Anatolia: Evidence of Felsic and Mafic
45 Interaction. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **19**:101-122.
46
47
48 Samaniego P., Robin C., Chazot G., Bourdon E., Cotten J. 2010. Evolving metasomatic
49 agent in the Northern Andean subduction zone, deduced from magma composition of the
50 long-lived Pichincha volcanic complex (Ecuador). *Contributions to Mineralogy and
51 Petrology*, **160**:239-260.
52
53
54 Sato H., Nakada S., Fujii T., Nakamura M., Suzuki-Kamata K. 1999. Groundmass
55 pargasite in the 1991–1995 dacite of Unzen volcano: phase stability experiments and
56
57
58
59
60

1
2
3 volcanological implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **89**:197-
4 212.

5
6 Scaillet B., Evans B.W. 1999. The 15 June 1991 eruption of Mount Pinatubo. I. Phase
7 equilibria and pre-eruption P–T–fO₂–fH₂O conditions of the dacite magma. *Journal of*
8 *Petrology*, **40**:381–411.

9
10 Schmidt M.W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an
11 experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contributions to mineralogy*
12 *and petrology*, **110**:304-310.

13
14 Sial A.N., Ferreira V.P., Fallick A.E., Cruz M.J.M. 1998. Amphibole-rich clots in calc-
15 alkalic granitoids in the Borborema province, northeastern Brazil. *Journal of South*
16 *American Earth Sciences*, **11**:457-471.

17
18 Spear F.S. 1981. An experimental study of hornblende stability and compositional
19 variability in amphibolite. *American Journal of Science*, **281**:697-734.

20
21 Stout J.H. 1972. Phase petrology and mineral chemistry of coexisting amphiboles from
22 Telemark, Norway. *Journal of Petrology*, **13**:99-145.

23
24 Tulloch A.J., Challis G.A. 2000. Emplacement depths of Paleozoic-Mesozoic plutons
25 from western New Zealand estimated by hornblende-Al geobarometry. *New Zealand*
26 *Journal of Geology and Geophysics*, **43**:555-567.

27
28 Wones D.R. 1989. Significance of the assemblage titanite+ magnetite+ quartz in granitic
29 rocks. *American Mineralogist*, **74**:744-749.

30
31 Yamaguchi Y. 1985. Hornblende-cummingtonite and hornblende-aclinolite intergrowths
32 from the Koyama calc-alkaline intrusion, Susa, southwest Japan. *American Mineralogist*,
33 **70**:980-986.

34
35 Yamaguchi Y., Wada H., Ohta, Y., Harayama, S. 2003. Amphibole zoning, a record of
36 progressive oxidation during crystallization of mafic microgranular enclaves in the
37 Kurobegawa Granitic Pluton. *Journal of Mineralogical and Petrological*
38 *Sciences*, **98**:151-155.

	Biotite			Diopside			Kaersutite			Sanidine		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	38.72	39.05	0.33	55.13	55.36	0.23	40.09	40.12	0.03	64.67	64.58	0.09
TiO ₂	1.77	1.54	0.23	0.05	0.14	0.09	5.04	5.61	0.57			
Cr ₂ O ₃				0.58	0.54	0.04						
Al ₂ O ₃	15.30	15.27	0.03				12.36	13.07	0.71	18.76	18.92	0.16
FeO	10.72	9.53	1.19	1.21	1.32	0.11	12.23	11.36	0.87	0.18	0.34	0.16
MnO	0.04	0.13	0.09				0.18	0.16	0.02			
MgO	19.52	20.34	0.82	17.46	17.90	0.44	12.55	12.95	0.40			
CaO	0.10	0.10	0.00	25.55	24.82	0.73	11.56	11.32	0.24			
BaO										1.09	1.26	0.17
Na ₂ O							2.44	2.51	0.07	3.01	2.90	0.11
K ₂ O	9.91	10.05	0.14				1.19	0.96	0.23	12.11	12.14	0.03
Total	96.08	96.01		99.98	100.08		97.62	98.06		98.82	100.14	

For Review Only

Sample	12B ₂	12B ₂	12B ₂	12B ₂	3AF	3AF	3AF	3AF	3F	3F	3U	3U	12B ₄	12B ₄
Analyse	9	10	14	15	3	4	5	6	120	121	13	14	66	67
Position	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	rim	core	core	rim	core	rim
SiO ₂	41.61	42.05	41.85	46.16	40.92	44.93	42.43	43.94	52.14	45.47	46.16	45.57	44.30	44.10
TiO ₂	2.01	1.46	1.96	0.69	1.26	0.72	1.08	0.76		0.78	0.78	0.78	1.08	0.98
Al ₂ O ₃	12.34	12.02	12.35	11.56	10.96	9.68	11.64	10.15	3.92	9.02	8.92	8.82	9.90	10.09
Cr ₂ O ₃		0.01			0.02	0.04	0.08	0.13						
Fe ₂ O ₃	1.97	2.46	3.24	8.03	3.14	3.09	3.53	3.16	3.78	4.77	3.65	4.54	5.27	3.37
FeO	14.47	14.28	13.75	5.61	14.74	13.88	14.18	14.23	9.44	11.98	12.20	12.08	12.80	14.22
MnO	0.37	0.32	0.49	0.29	0.40	0.42	0.45	0.41	0.29	0.29	0.49	0.39	0.29	0.39
MgO	9.83	9.82	9.90	13.23	9.05	10.70	9.56	10.15	15.48	11.86	11.96	11.86	10.68	10.49
CaO	11.55	11.51	11.47	10.09	11.20	11.61	11.34	11.45	12.15	11.56	11.86	11.56	11.27	11.47
Na ₂ O	1.91	1.75	1.86	2.06	1.67	1.58	1.76	1.64	0.69	1.67	1.37	1.67	1.76	1.86
K ₂ O	1.51	1.54	1.57	1.08	1.50	1.12	1.51	1.28	0.49	1.08	0.98	1.08	1.08	1.37
BaO	0.09	0.18				0.08	0.02							
SrO	0.02	0.05			0.04		0.03	0.04						
NiO					0.02		0.01	0.03						
Total	97.57	97.21	98.42	98.80	94.85	97.76	97.54	97.30	98.38	98.48	98.37	98.36	98.43	98.34
Si	6.274	6.355	6.255	6.593	6.385	6.702	6.401	6.617	7.462	6.701	6.784	6.725	6.572	6.580
Al iv	1.726	1.645	1.745	1.407	1.615	1.298	1.599	1.383	0.538	1.299	1.216	1.275	1.428	1.420
Sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al vi	0.468	0.495	0.430	0.540	0.402	0.404	0.471	0.417	0.124	0.267	0.329	0.259	0.303	0.356
Fe ³⁺	0.224	0.279	0.364	0.863	0.369	0.347	0.400	0.358	0.407	0.529	0.403	0.505	0.589	0.378
Ti	0.227	0.166	0.220	0.074	0.148	0.081	0.123	0.086		0.087	0.087	0.087	0.120	0.110
Cr		0.001			0.003	0.004	0.009	0.016						
Fe ²⁺	1.825	1.804	1.718	0.670	1.923	1.731	1.789	1.792	1.130	1.476	1.500	1.491	1.588	1.774
Mn	0.047	0.041	0.062	0.036	0.052	0.052	0.057	0.052	0.036	0.037	0.061	0.049	0.037	0.050
Mg	2.210	2.213	2.205	2.817	2.104	2.380	2.150	2.279	3.304	2.605	2.620	2.609	2.363	2.333
Sum C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Ca	1.865	1.863	1.836	1.545	1.872	1.856	1.833	1.848	1.864	1.826	1.867	1.829	1.792	1.833
Na	0.135	0.137	0.164	0.455	0.128	0.144	0.167	0.152	0.136	0.174	0.133	0.171	0.208	0.167
Sum B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.425	0.377	0.376	0.115	0.377	0.312	0.349	0.327	0.054	0.302	0.258	0.305	0.299	0.372
K	0.289	0.297	0.299	0.196	0.298	0.213	0.290	0.246	0.089	0.203	0.184	0.203	0.204	0.261
Ba	0.010	0.021				0.009	0.002							
Sr	0.004	0.009			0.006		0.005	0.006						
Ni					0.006		0.001	0.008						
Sum A	0.728	0.703	0.675	0.311	0.686	0.534	0.647	0.587	0.143	0.504	0.442	0.508	0.503	0.633
mg#*	0.55	0.55	0.56	0.81	0.52	0.58	0.55	0.56	0.75	0.64	0.64	0.64	0.60	0.57

*Mg/(Mg/Fe²⁺)

Al ^{total} (apfu)	Pressure (kbar)					
	P ¹	P ²	P ³	P ⁴	P ⁵	P ⁶
1.42 – 2.22	3.2 – 7.3	3.3 – 7.8	2.6 – 5.9	3.8 – 7.6	3.8 – 6.6	3.0 – 7.4

For Review Only

Temperature (°C)			
$X_{(An)}$	T_{Hb-P11}	T_{Hb-P12}	T_{Hb1}
0.21	600 – 658	601 - 659	887 – 908

For Review Only

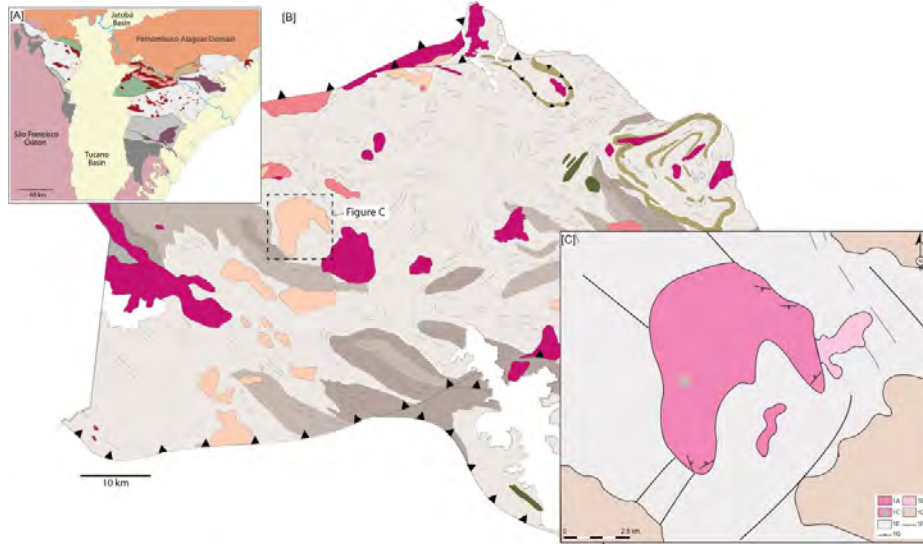


Figure 1. [A] Geological compartmentation of the Sergipano Orogenic System (Pinho Neto et al. 2019). [B] Geological sketch map of the Macururé Domain proposed by Conceição et al. 2016. [C] Geological scheme of the GNS (Lisboa 2014). 1A – Porphyritic hornblende biotite quartz-monzonite with mafic enclaves; 1B – Hornblende biotite monzogranite; 1C – Area with the highest incidence of lamprophyric enclaves; 1D – Other granites; 1E – Metasediments of the Macururé Domain; 1F – Aerophotographic lineaments; 1G – Magmatic foliation

382x213mm (300 x 300 DPI)

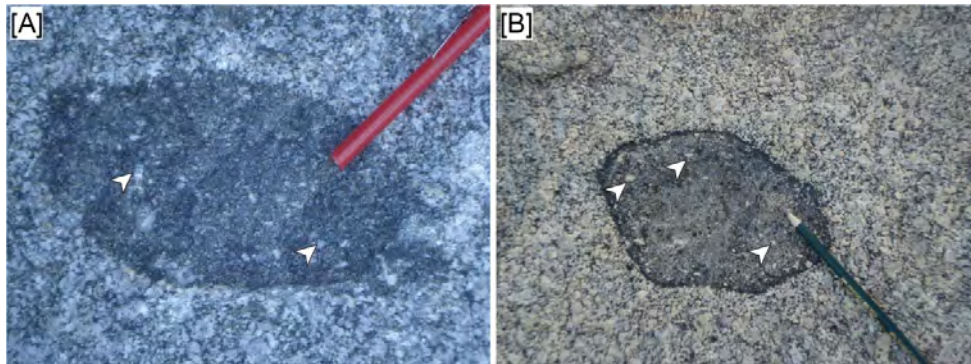


Figure 2. Field aspects of the studied enclaves. [A] Dark-colored MME with ellipsoidal shape. Note the finer grain size as compared to the host porphyritic monzonite. The white arrow marks the feldspar xenocrysts. [B] Microgranular mafic enclave composed of biotite and amphibole with a finer-grained border (with darker coloration) as well as feldspar xenocrysts (white arrow).

165x61mm (300 x 300 DPI)

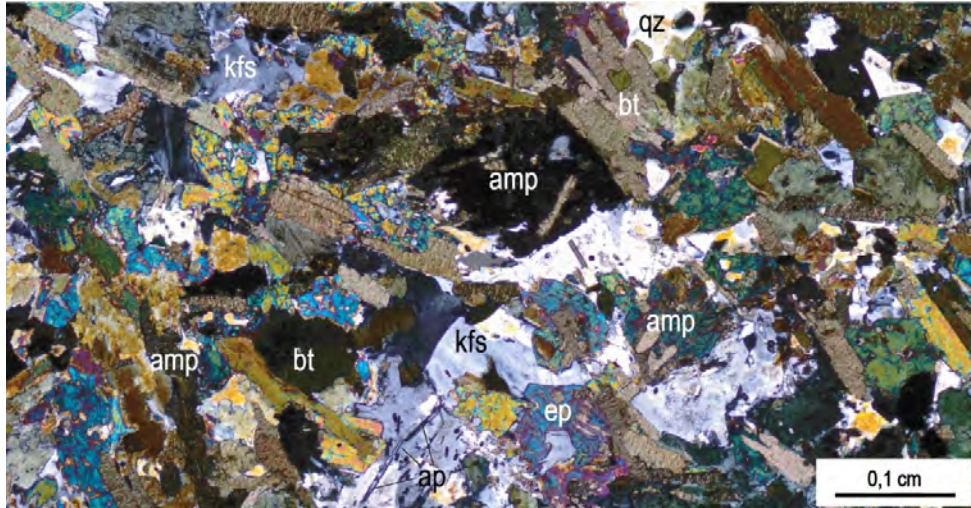


Figure 3. Representative texture of the microgranular mafic enclaves of the Glória Norte Monzonitic Stock. It is possible to observe a fine- to medium-grained granular rock; bt – biotite; amp – amphibole; ep – epidote; ap – apatite; qz – quartz; kfs – alkaline feldspar.

490x256mm (96 x 96 DPI)

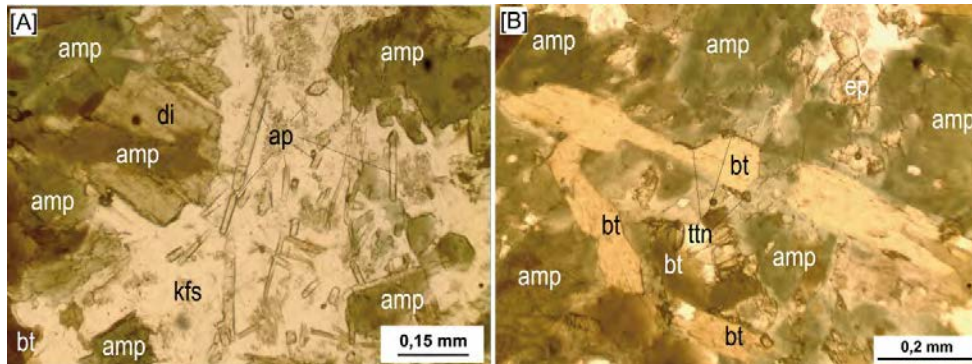


Figure 4. Photomicrography of the GNS microgranular mafic enclaves. [A] Contact relationships between amphibole and diopside grains. Note also the presence of subhedral amphibole and acicular apatite crystals included in alkali feldspar; [B] Subhedral biotite crystals between amphibole crystals. amp – amphibole; di – diopside; bt – biotite; ep – epidote; ttn – titanite; kfs – alkaline feldspar.

781x292mm (300 x 300 DPI)

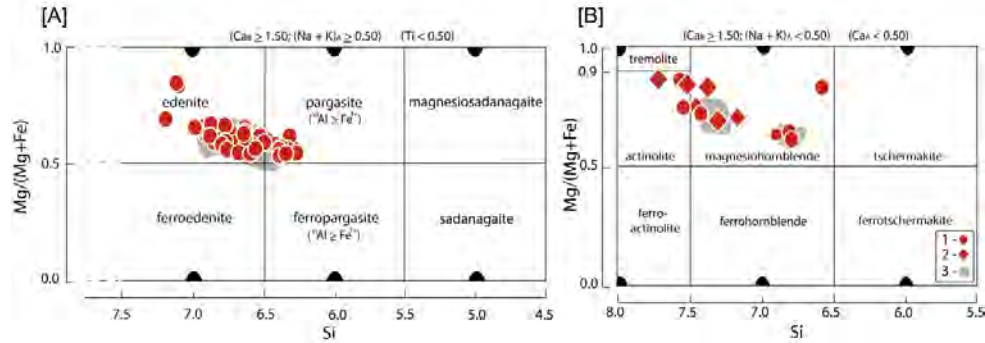


Figure 5. Classification diagrams for calcic amphiboles, after Leake et al. (1997). The composition of the crystal core corresponds to the circle (1), and the rim corresponds to the diamond (2). The grey area represents amphiboles from the Glória Norte Stock (3).

415x149mm (300 x 300 DPI)

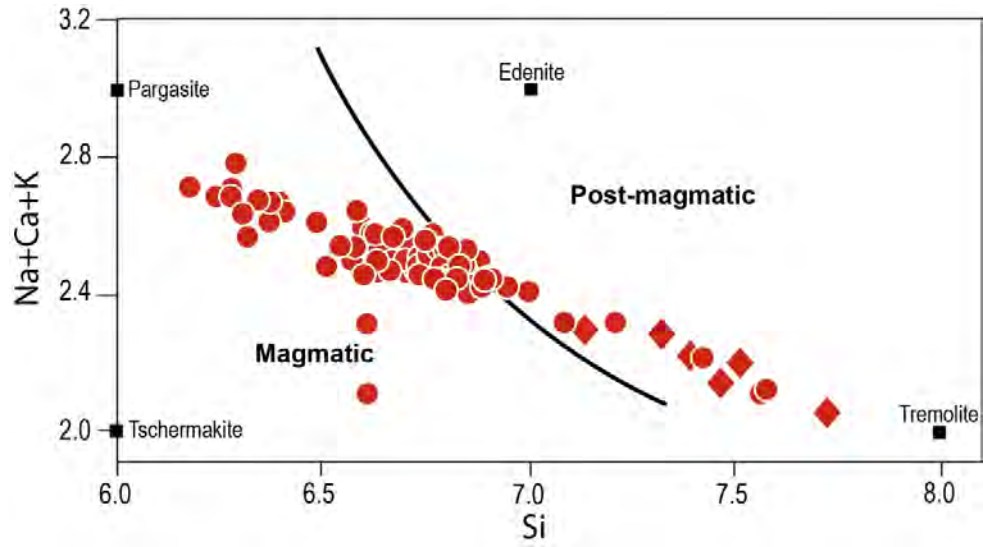


Figure 6. Si versus Na+Ca+K diagram of Leake (1971). The curve separates the compositions of magmatic from post-magmatic amphiboles. Core - circle; rim - diamond.

159x88mm (300 x 300 DPI)

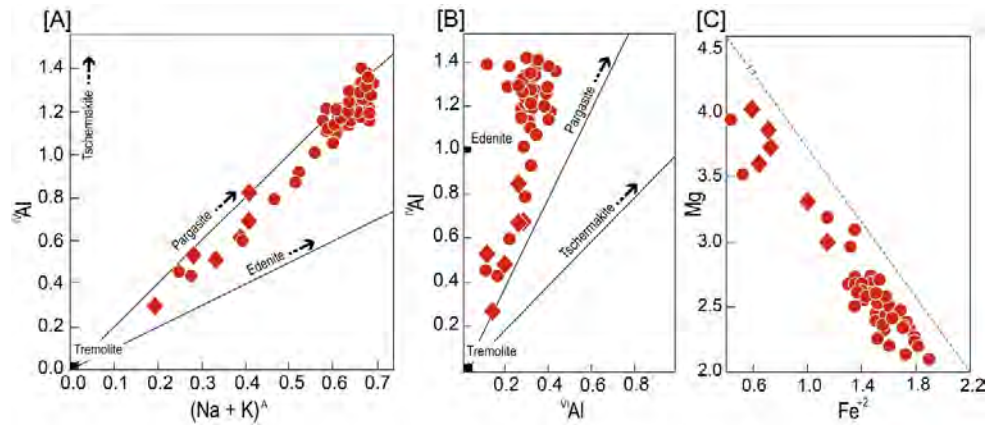


Figure 7. Diagrams for visualization of chemical substitutions present in the amphiboles, microgranular mafic enclaves of the Glória Norte Stock. [A] ${}^{\text{IV}}\text{Al}$ and the occupancy rate of Site "A"; [B] ${}^{\text{IV}}\text{Al}$ and ${}^{\text{VI}}\text{Al}$; [C] Fe^{+2} and Mg. Substitutions are named according to Spear (1981). Core – circle; rim – diamond.

381x165mm (300 x 300 DPI)

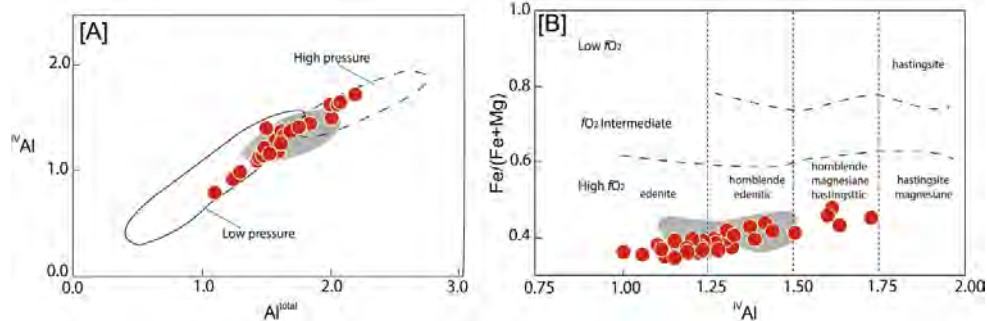


Figure 8. Diagrams showing the variation of chemical parameters and the conditions of pressure and oxygen fugacity for the crystallization of calcium amphiboles. [A] $IVAl$ versus Al^{total} diagram with high and low pressure, amphibole fields defined by Hammarston & Zen (1986). [B] $Fe/(Fe+Mg)$ versus $IVAl$ diagram, showing fields with different conditions of oxygen fugacity (fO_2), according to Anderson & Smith (1995). The composition of grain cores corresponds to the circle; the grey area represents compositions of amphibole from monzonites of the Glória Norte Stock.

376x126mm (300 x 300 DPI)

CAPÍTULO 4 - Enclaves máfico-ultramáficos do Stock Glória Norte: Magmatismo máfico-ultramáfico ultrapotássico, pós-orogênico, no Sub-domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano

Vinicius Anselmo Carvalho Lisboa^{a,b} Herbet Conceição^{b,c}, Maria Lourdes Silva Rosa^c

^a Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia. Rua Caetano Moura 123, CEP: 40210-340, Salvador-BA, Brasil.

^b Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Picuí. Rodovia PB-151; s/n, CEP: 58187-000, Picuí-PB, Brasil.

^c Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe. Av. Marechal Rondon, s/n, Rosa Elze, CEP: 491000-100, São Cristóvão-SE, Brasil.

E-mails: vinicius.lisboa@ifpb.edu.br; herbet@pq.cnpq.br; lourdes.rosa@pq.cnpq.br

Resumo

O magmatismo granítico é uma das feições mais expressivas da orogênese Brasileira no Sistema Orogênico Sergipano (SOS). Trabalhos recentes realizados em diversos plútons do SOS têm mostrado a existência de magmas cálcio-alcálicos de médio a alto potássio, shoshoníticos e ultrapotássicos. Estudos de detalhe desenvolvidos nas intrusões shoshoníticas do Domínio Macururé, em especial no *Stock* Glória Norte (SGN), identificaram a existência de processos de mistura entre magmas máficos e félsicos, com os termos máficos ocorrendo sob a forma de enclaves e apresentando afinidade ultrapotássica. Os enclaves possuem granulação fina, texturas equigranular fina a média e porfirítica. Os dados geoquímicos indicam magmas sub-saturados a saturados em SiO₂, cujas composições variam de basanitos a traquitos, e que apresentam afinidade ultrapotássica. Os conteúdos de CaO, Na₂O e FeO são similares aos observados nos lamproítos e minettes, respectivamente, rochas ultrapotássicas dos grupos I e III. O enriquecimento em elementos incompatíveis e o fracionamento LREE-HREE indicam a presença de um manto enriquecido como fonte desses magmas. As depleções em Ta, Nb e Ti reforçam o envolvimento de um manto previamente modificado por metassomatismo relacionado à subducção. Os conteúdos e as relações entre elementos-traço (e.g. Th/Yb, Ta/Yb) indicam que estes magmas se colocaram num ambiente de arco vulcânico. A associação de enclaves ultrapotássicos com monzonitos shoshoníticos é comumente descrita em regiões orogênicas, entretanto a ausência de deformação nas rochas estudadas é compatível com posicionamento pós-colisional. Isto sugere que o processo de formação dos magmas ultrapotássicos que deu origem a estes enclaves representa, provavelmente, um episódio de quebra da placa (*slab-breakoff*), permitindo a ascensão da astenosfera mais quente provocando a fusão parcial do manto litosférico enriquecido.

Palavras-chave: enclaves ultrapotássicos, pós-orogênico, Sistema Orogênico Sergipano

1. INTRODUÇÃO

A abundância de corpos magmáticos é uma das características do Sistema Orogênico Sergipano (SOS), sendo descrita em diversos trabalhos (e.g. Silva Filho et al. 1979; Davison and Santos, 1989; Teixeira et al., 2014, Oliveira et al. 2010, 2015; Conceição, 2016). A afinidade geoquímica dos magmas presentes neste orógeno varia de cálcio-alcalinas de médio, alto potássio e shoshonítica. Os estudos de detalhe desenvolvidos em algumas das intrusões do SOS identificaram a existência de processos de mistura entre magmas envolvendo termos máfico-ultramáficos ultrapotássicos e félsicos cálcio-alcalinos de médio a alto K e shoshoníticos (e.g. Conceição et al. 2016; Fontes et al. 2018; Lisboa et al. 2019).

Magmas ultrapotássicos são particularmente interessantes devido ao caráter primitivo (Foley et al. 1987; Rock, 1991) e a grande diversidade composicional e mineralógica que eles apresentam (Mitchel and Bergman, 1991, Foley and Peccerillo, 1992). É consenso entre os autores que estudaram a gênese de rochas ultrapotássicas que elas resultam da fusão de uma fonte mantélica previamente enriquecida em elementos incompatíveis (Foley et al. 1987; Foley and Peccerillo, 1992; Conticelli et al. 2002; Plá Cid et al. 2006; Cambese et al. 2016; Pandey et al. 2018).

A associação entre magmas máfico-ultramáficos ultrapotássicos e traquíticos ou riolíticos é descrita em diversos trabalhos (Thompson and Fowler, 1986; Silva Filho et al. 1993; Conceição et al. 1997; Paim et al. 2002). Esta associação ocorre em orógenos durante os períodos colisional e pós-colisional (Thompson and Fowler, 1986; Cambese and Scarrow, 2013).

Este trabalho apresenta e discute dados geológicos, petrográficos e geoquímicos de enclaves máfico-ultramáficos microgranulares (MME) presentes no Stock Glória Norte e aporta reflexões sobre as implicações da presença de magmas máfico-ultramáficos ultrapotássicos durante a estruturação do Sub-domínio Macururé.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A Província Borborema (BP), localizada no nordeste do Brasil, corresponde a margem oeste do Gondwana (Brito Neves et al. 2000; Van Schmus et al. 2011). A BP é formada por cinturões de rochas metavulcanossedimentares neoproterozoicas que separam blocos paleoproterozóicos (~2.2 - 2.0 Ga) e núcleos arqueanos (Figura 1; Brito Neves et al. 2000). A BP é dividida em sub-províncias, separadas pelos sistemas de cisalhamento Patos e Pernambuco (Brito Neves et al. 2000). A Sub-província Setentrional é localizada

a norte do lineamento de Patos e compreende os domínios Rio Grande do Norte, Ceará Central e Médio Coreaú. O lineamento de Pernambuco separa as sub-províncias Central e Meridional. Esta última compreende o Domínio Pernambuco-Alagoas, a Faixa Riacho do Pontal e o Sistema Orogênico Sergipano (Brito Neves et al. 2000; Neves, 2003; Van Schmus et al. 2011). A evolução da BP no final do Neoproterozoico foi caracterizada por intrusões, as quais constituem importante marcador para a história da orogênese Brasileira (Van Schmus et al. 2008).

O Sistema Orogênico Sergipano (SOS) juntamente com os cinturões Riacho do Pontal e Rio Preto definem os limites N-NE do Cráton do São Francisco (Figura 1). O SOS é, segundo Davison and Santos (1989), o resultado de colisão oblíqua associada à colagem de mini-placas com geologia distintas. D'el Rey Silva (1999) considera o SOS como resultante da inversão de uma margem continental passiva. Oliveira et al. (2010) propõem que o SOS represente o resultado de um ciclo tectônico completo, desenvolvido na porção oeste do Gondwana. De acordo com estes autores, o SOS é o produto da colisão entre o Cráton do São Francisco (CSF) e o Domínio Pernambuco-Alagoas (PE-AL), durante o Ediacarano.

A convergência entre CSF e o PE-AL deformou as margens passivas e a possibilitou a colocação dos granitos no setor centro-norte do SOS. Oliveira et al. (2010) definem dois intervalos para a colocação do magmatismo no SOS: 628 - 621Ma e 590 - 570Ma. Além dos corpos graníticos, rochas ígneas máficas são comuns no Sub-domínio Canindé e, de forma subordinada, nos sub-domínios Poço-Redondo, Marancó, Macururé e Vaza Barris (Silva Filho et al. 1979), muitas delas são intrusivas e deformadas no Neoproterozoico (Oliveira et al. 2010; Pereira, 2019).

O Sub-domínio Macururé (MD), onde é intrusivo o objeto de estudo, corresponde a uma faixa orientada NW-SE, com 2.000 km², e constitui a unidade geológica com maior área do SOS. Este sub-domínio é composto pelas rochas do Grupo Macururé (ardósias, filitos, quartzitos, xistos e rochas cálcio-silicáticas) com idade máxima de deposição toniana (Oliveira et al. 2006; Neves et al. 2019). O Grupo Macururé é interpretado por D'el Rey Silva (1999) como uma cunha turbidítica com mais de 13 km de profundidade. Os contatos entre o MD e os outros sub-domínios geológicos do SOS são feitos por zonas de cisalhamento (Figura 1).

No Sub-domínio Macururé ocorrem aproximadamente 60 intrusões (Conceição et al. 2016) que segundo Davison and Santos (1989) corresponde a 25% de sua área. Conceição et al. (2016) integraram os dados sobre as intrusões graníticas neste sub-domínio,

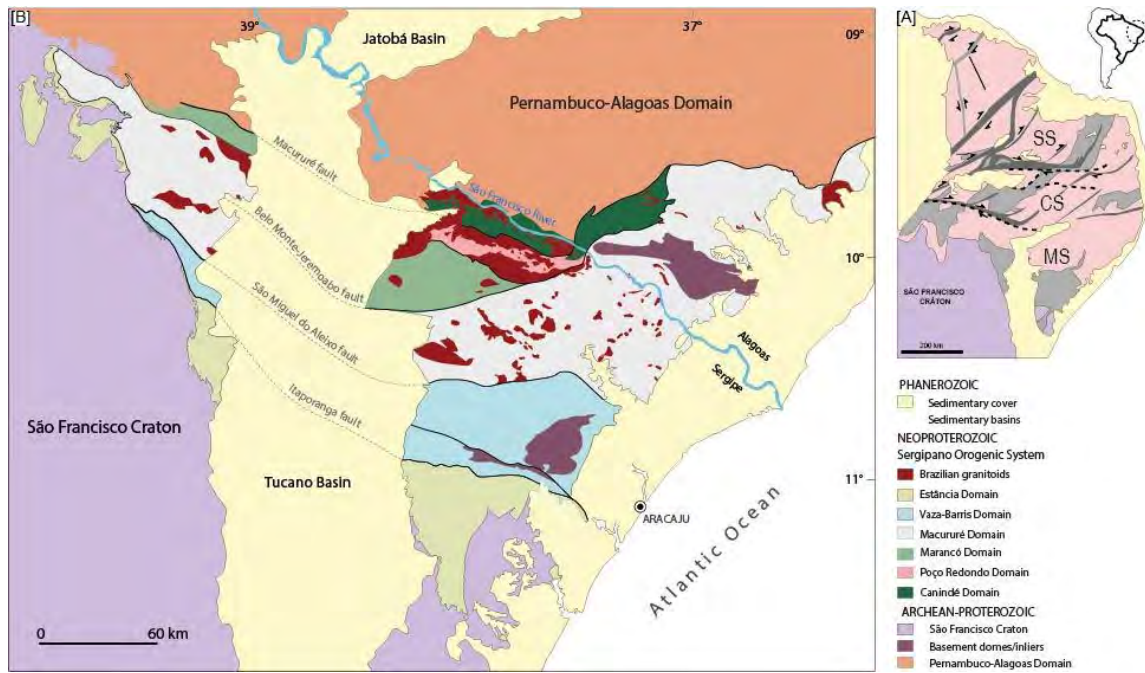


Figura 1: [A] Esboço geológico mostrando a subdivisão da Província Borborema nas sub-províncias Setentrional (SS), Central (CS) e Meridional (MS); [B] Esquema geológico do Sistema Orogênico Sergipano (SOS) compilado por (Pinho Neto, 2018) a partir dos mapas geológicos elaborados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) para os estados da Bahia, Sergipe, Alagoas e Pernambuco.

evidenciando que eles apresentam assinatura de arco e exibem zonalidade na distribuição dos corpos (Figura 2).

As rochas máficas do MD ocorrem como enclaves máficos microgranulares em granitos e monzonitos. Ocorrem igualmente como stocks básico-ultrabásicos (Camará, Aquidabã, Dorés e Capela) que limitam-se a ocorrer no leste do MD e têm assinatura geoquímica cálcio-alcálica de alto potássio (Pereira et al. 2017) e shoshonítica (Pereira, 2019).

2.1 – Magmas Potássicos na Província Borborema

O magmatismo potássico na Província Borborema é descrito por diversos autores (e.g. Guimarães and Silva Filho, 1992; Silva Filho et al. 1993; Ferreira et al. 1997; Brito et al. 2009; Silva Filho et al. 2013, Lisboa et al. 2019). É representado por batólitos, stocks e enxame de diques com composições quartzo-monzoníticas, sienograníticas, quartzo-sieníticas a quartzo álcali-feldspato sieníticas (Guimarães & Silva Filho, 1994; Ferreira et al, 1998; Brito et al. 2009). A ocorrência de vários destes corpos aloca-se ao longo ou adjacente a zonas de cisalhamento (Guimarães & Silva Filho, 1994; 1995; Ferreira et al, 1998). Os dados isotópicos disponíveis sobre este magmatismo indicam idades modelos T_{DM} em torno de 2.0 Ga e valores negativos de ϵ_{Nd} (-3 a -16) que sugerem origem por fusão parcial de manto Paleoproterozoico enriquecido. É consenso entre vários autores que estudaram o magmatismo potássico na BP que a geração destes magmas resultou da fusão parcial de um manto litosférico enriquecido (e.g. Brito et al. 2009; Silva Filho et al. 2013).

No Cinturão Cachoeirinha-Salgueiro, localizado na Zona Transversal da BP, Silva Filho et al. (1993) descrevem a presença de enclaves máficos ultrapotássicos nos plútons shoshoníticos Terra Nova e Serra do Livramento. As características geoquímicas desses enclaves são similares às das rochas ultrapotássicas do Grupo III de Foley et al. (1987). Silva Filho et al. (1993) sugerem que a associação dos enclaves ultrapotássicos com os plútons de afinidade shoshonítica pode representar um estágio transicional entre os regimes tectônicos colisional e pós-colisional.

No Domínio Pernambuco-Alagoas, porção sul da BP, Brito et al. (2009) reconhecem enclaves máficos microgranulares (MME) ultrapotássicos no Batólito Serra do Catu. As características geoquímicas (e.g. enriquecimento em LILE, anomalias negativas em Ta, Nb e Ti) e isotópicas (e.g. $-3.8 < \epsilon_{Nd} < -5.4$) destes enclaves evidenciam influência da subducção na gênese desses magmas. Para Brito et al. (2009) e Silva Filho et al. (2013) a

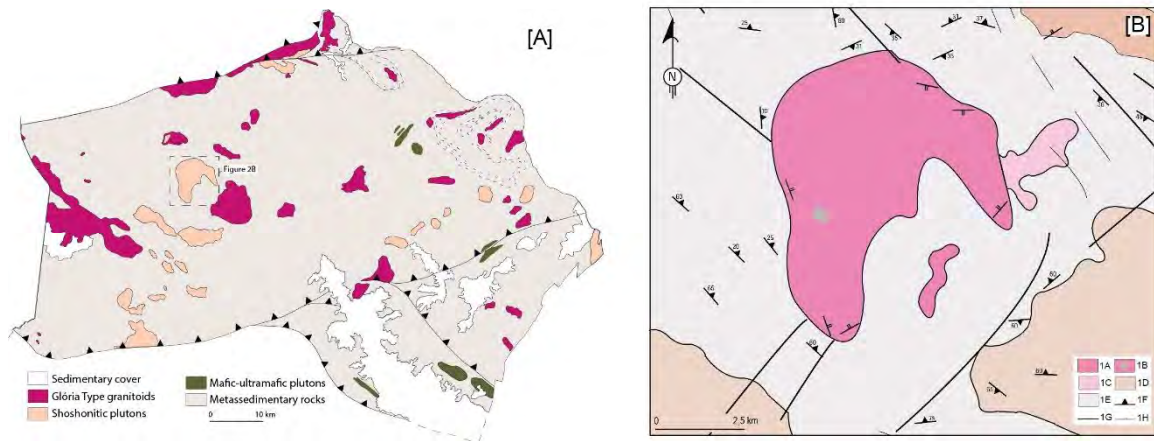


Figura 2: [A] Esquema geológico do Sub-domínio Macururé segundo a proposta de Conceição et al. (2016); [B] Esquema geológico do GNS (Lisboa, 2014). 1A – Hornblenda biotita quartzo-monzonito porfírico, com enclaves máficos; 1B – Área de maior ocorrência de enclaves lamprofíricos; 1C - Hornblenda biotita monzogranito; 1D – Outros granitos; 1E – Rochas metassedimentares do Grupo Macururé; 1F – Foliação com mergulho medido; 1G - Lineamentos fotointerpretados; 1H – Foliação magmática.

colocação da associação shoshonítica-ultrapotássica Serra do Catu se deu durante um evento transtensional (610 - 590 Ma), que ocorreu nos estágios finais da orogenia brasileira na BP.

3. STOCK QUARTZO-MONZONÍTICO GLÓRIA NORTE

O Stock Glória Norte (GNS), com 45km², é uma intrusão pós-colisional, presente na parte central do MD (Figura 2), com idade de cristalização U-Pb_{SHRIMP} de 588 ± 5 Ma de (Lisboa et al. 2019).

O GNS se destaca das demais intrusões do MD pela abundância e diversidade de enclaves. Identificou-se neste *stock* a presença de três grupos de enclaves (máfico microgranular, lamprofirico e cumulático). Em vários dos afloramentos visitados os MME elipsoides mostram-se orientados por fluxo magmático (Lisboa, 2014).

O GNS é constituído por quartzo-monzonitos e monzogranitos shoshoníticos (alto K₂O; somatório dos álcalis maior que 5%; razão K₂O/Na₂O > 1.22 e altos conteúdos de Ba e Sr). O enriquecimento em LREE e as relações entre Ta, Yb e Th sugerem que o magma parental do GNS foi produzido a partir da fusão de um manto metassomatizado (Lisboa et al. 2019).

4. AMOSTRAGEM E MÉTODOS ANALÍTICOS

Neste estudo são utilizadas amostras que correspondem a enclaves sem evidências de alteração e de cor preta a cinza escura. Na preparação física das amostras para as análises geoquímica utilizou-se unicamente a parte central dos enclaves e com isso espera-se evitar contaminação resultante da interação entre o magma máfico e o quartzo-monzonito encaixante. Os xenocristais presentes em alguns enclaves foram extraídos manualmente, de forma a assegurar que os dados químicos obtidos correspondessem à composição original do magma máfico.

Foram adquiridos dados geoquímicos de oito amostras representativas dos MME do Stock Glória Norte. Os dados dos elementos maiores foram obtidos a partir dos métodos de Fluorescência de Raios-X, no Laboratório de Fluorescência de Raios-X do CLGeo-UFS (Condomínio dos Laboratórios Multiusuários das Geociências da Universidade Federal de Sergipe); e por Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES), nos laboratórios comerciais Acme Analytical Laboratories Ltda. e ALS Laboratories. Os elementos menores e traços foram dosados por Inductively Coupled

Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) no Acme Analytical Laboratories Ltda. e no ALS Laboratories.

5. GEOLOGIA E PETROGRAFIA DOS ENCLAVES

Os enclaves máficos microgranulares estudados têm boa distribuição no GNS. Eles apresentam cores variando de preta a cinza (Figura 3A), possuem granulação fina, fazem contatos gradacional ou bem demarcado com os quartzo-monzonitos encaixantes (Figura 3B). Com frequência observa-se nos enclaves a diminuição do tamanho dos cristais em direção à bordas (Figura 4A), onde tem-se aumento do volume de biotita e anfibólio (Figuras 3C e 3D). A granulação menor nas bordas dos enclaves indica resfriamento rápido, devido ao contraste de temperatura com o magma félsico encaixante (Barbarin & Didier, 1991; Donaire et al. 2005).

A forma dos enclaves varia de arredondada a elipsoidal, onde o eixo maior orienta-se ao fluxo magmático (Figura 3E). Os tamanhos do eixo maior dos MME variam de 3-25cm. Com frequência observa-se no interior destes enclaves xenocristais centimétricos de feldspato alcalino (Figura 3F). A existência destes cristais nos enclaves indica a coexistência e a interação dos enclaves com o quartzo-monzonito, (Babarin & Didier, 1991).

Os MME exibem textura equigranular fina a média, ocasionalmente porfírica com presença de fenocristais de biotita e/ou anfibólio (Figura 5). A mineralogia essencial é composta por anfibólio, biotita, plagioclásio (oligoclásio e andesina), feldspato alcalino e diopsídio, como minerais acessórios tem-se epidoto, titanita, apatita, zircão e minerais opacos. O quartzo é ausente ou com volume máximo de 5% na maioria dos enclaves.

Os cristais de feldspato alcalino peritítico são subédricos e anédricos, apresentam zoneamento composicional múltiplo. O plagioclásio é anédrico e faz contato irregular com a maioria das fases minerais da rocha. Apresenta zoneamento composicional pronunciado e texturas antiperitítica e mirmequítica.

Cristais euédricos e subédricos de biotita mostram-se orientados segundo a direção do fluxo magmático, associam-se com cristais de anfibólio e titanita e possuem inclusões de minerais opacos. O anfibólio verde ocorre em agregado juntamente com a biotita, mostrando contatos reentrantes, ou como cristais subédricos isolados. Nas bordas de alguns cristais nota-se a formação de um anfibólio incolor. O diopsídio é anédrico, exhibe textura de corrosão, vermículas de quartzo, parcialmente ou totalmente transformado para

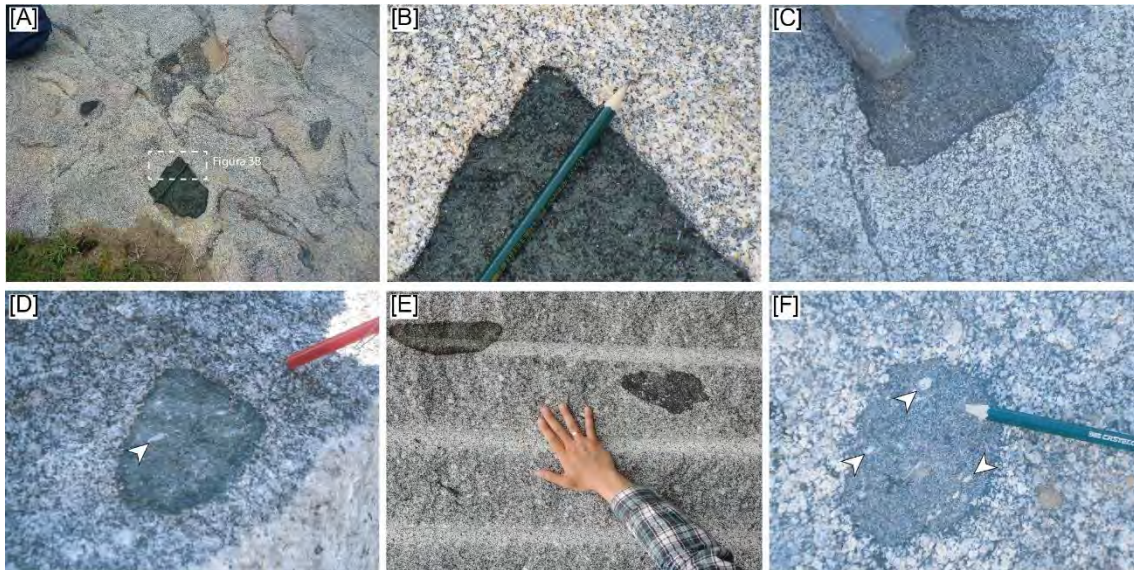


Figura 3: Aspectos de campo dos MME estudados. [A] Enclaves máficos microgranulares com formato elipsoidal e alongados, de cor preta a cinza e tamanhos centimétricos a decimétricos; [B] Detalhe do contato bem definido entre o enclave e o quartzo-monzonito encaixante; [C] MME de coloração escura e granulação mais fina que a encaixante. Notar a existência de uma coroa composta por anfibólio e biotita na região de contato com o quartzo-monzonito; [D] Enclave múltiplo no quartzo-monzonito porfirítico. Observa-se a presença de coroa de anfibólio e biotita (verde escuro) e um centro onde domina diopsídio (verde claro). Nessa região tem-se xenocristais de feldspato (seta branca); [E] Enclaves com formato alongado, orientados paralelos à direção do fluxo magmático; [F] - Enclave máfico microgranular com xenocristais de feldspato alcalino ou plagioclásio (seta branca) interpretados como proveniente do quartzo-monzonito encaixante.

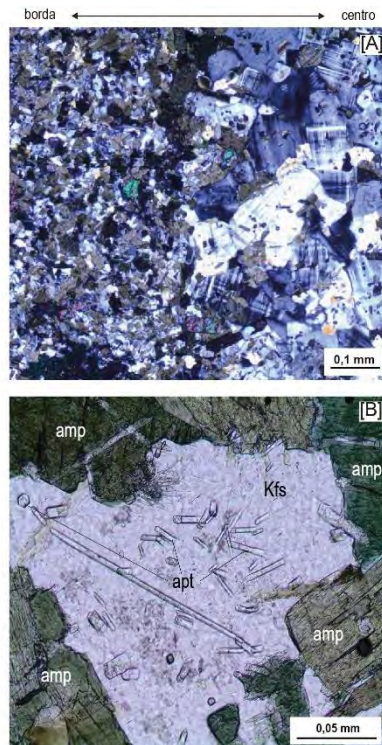


Figura 4: Aspectos microscópicos dos MME estudados. [A] Fotomicrografia da região de borda dos MME, onde se observa a diminuição da granulação dos cristais em direção à borda (composta essencialmente por biotita e anfibólio); [B] Cristais aciculares de apatita inclusos no feldspato alcalino. Amp – anfibólio; bt – biotita; Kfs – feldspato alcalino; apt – apatita.

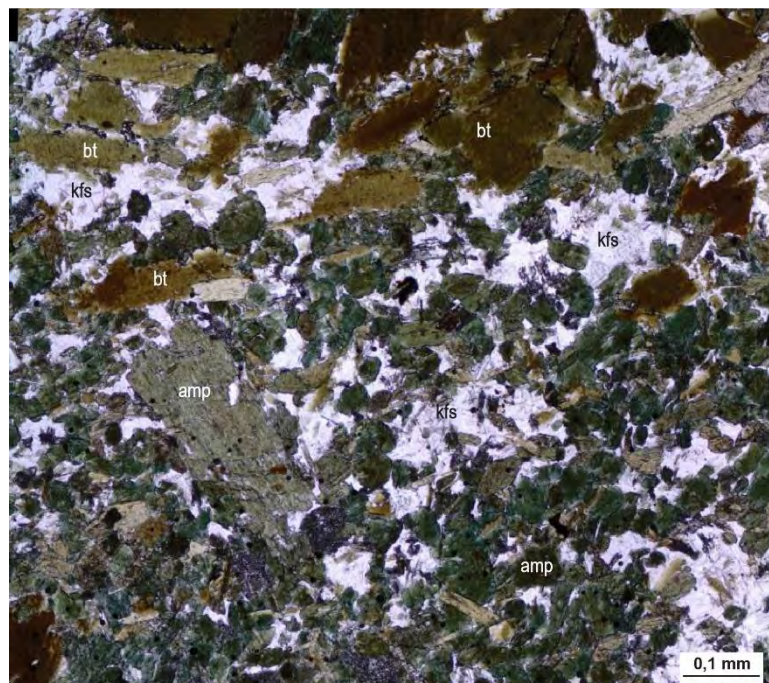


Figura 5: Textura representativa dos enclaves máficos microgranulares do Stock Glória Norte, com textura porfirítica, com fenocristais de anfibólio e biotita imersos numa matriz equigranular fina a média.

anfíbólio, neste caso eles estão associados com titanita e minerais opacos, indicando que a reação ocorreu em condições de aumento de fO_2 .

Ao microscópio percebe-se feições indicativas da coexistência entre um magma máfico e outro félsico. A interação entre líquidos máficos a intermediários com magmas félsicos, mais frios e em processo de cristalização podem resultar em diversas texturas de *mixing* e/ou *mingling* (Barbarin & Didier, 1991; Hibbard, 1991; Baxter & Feely, 2002). Nas rochas estudadas observou-se texturas que representam esses processos de mistura, por exemplo: cristais de apatita aciculares (Figura 4B); feldspato rico em inclusões de minerais máficos; agregados de minerais máficos formados, principalmente, por clinopiroxênio, anfíbólio, biotita e minerais opacos, além de cristais com evidências de corrosão e/ou reabsorção.

6. GEOQUÍMICA

As análises químicas dos MME estão apresentadas na tabela 1. Com base na classificação química de Le Bas et al. (1986) as amostras estudadas correspondem a tefritos/basanitos, shoshonitos, latitos e traquitos (Figura 6a). O potássio é elevado K_2O (entre 3.26% e 8.79%), MgO (3.43% – 9.91%), conteúdo moderado de Al_2O_3 (12.11% - 14.21%), baixo a moderado de FeO_T (6.19% – 14.53%) e CaO (2.43% - 7.51%). O conteúdo de SiO_2 varia entre 45.14% e 63.69%, Ni e Cr são maiores que 37ppm e 220ppm, respectivamente.

Assim como as rochas do GNS, os MME também apresentam conteúdos elevados de álcalis ($6.60\% < Na_2O + K_2O < 10.42\%$), razões K_2O/Na_2O variando de 0.86 e 6.88 (>2 na maioria das amostras) e K_2O/Al_2O_3 entre 0.30 e 0.60. O índice de agapaicidade (molar $K_2O + Na_2O/Al_2O_3$) e $Mg\#$ variam, respectivamente, de 0.63 a 0.86, e de 0.33 a 0.41.

As composições normativas (Tabela 2) e a relação entre álcalis *versus* sílica sugerem que estas rochas estão próximas ao limite entre as rochas saturadas e sub-saturadas em sílica, com uma amostra (FDS-3B) apresentando nefelina normativa (0.53%). O $K_2O > 3\%$, $MgO > 3\%$ e da razão $K_2O/Na_2O > 2$ permitem classificar estes enclaves como ultrapotássicos (Figura 6b; Foley et al. 1987; Foley & Peccerillo 1992).

Um esquema para classificar as rochas ultrapotássicas, com base no conteúdo de elementos maiores, foi proposto por Foley et al. (1987). Em particular, no diagrama CaO *versus* Al_2O_3 , se propõe a distinguir quatro grupos: lamproito (empobrecidos em Ca e Al), kamafugito (empobrecido em Al e rico em Ca), e as rochas ultrapotássicas da Província Romana (enriquecidas em Ca e Al). O grupo IV reúne rochas com características comuns

Tabela 1. Análises químicas de amostras representativas dos MME

Sample	3B	12B ₂	12B ₁	3F	3J	3N	3U	12B ₄
SiO ₂	45.14	45.22	47.84	50.01	53.25	58.27	60.84	63.69
Al ₂ O ₃	13.25	12.35	13.68	12.58	12.11	13.71	14.21	13.83
CaO	7.51	7.00	6.47	7.30	6.77	5.55	2.67	2.43
Na ₂ O	2.10	1.32	2.36	1.78	1.06	3.12	1.63	3.80
K ₂ O	4.50	5.34	4.49	5.94	7.28	4.09	8.79	3.26
TiO ₂	1.51	1.38	1.47	0.86	1.03	0.93	0.62	0.95
Fe ₂ O ₃	14.12	14.53	13.17	12.15	10.69	8.45	6.19	7.05
MnO	0.23	0.24	0.21	0.19	0.17	0.12	0.07	0.08
MgO	8.56	9.91	7.96	6.80	6.96	4.97	3.43	3.43
P ₂ O ₅	1.10	0.98	0.60	0.81	1.30	0.53	0.57	0.19
LOI	1.50	1.20	1.20	1.16		0.89	0.74	1.29
Total	98.02	98.27	98.25	98.41	100.63	99.75	99.03	98.71
V	274.0	247.0	249.0	201.0	163.0	155.0	93.0	138.0
Ni	37.70	48.30	48.30					64.70
Cr	510	950	640	510	60	370	310	220
Ba	724	856	705	1450	1505	1010	2190	388
Rb	251.2	320.6	262.9	201.0	259.0	168.5	312.0	388.0
Sr	244.5	176.5	273.3	346.0	313.0	444.0	518.0	367.7
Y	34.6	19.0	30.0	19.1	22.0	23.9	10.1	22.3
Zr	424.8	321.2	307.8	233.0	307.0	246.0	239.0	203.0
Nb	20.1	8.8	15.3	14.9	9.5	16.9	7.4	7.8
Th	15.1	26.5	23.4	16.3	28.7	18.1	13.2	6.2
U	4.90	2.50	3.80	3.10	3.51	3.03	2.67	1.90
Ga	30.7	29.7	28.1	27.6	21.1	23.8	21.8	16.0
Sn	7.0	5.0	6.0	7.0	4.0	6.0	3.0	2.0
Ta	1.1	0.3	0.8	0.8	0.5	1.0	0.5	0.5
Hf	12.6	9.9	9.4	7.1	9.8	7.2	6.8	5.9
Pb	3.7	2.9	4.3					3.2
Cs	9.80	12.90	11.00	6.71	8.08	7.08	9.72	9.20
La	35.6	51.8	53.5	34.9	71.2	56.7	36.7	23.9
Ce	95.8	102.7	115.60	80.00	145.00	114.00	69.60	51.70
Pr	13.60	11.6	13.74	8.88	15.75	12.35	6.99	6.09
Nd	60.8	44.4	56.80	37.70	62.20	50.90	26.40	25.50
Sm	12.41	7.42	10.66	7.96	12.00	9.97	4.21	4.23
Eu	2.54	1.40	2.06	1.51	1.71	1.85	0.72	0.76
Gd	9.84	5.79	8.25	5.35	8.27	7.10	2.78	4.39
Tb	1.41	0.77	1.21	0.66	1.03	0.81	0.30	0.75
Dy	6.69	3.35	5.97	3.68	5.42	4.82	1.72	4.10
Ho	1.18	0.63	1.04	0.67	0.90	0.81	0.29	0.81
Er	3.12	1.75	2.89	1.81	2.58	1.93	0.96	2.27
Tm	0.44	0.24	0.42	0.28	0.31	0.32	0.16	0.34
Yb	3.03	1.58	2.68	1.76	1.92	1.92	0.86	2.08
Lu	0.42	0.25	0.39	0.27	0.32	0.28	0.15	0.30
ΣREE	246.88	275.21	233.68	185.43	328.61	267.76	151.84	127.72
K ₂ O+Na ₂ O	6.60	6.66	6.85	7.72	8.34	7.21	10.42	7.06
K ₂ O/Na ₂ O	2.14	4.05	1.90	3.33	6.88	1.31	5.41	0.86
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0.34	0.43	0.33	0.47	0.60	0.30	0.32	0.24
A/CKN*	0.60	0.59	0.66	0.55	0.55	0.69	0.83	0.97
Mg#	0.38	0.41	0.38	0.36	0.39	0.37	0.36	0.33
La _N /Sm _N **	1.76	3.09	4.29	2.70	3.65	3.50	5.36	3.11
Ce _N /Yb _N **	8.04	16.53	10.97	11.56	19.21	15.10	20.58	6.34
Eu/Eu**	0.71	0.66	0.68	0.71	0.53	0.68	0.65	0.51
Nb/U	4.10	3.52	4.03	4.81	2.71	5.58	2.77	4.11
Rb/Nb	12.50	36.43	17.18	13.49	27.26	9.97	42.16	29.67
Lu/Yb	0.14	0.15	0.16	0.15	0.17	0.15	0.17	0.14

*A/CNK foi obtida a partir da divisão Al₂O₃/CaO+K₂O+Na₂O** As razões La_N/Sm_N, Ce_N/Yb_N e Eu/Eu foram normalizadas pelo condrito de Nakamura (1974).

Tabela 2. Composição normativa dos MME estudados

Sample	3B	12B ₂	12B ₁	3F	3J	3N	3U	12B ₄
Quartz					1.95	9.41	9.39	19.33
Corundun								0.08
Orthoclase	26.59	31.55	26.35	35.09	43.03	24.19	51.95	19.26
Albite	16.77	11.16	19.97	15.08	8.96	26.93	13.75	32.15
Anorthite	13.43	12.00	13.47	8.78	6.78	11.32	5.50	10.81
Nepheline	0.53							
Diopside	9.55	9.69	8.10	15.48	11.99	7.75	1.63	
Hypersthene			2.94	3.72	11.78	8.78	7.79	8.54
Olivine	11.83	14.14	9.20	4.22				
Ilmenite	0.49	0.51	0.44	0.40	0.36	0.25	0.59	0.17
Hematite	14.12	14.53	13.17	12.14	10.69	8.44	6.19	7.05
Sphene		1.63	3.02	1.60	2.06	1.95	1.32	
Perovskite	2.13	0.75						
Rutile								0.86
Apatite	2.60	2.32	1.42	1.90	3.07	1.26	1.35	0.45
Total	98.08	98.33	98.29	94.46	100.70	99.78	99.06	98.73

aos três outros grupos, sendo interpretadas como magmas ultrapotássicos que interagiram com líquidos crustais. As rochas estudadas se posicionam, em diversos diagramas, nos campos ocupados pelas rochas do grupo IV (Figura 7A), I e III (Figuras 7B e 7C). O posicionamento em mais de um campo nesses diagramas é descrito em vários trabalhos (e.g. Plá Cid et al. 2006; Prelević et al. 2012; Ersoy et al. 2014; Fontes et al. 2018), e pode representar a contaminação de magmas do Grupo I com a crosta continental ou com um magma traquítico.

No diagrama multielementar obtido para os MME (Figura 8a) estas rochas exibem enriquecimento nos LILE (*large ion lithophile elements*) e LREE (*light-rare-earth elements*), e baixos valores de HFSE (*high-field-strength elements*). Esse padrão é típico de magmas produzidos a partir da fusão parcial de fontes mantélicas, previamente modificadas por processos metassomáticos associados à subducção (Ringwood, 1990; Foley, 1992). Harrison (1981) evidencia que líquidos enriquecidos em LREE não podem ser formados a partir da fusão direta do manto primitivo, sendo necessário um enriquecimento prévio, em elementos litófilos, desta fonte.

Os conteúdos de elementos traços nas amostras estudadas são bastante similares à média das rochas ultrapotássicas da Província Romana (Grupo III). Vale destacar que assim como as rochas do grupo I (Leucite Hills) e III (Roman Province), os MME estudados apresentam vales pronunciados em Ta e Nb (figura 8b). As anomalias negativas de Nb, Ta e Ti observadas são características de magmas relacionados à subducção (Ringwood, 1990).

O padrão dos elementos terras raras (ETR) dos MME mostra fracionamento dos LREE em relação aos HREE (Figura 8c), com razão Ce_N/Yb_N entre 6.34 – 20.58, os LREE se mostram levemente fracionados ($1.76 < La_N/Sm_N < 5.36$). As anomalias negativas de Eu são bem marcadas, variando entre 0.51 e 0.71.

Os valores elevados de MgO e K₂O, e baixos em CaO, Na₂O e FeO_t, em relação às rochas alcalinas basálticas, sugerem que os MME pertençam a um grupo de rochas com afinidade lamproítica (Foley et al. 1987). Entretanto, o caráter peralcalino, típico dos lamproítos, não foi observado nos enclaves estudados. A textura levemente porfirítica observada em algumas rochas e a presença de feldspatos somente na matriz são critérios utilizados por Le Maître (2002) para definir as rochas do grupo dos lamprófiros. Utilizando-se das relações propostas por Cornelissen and Verwoerd (1975), figuras 9a e 9b, nota-se uma sobreposição das amostras estudadas nos campos dos lamproítos e

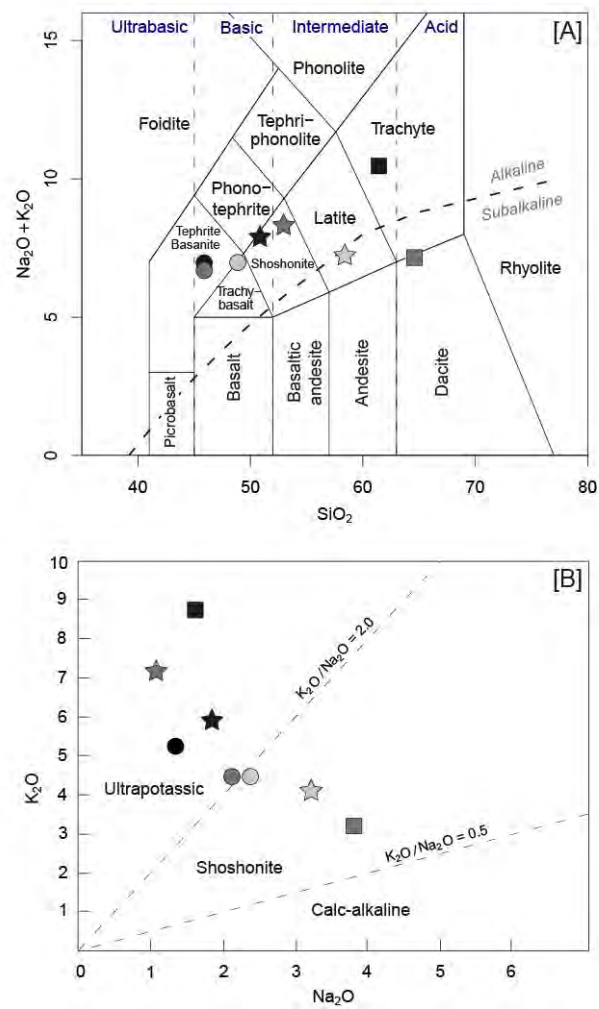


Figura 6: Diagramas geoquímicos aplicado aos enclaves do Stock Glória Norte. [A] Diagrama TAS aplicado para as amostras, com limites dos campos definidos segundo Le Bas et al. (1986); [B] Diagrama Na_2O (wt%) versus K_2O (wt%) de Turner et al. 1996 com os campos das rochas ultrapotássicas, shoshoníticas e cálcio-alcalinas.

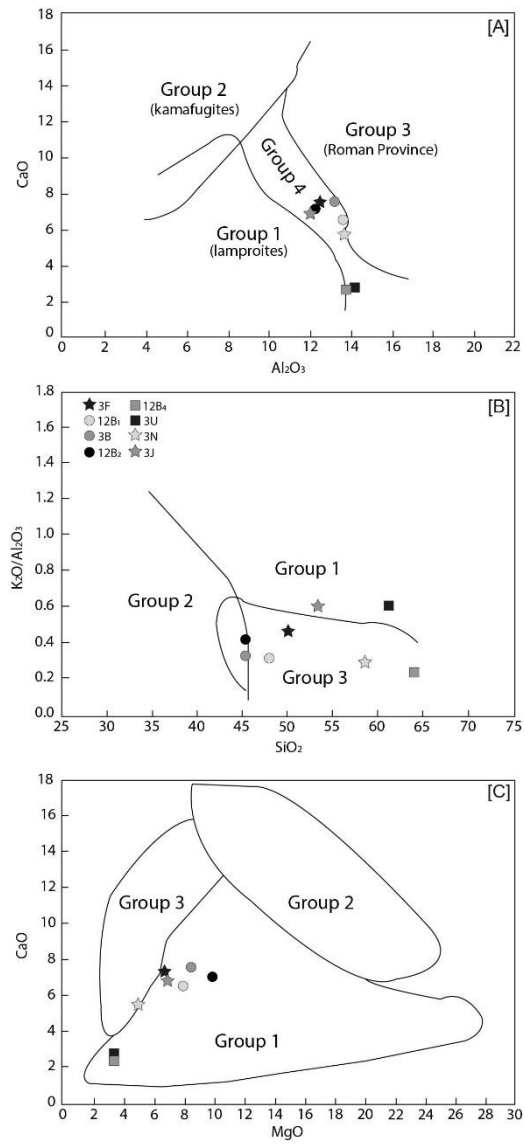


Figura 7: Diagramas para a classificação de rochas ultrapotássicas propostos por Foley et al. (1987) aplicados aos MME estudados.

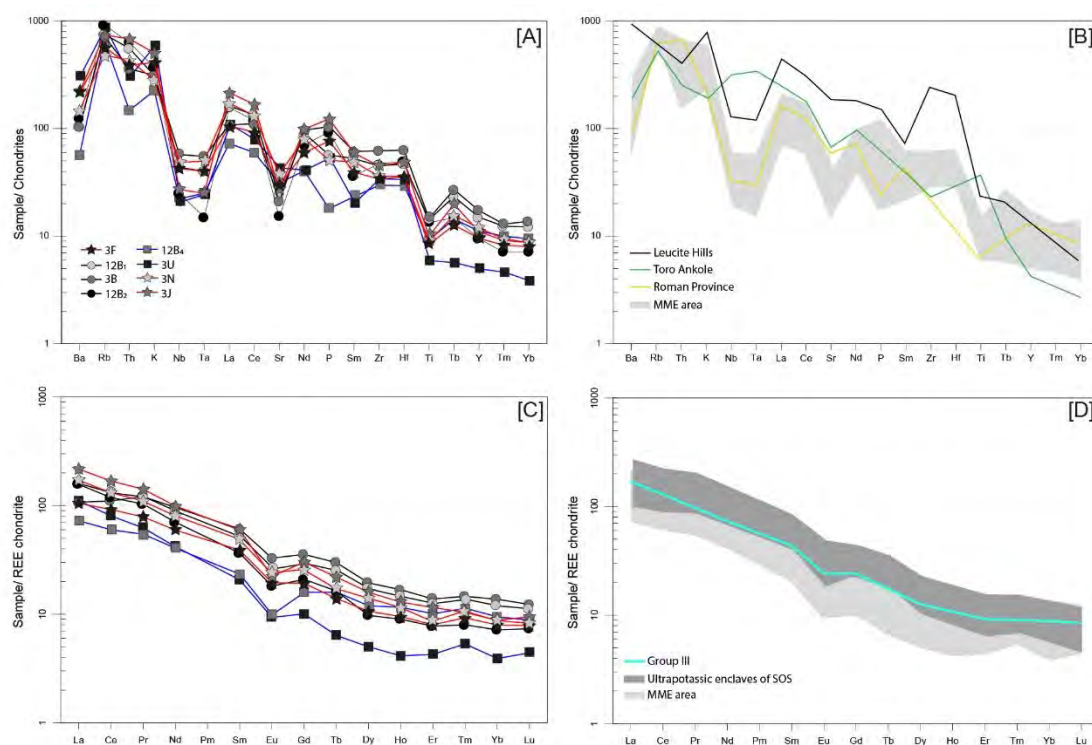


Figura 8: [A e B] Diagramas multielementares normalizados para o condrito de Thompson (1982), aplicado aos enclaves estudados. As composições médias para as rochas ultrapotássicas de Leucita Hills, Toro Ankole e da Província Romana foram obtidas a partir dos trabalhos de Mitchel and Bergman (1991), Foley et al. (2011) e Prelević et al. (2008), respectivamente; [C e D] Espectro ETR normalizado pelo condrito de Nakamura (1974) para os MME estudados. A razão Eu/Eu^* foi normalizada pelo condrito de Nakamura (1974). O padrão terra-rara para os enclaves ultrapotássicos do SOS foi obtido a partir dos trabalhos de Gentil (2013 – Plúton Curitiba), Oliveira (2014 – Stock Monte Alegre), Conceição et al. (2016 – Stock Glória Sul) e Fernandes (2019 – Stock Fazenda Lagoas). O padrão representando a composição média das rochas ultrapotássicas do grupo III foi retirado de Foley et al. (1987).

lamprófiros, esse comportamento também é observado para os minettes descritos em diversos trabalhos (e.g. Rock 1991; Prelević et al. 2004; Fontes et al. 2018).

7. DISCUSSÕES

7.1 – Afinidade Geoquímica dos MME

As amostras de MME mais primitivas possuem valores de SiO₂ entre 45 - 53%, MgO 6.9 - 8.5%, Cr 510 - 950ppm. As razões LILE/HFSE são altas e os conteúdos de Cs, Rb e Ba são maiores que os do manto primitivo (Figura 10A). Os vales e picos são similares aos observados nos minettes, descritos por Prelević et al. (2004), e aos lamproítos da Província de Murcia-Almeria (Figura 10B). Rock (1991) destaca a similaridade química existente entre os minettes e os lamproítos da Espanha. Mitchell & Bergman (1991) destacam o padrão geoquímico “anômalo” dos lamproítos de Murcia-Almeria (LMA), muitas vezes similares aos observados para as rochas ultrapotássicas do Grupo III e para os lamprófiros cálcio-alcálicos, em especial os minettes.

Os LMA diferem dos lamproítos das demais províncias (e.g. Leucita Hills) por apresentarem valores mais baixos de Ba, e mais altos de Th e U, relativos ao K. Marcantes anomalias negativas de Nb, Sr e Ti são características destes lamproítos (Wilson, 1989; Mitchell and Bergman, 1991). A origem dos LMA é discutida por diversos autores (e.g. Nelson et al. 1986; Turner et al. 1999; Conticelli et al. 2009), sendo consenso entre eles que os lamproítos de Murcia-Almeria representam magmas primários de origem mantélica.

Os MME mais evoluídos do SGN possuem conteúdo de SiO₂ > 58%, 3.4% < MgO < 4.9% e conteúdos de Cr sempre inferiores a 370 ppm. Os valores de titânio são sempre baixos (0.62% < TiO₂ < 0.95%). O enriquecimento em Ba, Rb e Cs, observado nos MME mais evoluídos, é cerca de 100 vezes o valor do manto primitivo (Figura 10C). O conteúdo de ETR e as anomalias negativas importantes de Sr são correlacionáveis aos leucominettes da Sérvia e aos lamproítos ricos em sílica da região do Mediterrâneo (Figura 10D). A gênese dessas rochas está relacionada a hibridização entre reservatórios mantélicos e crustais (e.g. Venturelli et al. 1984; Conticelli and Peccerillo, 1992; Conticelli, 1998; Prelević et al. 2004).

7.2 – Contaminação crustal

Interação entre reservatórios crustais e mantélicos pode ocorrer pela adição de material crustal no manto via subducção e/ou por assimilação de rochas crustais durante a ascensão de magmas mantélicos através da crosta (Conticelli and Peccerillo, 1992).

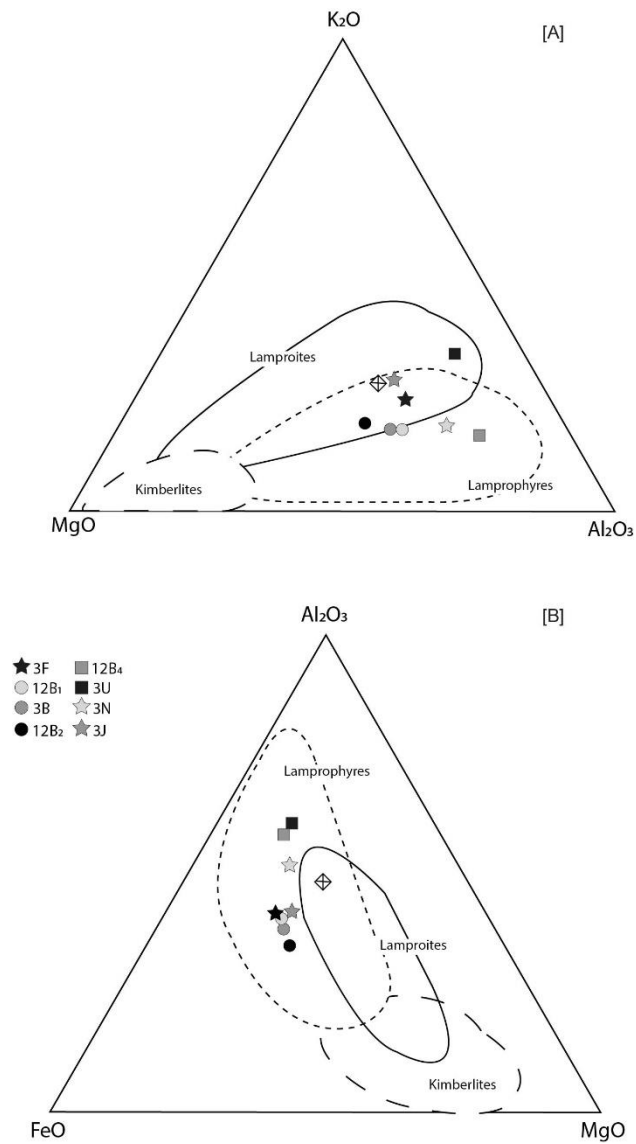


Figura 9: Diagramas com as composições de lamproítos, lamprófiros e kimberlitos projetados nos diagramas ternários [A] - Al₂O₃-MgO-FeO; e [B] - K₂O-Al₂O₃-MgO. O losango representa a composição média dos minettes de Rock (1991).

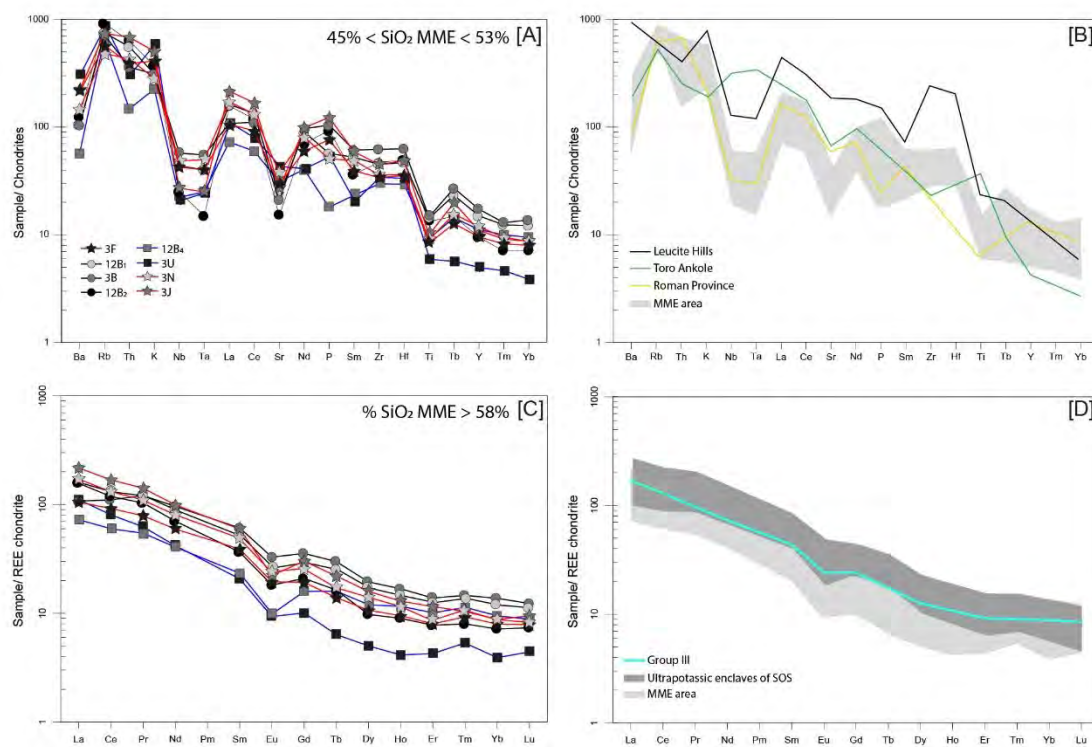


Figura 10: Diagrama multielementar para os MME do Stock Glória Norte, normalizado pelo manto primordial de Wood et al. (1979) [A e C]. [B] As composições médias para os lamproítos de Murcia-Almeria e para os minettes, foram obtidas dos trabalhos de Conticelli et al. (2009) e Prelević et al. (2004), respectivamente; [D] O padrão ETR dos leucominettes foi retirado do trabalho de Prelević et al. (2004). O espectro terra-rara para os lamproítos ricos em sílica foi obtido a partir dos trabalhos de Venturelli et al. (1984) e Conticelli and Peccerilo (1992).

Para as rochas ultrapotássicas, Conticelli (1998) demonstrou que os principais efeitos da contaminação por componentes crustais seria a diluição da concentração de elementos compatíveis e incompatíveis com aumento do grau de assimilação, isto ocorreria, segundo este autor, porque as concentrações desses elementos são menores nas rochas crustais.

A contaminação de magmas derivados do manto por material de origem crustal resulta em anomalias negativas em Ta e Nb e positivas em Zr e Hf (Pandey et al 2018). Nas rochas estudadas, a ausência de anomalias positivas significativas de Zr e Hf sugere que a contaminação com as rochas da crosta não ocorreu de forma expressiva. Esta hipótese é suportada quando se observa que razões entre elementos traços sensíveis a contaminação crustal (e.g. Rb/Nb) permanecem relativamente constantes com aumento da sílica.

Os vales em Ta e Nb, observados nos MME estudados, provavelmente refletem a assinatura da fonte, visto que os termos mais primitivos já se mostram empobrecidos nesses elementos. Estas depleções possivelmente estão relacionadas a um componente de subducção herdado (Pearce, 1983).

A razão Nb/U é sensível ao processo de contaminação crustal, e juntamente com o SiO₂ mostrariam uma boa correlação negativa caso esse processo ocorresse de forma importante (Rudnick and Gao, 2003; Pandey et al. 2018). Nas amostras estudadas a correlação da razão (r^2) Nb/U com SiO₂ é de 0.0009. O que sugere um papel limitado da contaminação crustal no controle do comportamento dos elementos traço dos enclaves máficos estudados.

Baixas razões HREE (e.g. $0.14 < \text{Lu/Yb} < 0.16$) indicam origem mantélica (Sun and McDonough, 1989), enquanto que altas razões Lu/Yb (> 0.18) podem indicar algum envolvimento crustal. As baixas razões Lu/Yb observadas nos enclaves sugerem derivação mantélica. Além disso, a natureza primitiva dos MME e o seu elevado conteúdo de LREE, cerca de 10 vezes o observado na crosta, mostram que a assimilação de material crustal não afeta de forma significativa o conteúdo de LREE dessas rochas.

7.3 – Natureza da fonte mantélica

É consenso que magmas potássicos/ultrapotássicos não podem ser formados a partir da fusão de um manto usual (Foley et al. 1987; 1992), mas sim, de um manto enriquecido em potássio e em elementos incompatíveis. O processo de fusão de um manto litosférico sub-continental metassomatizado no Nordeste do Brasil é descrito por diversos autores (e.g. Guimarães et al. 1993; Hollanda et al. 2003; Silva Filho et al. 2013) para explicar a

gênese de diversos corpos ricos em potássio nas sub-províncias Central e Meridional da Província Borborema (BP).

Hollanda et al. (2003) sugerem um importante evento metassomático, rico em potássio, no manto litosférico durante o Paleoproterozóico (ca. 2.15 Ga) na BP. Para estes autores este evento é o responsável por produzir magmas ricos em potássio durante o ciclo Brasileiro, no Neoproterozóico, período no qual ocorreram eventos de fusão parcial desta fonte enriquecida.

A relação entre HFSE/LREE (e.g. Nb/La) é útil na identificação da fonte mantélica (Smith et al. 1999). Os baixos valores Nb/La observados nos MME são condizentes com derivação a partir de um manto litosférico (Figura 11A). Magma gerados a partir do manto litosférico enriquecido possuem altas concentrações de LILE (e.g. Sr e Ba) e LREE (e.g. La e Ce), e baixos valores de Nb, Ta, Zr e Ti (Smith et al. 1999; Pandey et al. 2017).

O metassomatismo do manto pode gerar fases hidratadas em regiões próximas a placa subductada, formando *pods* ou veios enriquecidos que ao sofrerem o processo de fusão parcial e podem originar magmas alcalinos de composições incomuns (Foley, 1992). O caráter potássico/ultrapotássico desses magmas alcalinos pode ser resultado da presença de alguma fase residual rica em potássio na fonte mantélica (Foley, 1992; Conceição and Green, 2004; Förster et al. 2017). Anfibólio e flogopita são as principais fases hospedeiras de K, Rb e Ba no manto, sendo o Ba e Rb muito mais compatíveis com a mica (Class and Goldstein, 1997). Desta forma, magmas cuja fonte possua flogopita residual terão razões Rb/Sr mais elevadas e valores menores da razão Ba/Rb.

A razão Rb/Sr nas amostras estudadas varia de 0.62 a 1.81, bem mais elevadas que a do manto primitivo (0.03; Sun and McDonough, 1989) indicando a presença de flogopita como fase residual (Figura 11B).

O conteúdo da razão Th/Yb (3.0 – 16.8) nas amostras estudadas são sempre maiores que os do manto (0.17; Sun and McDonough, 1989), evidenciando a adição de material, via subducção, a fonte mantélica. Esses valores são comparáveis aos das rochas ultrapotássicas do grupo III, sobrepondo-se, em parte, ao campo dos magmas gerados em margens continentais ativas (Figura 11C).

A modificação do manto durante a subducção pode ocorrer através dos fluidos originados a partir da fusão da própria placa oceânica obductada ou pelos sedimentos que acompanham a subducção (Woodhead et al. 1998). As baixas razões Sr/Nb, observadas nos enclaves estudados, são características da adição de sedimentos à cunha mantélica (Figura 11D).

7.4 – Petrogênese

A Figura 12 mostra a variação dos principais óxidos causadas pela diferenciação ou fracionamento de algumas fases minerais. A razão $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ permanece constante inicialmente, e decresce rapidamente sugerindo o fracionamento de olivina seguido do clinopiroxênio (Figura 12A). Os valores de Cr (220 – 950 ppm) e Ni (37 – 65 ppm) coadunam com o fracionamento precoce destes minerais. A concentração de Sr aumenta com a evolução do magma, indicando que não houve fracionamento importante de plagioclásio (Figura 12B), apesar de se observar anomalias negativas de Eu no padrão ETR normalizado pelo condrito.

Anomalias negativas em Eu têm sido, comumente, descritas em função do fracionamento do feldspato, sobretudo do plagioclásio. Entretanto, a anomalia de Eu também pode ser causada pela presença de flogopita na fonte (Nixon et al. 1984; Mitchel and Bergamn 1991; Toscani et al. 1995). As anomalias de Eu/Eu^* , observadas nos MME estudados, não estão relacionadas com o teor de MgO , não sendo portanto afetadas pela diferenciação, o que reforça a ideia de herança da fonte (Figura 8C).

O aumento da concentração de Sr no magma, portanto, pode indicar a retenção da apatita na fonte. Em magmas ultrapotássicos (lamproíticos e/ou lamprofíricos) esta fase mineral costuma se formar logo após a flogopita (Mitchel and Bergman, 1991) o que sugere estabilidade da apatita na fonte (Venturelli et al. 1988). A correlação negativa entre o Ce_N e o P_N mostra o fracionamento da apatita (Figura 8A). A variação do conteúdo de K_2O com a diferenciação (Figura 12C) indica o fracionamento de anfibólio (aumento de K_2O) e biotita (diminuição de K_2O).

7.4 – Ambiente Tectônica

Os magmas ricos em potássio podem ocorrer em diversos ambientes geodinâmicos, por exemplo, intraplaca, arcos de ilha, margens continentais ativas e em áreas pós-colisionais (Morrison 1980; Müller et al 1992; Liu et al. 2014; Müller and Groves, 2019). A associação lamproítos, lamprófiros e granitos cálcio-alcálicos e/ou shoshoníticos geralmente é descrita em regiões orogênicas (Conticelli et al. 2009). Os baixos conteúdos de TiO_2 (0.6 – 1.5) e razão Th/Nb variando entre 0.7 e 3.0, das amostras estudadas, são típicos de magmas que foram gerados em ambientes orogênicos.

Müller et al. (1992) propuseram vários diagramas discriminantes de ambientes tectônicos para rochas potássicas e ultrapotássicas. Para magmas gerados em ambientes orogênicos eles sugerem que o diagrama ternário $\text{TiO}_2/100 - \text{La} - 10^* \text{Hf}$ pode ser utilizado para distinguir entre ambientes de arco continentais (CAP+PAP) ou oceânicos

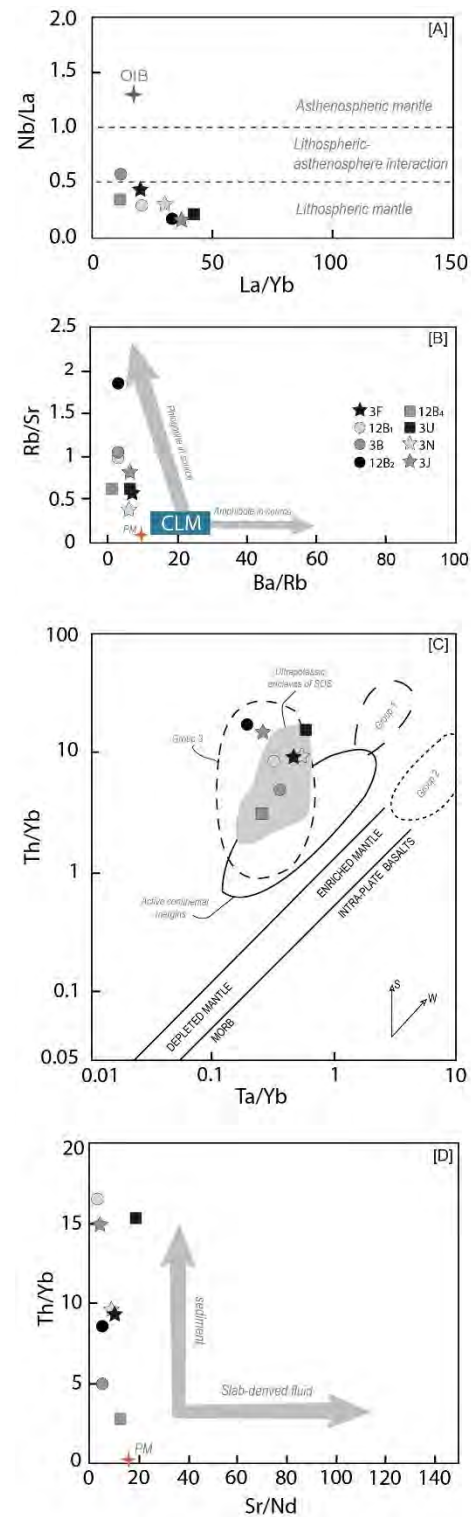


Figura 11: [A] Diagrama La/Yb versus Nb/La (Smith et al. 1999); [B] Diagrama Ba/Rb versus Rb/Sr (Furman and Graham, 1999), com campo do manto litosférico comum (CLM); [C] Diagrama Th/Yb versus Ta/Yb (Perace, 1983). A área em cinza corresponde aos enclaves ultrapotássicos do SOS; [D] Diagrama Sr/Nd versus Th/Yb de Woodhead et al. (1998). A composição média do manto primitivo (PM) e dos basaltos de ilhas oceânicas (OIB) foram retiradas de Sun and McDonough (1989).

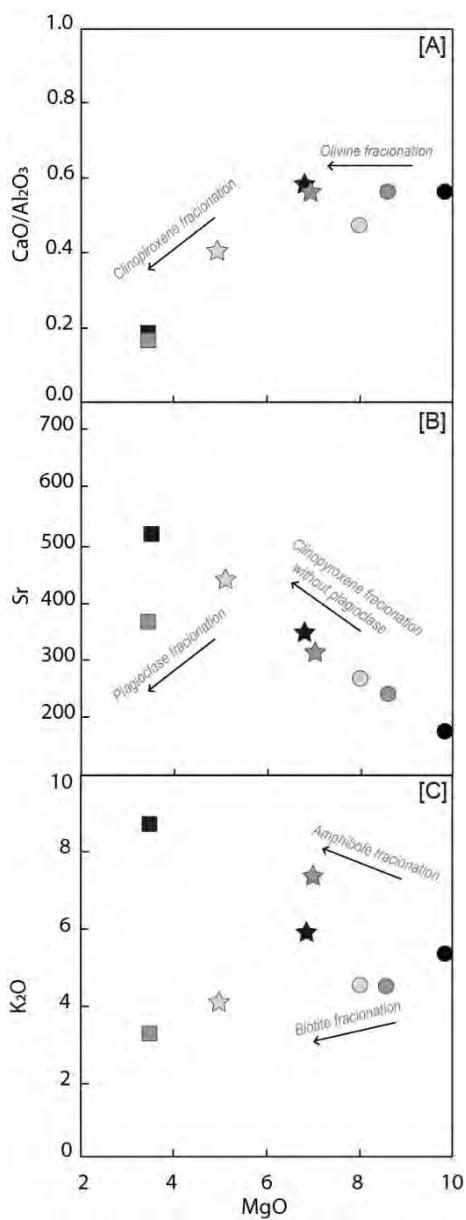


Figura 12: Tendências de fracionamento para os MME do GNS. [A] MgO vs CaO/Al₂O₃; [B] MgO vs Sr; [C] MgO vs K₂O.

(IOP+LOP). Todas as amostras estudadas plotam no campo CAP+PAP (Figura 13). A relação entre $Zr^3 - Nb^*50 - Ce/P_2O_5$ é útil na distinção entre os regimes pós-colisionais (PAP) e de Arco Continental (CAP). É possível notar que a maioria das amostras dos MME ocupam região destinada as rochas geradas num contexto pós-colisional (PAP).

A ocorrência de magmatismo ultrapotássico de ambiência pós-colisional é também descrita na Província Borborema por Silva Filho et al. (1993), e no sul do Brasil por Padilha et al. (2019). Para estes autores, esses magmas ultrapotássicos neoproterozóicos foram produzidos a partir de um manto metassomatizado.

7.5 – Contribuição dos magmas máfico-ultramáficos ultrapotássicos para o plutonismo do SOS

No Sub-domínio Macururé (MD), trabalhos realizados (e.g. Oliveira, 2014; Conceição et al. 2016; Fontes et al. 2018; Fernandes, 2019; Lisboa et al. 2019) detalham a ocorrência de enclaves máficos microgranulares nos diversos plútons do MD.

Os enclaves máficos no Stock Monte Alegre (621 Ma U-Pb SHRIMP; Rosa et al. 2017) mostram baixos conteúdos de SiO₂ (49.9% - 54.1%) e valores altos de MgO (> 7.1%), K₂O (> 5.1%) e LILE. A rocha menos evoluída do Stock Fazenda Lagoas (623 Ma U-Pb SHRIMP; Fernandes, 2019) mostra características similares com os enclaves do Stock Monte Alegre: baixo valor de SiO₂ (49.4%), alto MgO (> 6.6%), K₂O (> 5.7%) e LILE. O MME do Stock Glória Sul (626 Ma U-Pb SHRIMP; Rosa et al. 2017) apresenta, em relação aos demais, valores mais elevados de SiO₂ (59.4%) e K₂O (7%), e inferior de MgO (4.1%).

Na porção norte do SOS, no Sub-domínio Poço Redondo, Gentil (2013) descreve a presença de MME no Plúton Curitiba (624 Ma U-Pb SHRIMP; Lima, 2016), estes enclaves apresentam baixos conteúdos de SiO₂ (53% - 54%); altos valores de MgO (8.8% - 9.5%) e LILE, e K₂O variando entre 3.5% e 3.9%.

O valor da razão K₂O/Na₂O em todos esses enclaves é sempre maior que 2, atendendo aos critérios químicos estabelecidos por Foley et al. (1987) para as rochas ultrapotássicas. O padrão normalizado dessas rochas é similar ao observado nos enclaves ultrapotássicos do GNS, com enriquecimento em elementos incompatíveis (Figura 8d). A relação La vs Ce (Figura 14) sugere cogeneticidade entre esses magmas.

O padrão ETR e os valores das razões Th/Yb e Ta/Yb (figura 11C) são comparáveis ao das rochas ultrapotássicas do Grupo III definido por Foley et al. (1987). As rochas ultrapotássicas deste grupo são associadas, por diversos autores, com áreas orogênicas.

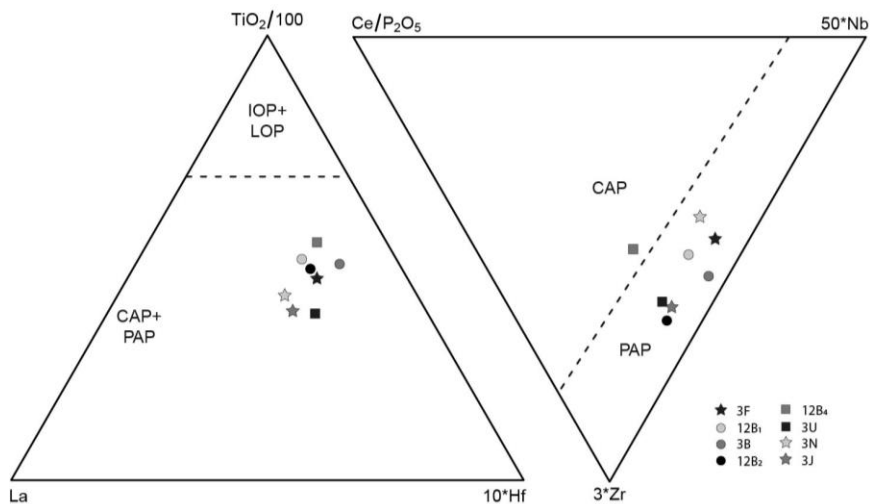


Figura 13: Diagramas de discriminação tectônica para rochas potássicas (Muller et al. 1992). IOP – Inicial oceanic arc; LOP – Late oceanic arc; CAP – Continental arc; PAP – Postcollisional arc.

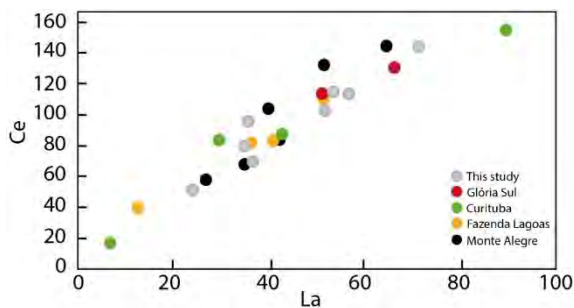


Figura 14: Diagrama La versus Ce para os enclaves ultrapotássicos do Sistema Orogênico Sergipano. As composições dos MME foram retiradas dos trabalhos de Conceição et al. (2016) – Stock Glória Sul; Gentil (2013) – Plúton Curitiba; Fernandes (2019) – Stock Fazenda Lagoas e Oliveira (2014) – Stock Monte Alegre.

A origem de rochas máficas muito ricas em potássio, relativamente enriquecidas em elementos “crustais” (Ba, Rb, Sr, Th), em combinação com altos conteúdos de Mg e Cr, pode ser explicada a partir da fusão parcial de região mantélica que tenha sido metassomaticamente modificada por fluidos derivados de material subductado. A distribuição das amostras estudadas na figura 11C sugere a influência de componentes relacionados à subducção na gênese destes MME.

De acordo com o modelo geotectônico proposto por Oliveira et al. (2010) para o SOS, a convergência entre o Cráton do São Francisco e o Domínio PE-AL ocorreu entre 630 e 617 Ma, levando a construção de um arco continental, slab break-off (slab-tearing no modelo de Oliveira et al. 2010) e a colocação de diversos corpos graníticos. Silva Filho et al. (2013) sugerem que a colocação de granitos ricos em potássio no Domínio PE-AL, entre 625 e 590 Ma, pode estar relacionada com o rompimento da placa subductada (slab break-off) durante a formação do SOS, conforme proposto por Oliveira et al. (2010).

Fontes et al. (2018) e Lisboa et al. (2019) também identificaram a influência do slab break-off na geração dos magmas shoshoníticos e ultrapotássicos que deram origem ao GNS e aos enclaves lamprofíricos encontrados neste plúton. A ascensão do manto astenosférico quente, responsável pela quebra da placa, pode gerar uma anomalia térmica suficiente para desencadear a fusão parcial do manto litosférico sub-continental. O que pode significar que durante a orogênese brasileira, no Neoproterozóico, magmas ultrapotássicos básicos e intermediários foram contemporâneos dos magmas graníticos. A idade dos plútons revela que a geração de magmas com afinidade ultrapotássica no SOS ocorreu por pelo menos 38 Ma (entre 626 e 588 Ma). E que, provavelmente, esses magmas tiveram um papel importante para a granitogênese deste período.

8. CONCLUSÕES

Os enclaves máficos ultrapotássicos do GNS possuem Mg# e concentrações de ETR comparáveis com magmas mantélicos, que sofreram pouco fracionamento. Os baixos valores de CaO, Na₂O e FeO_t, e o enriquecimento em LILE e LREE indicam afinidade geoquímica com lamprófiros cálcio-alcálicos ricos em K₂O (minettes) e lamproítos. A gênese desses magmas ricos em K pode ser explicada pela fusão de um manto previamente enriquecido. O fracionamento do K em relação ao Th e La, e as altas razões Rb/Sr nos MME estudados sugerem que a flogopita é estável na fonte, evidenciando o metassomatismo da fonte mantélica. Os baixos valores de Nb, Zr e TiO₂ dos MME estudados são típicos de magmas potássicos encontrados em regiões orogênicas, a

associação com o GNS, de afinidade shoshonítica, sugere uma ambiência pós-colisional para este magmatismo. A identificação de MME ultrapotássicos em vários outros plútons do SOS indica que a geração de magmas ultrapotássicos ocorreu entre 626 e 588 Ma.

BIBLIOGRAFIA

Barbarin, B., Didier, J. (1991). Macroscopic features of mafic microgranular enclaves. In: J. Didier, B. Barbarin (Eds.), *Enclaves and Granite Petrology: developments in petrology* (v. 13, 253-261). New York: Elsevier Science.

Baxter, S., & Feely, M. (2002). Magma mixing and mingling textures in granitoids: examples from the Galway Granite, Connemara, Ireland. *Mineralogy and Petrology*, 76(1-2), 63-74.

Brito Neves, B.B., Santos, E.J., Van Schmus, W.R., 2000. Tectonic history of the Borborema province. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic evolution of South- America*. Rio de Janeiro, pp. 151–182.

Brito, M. de F.L.de, Silva Filho, A.F., Guimaraes, I.P., 2009. Caracterizacao geoquimica e isotopica do batolito Serra do Catu e sua evolucao da interface dos domínios Sergipano e Pernambuco-Alagoas. *Provincia Borborema: Rev. Bras. Geociencias* 39, 324–337.

CAMBESES, Aitor; SCARROW, Jane H. Post-collisional interaction of lamproite mantle and dacite crustal magmas: a case study from the Neogene Volcanic Province, southeast Spain. In: *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 2013.

Cambese, A., Garcia-Casco, A., Scarrow, J. H., Montero, P., Pérez-Valera, L. A., & Bea, F. (2016). Mineralogical evidence for lamproite magma mixing and storage at mantle depths: Socovos fault lamproites, SE Spain. *Lithos*, 266, 182-201.

Class, C., & Goldstein, S. L. (1997). Plume-lithosphere interactions in the ocean basins: constraints from the source mineralogy. *Earth and Planetary Science Letters*, 150(3-4), 245-260.

Conceição J.A., Rosa M.L.S., Conceição H. 2016. Sienogranitos leucocráticos do Domínio Macururé, Sistema Orogênicos Sergipano, Nordeste do Brasil: Stock Glória Sul. *Brazilian Journal of Geology*, 46, 63-77.

Conceição, H., de Oliveira, O. M. C., Martin, H., Rosa, M. L. S., Conceição, R. V., & Cid, J. P. (1997). Petrologia do magmatismo alcalino potássico com afinidade

lamprofirica e assinatura de subducção no sul do estado da Bahia: Maciço Sienítico de Anuri. *Geochimica Brasiliensis*, 11(2).

Conceicao, R.V., Green, D.H., 2004. Derivation of potassic (shoshonitic) magmas by decompression melting of phlogopite+pargasite lherzolite. *Lithos* 72, 209–229.

Conticelli, S., & Peccerillo, A. (1992). Petrology and geochemistry of potassic and ultrapotassic volcanism in central Italy: petrogenesis and inferences on the evolution of the mantle sources. *Lithos*, 28(3-6), 221-240.

Conticelli, S. (1998). The effect of crustal contamination on ultrapotassic magmas with lamproitic affinity: mineralogical, geochemical and isotope data from the Torre Alfina lavas and xenoliths, Central Italy. *Chemical Geology*, 149(1-2), 51-81.

Conticelli, S., D'antonio, M., Pinarelli, L., & Civetta, L. (2002). Source contamination and mantle heterogeneity in the genesis of Italian potassic and ultrapotassic volcanic rocks: Sr–Nd–Pb isotope data from Roman Province and Southern Tuscany. *Mineralogy and Petrology*, 74(2-4), 189-222.

Conticelli, S., Guarnieri, L., Farinelli, A., Mattei, M., Avanzinelli, R., Bianchini, G., Venturelli, G. (2009). Trace elements and Sr–Nd–Pb isotopes of K-rich, shoshonitic, and calc-alkaline magmatism of the Western Mediterranean Region: genesis of ultrapotassic to calc-alkaline magmatic associations in a post-collisional geodynamic setting. *Lithos*, 107(1), 68-92.

Cornelissen and Verwoerd (1975) The bushmanland kimberlites and related rocks. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 9, p. 71-80.

D'el Rey Silva L.J.H. 1999. Basin infilling in the southern-central part of the Sergipano Belt (NE Brazil) and implications for the evolution of Pan-African/Brasiliano cratons and Neoproterozoic cover. *Journal of South American Earth Sciences*, 12:453-470.

Davison I. & Santos R A. 1989. Tectonic Evolution of the Sergipano Fold Belt, NE Brazil, during the Brasiliano Orogeny. *Precambrian Research*, 45, 319-342.

Donaire, T., Pascual, E., Pin, C., & Duthou, J. L. (2005). Microgranular enclaves as evidence of rapid cooling in granitoid rocks: the case of the Los Pedroches granodiorite, Iberian Massif, Spain. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 149(3), 247-265.

- Ersoy, Y. E., Palmer, M. R., Uysal, İ., & Gündoğan, İ. (2014). Geochemistry and petrology of the Early Miocene lamproites and related volcanic rocks in the Thrace Basin, NW Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 283, 143-158.
- Fernandes, D.M. 2019. Petrogênese do Stock Fazenda Lagoas, centro-norte do Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano. 207 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Análise de Bacias) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.
- Ferreira, V.P., Sial, A.N., Long, L.E., Pin, C. 1997. Isotopic signatures of Neoproterozoic to Cambrian ultrapotassic syenitic magmas, Northeastern Brazil: evidence for an enriched mantle source. *International geology review*, v. 39, n. 7, p. 660-669.
- Ferreira V.P., Sial A.N., Jardim de Sá E.F. 1998. Geochemical and isotopic signatures of the Proterozoic granitoids in terrenes of the Borborema Province, northeastern Brazil. *J. South A. Earth Sci.*, 11(5):439-455.
- Foley S.F., Venturelli G., Green D.H., Toscani L. 1987. The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. *Earth Science Reviews*, 24:81-134.
- Foley S.F. 1992. Petrological characterization of the source components of potassic magmas: geochemical and experimental constraints. *Lithos*, 28, 187-204.
- Foley, S., & Peccerillo, A. 1992. Potassic and ultrapotassic magmas and their origin. *Lithos*, 28(3-6), 181-185.
- Foley, S. F., Jacob, D. E., & O'Neill, H. S. C. (2011). Trace element variations in olivine phenocrysts from Ugandan potassic rocks as clues to the chemical characteristics of parental magmas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 162(1), 1-20.
- Fontes, M.P., Conceicao, H.C., Rosa, M.L.S., Lisboa, V.A.C., 2018. Minettes do Stock monzonítico Gloria Norte: Evidencia de magmatismo ultrapotássico pos-orogênico, com assinatura de subdução, no Sistema Orogênico Sergipano. *Geol. Usp. Serie Científica* 1, 1–16.
- Förster, M. W., Prelević, D., Schmück, H. R., Buhre, S., Veter, M., Mertz-Kraus, R., ... & Jacob, D. E. (2017). Melting and dynamic metasomatism of mixed harzburgite+glimmerite mantle source: Implications for the genesis of orogenic potassic magmas. *Chemical Geology*, 455, 182-191.

- Furman, T., & Graham, D. (1999). Erosion of lithospheric mantle beneath the East African Rift system: geochemical evidence from the Kivu volcanic province. In *Developments in Geotectonics* (Vol. 24, pp. 237-262). Elsevier.
- Gentil, T.F.C., 2013. *Petrologia e Geoquímica do Batolito shoshonítico Serra do Brejo no Domínio Poco Redondo, Faixa Sergipana (Sul da Província Borborema)*. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Sergipe 166 p.
- Guimarães, I.P., & Siva Filho, A.F. 1992. Evolução Petrológica e Geoquímica do Complexo Bom Jardim, Pernambuco. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(1), 29-42.
- Guimarães, I.P., da Silva Filho, A.F., Nolan, J., Williams, T., 1993. The mineral chemistry of the Brasiliano age Bom Jardim and Toritama shoshonitic complexes, State of Pernambuco, Northeast Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 65, 83–106.
- Guimarães I.P. & Silva Filho A.F. 1994. The potassic intrusive magmatism in the north boundary of the sergipano fold belt = shoshonitic affinity?. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Balneario Camboriu, Boletim de resumos, 1:182-183.
- Guimarães I.P. & Silva Filho A.F. 1995. An example of in situ granite formation in the northern boundary of the Proterozoic Sergipano Fold Belt, NE Brazil: the Xingó Complex. *J. South Am. Earth Sci.*, 8(3/4):341-354.
- Harrison W.J. 1981. Partitioning of REE between minerals and coexisting melts during partial melting of a garnet lherzolite. *Am. Mineral.* 66, 242-259.
- Hibbard M.J. 1991. Textural anatomy of twelve magma-mixed granitoid systems. In: J. Didier, B. Barbarin (Eds.), *Enclaves and Granite Petrology: developments in petrology* (v. 13, 253-261). New York: Elsevier Science.
- Hollanda, M. H. B. M., Pimentel, M. M., & de Sá, E. F. J. (2003). Paleoproterozoic subduction-related metasomatic signatures in the lithospheric mantle beneath NE Brazil: inferences from trace element and Sr–Nd–Pb isotopic compositions of Neoproterozoic high-K igneous rocks. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(8), 885-900.
- Le Bas, M. J., Maitre, R. L., Streckeisen, A., Zanettin, B., & IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of petrology*, 27(3), 745-750.
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B., & Bateman, P. (Eds.). (2002). *Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of*

the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press.

Lima, D.R. 2016. Caracterização petrológica e geoquímica do Pluton Curitiba, Domínio Poço Redondo-Marancó, Cinturão Sergipano. Dissertação (Mestrado). Recife: Universidade Federal de Pernambuco.

Lisboa V.A.C. 2014. Petrologia e Geocronologia do Maciço Glória Norte, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE do Brasil. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias. Universidade Federal de Sergipe. 140p.

Lisboa V.A.C.; Conceição, H.; Rosa, M.L.S.; Fernandes, D.M. The onset of post-collisional magmatism in the Macururé Domain, Sergipano Orogenic System: The Glória Norte Stock. *Journal of South America Earth Sciences*, v.89. p. 173-188. 2019.

Liu, D., Zhao, Z., Zhu, D.-C., Niu, Y., DePaolo, D. J., Harrison, T. M., Mo, X., Dong, G., Zhou, S., Sun, C., Zhang, Z., Liu, J. (2014). Postcollisional potassic and ultrapotassic rocks in southern Tibet: mantle and crustal origins in response to India –Asia collision and convergence. *Geochimica Cosmochimica*, 143, 207-231. DOI: 10.1016/j.gca.2014.03.031.

Mitchell, R.H. & Bergman, S.C. 1991. *Petrology of Lamproites*. Plenum Press, New York, p. 410.

Morrison, G.W., 1980. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos* 13, 97–108.

Müller D., Groves D.I. 2019. Tectonic Settings of Potassic Igneous Rocks. In: *Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization*. Mineral Resource Reviews. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92979-8_1.

Müller, D., Rock, N. M. S., & Groves, D. I. (1992). Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings: a pilot study. *Mineralogy and Petrology*, 46(4), 259-289.

Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochem. Cosmochim. Acta* 38, 757–775.

Nelson, D. R., McCulloch, M. T., & Sun, S. S. (1986). The origins of ultrapotassic rocks as inferred from Sr, Nd and Pb isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50(2), 231-245.

- Neves, S. P., Silva, J. M. R., & Bruguier, O. (2019). The metasedimentary Macururé Complex (Sergipano Belt, Borborema Province, Brazil) in southern Alagoas state: geology and geochronology. *Journal of the Geological Survey of Brazil*, 2(1), 17-25.
- Neves, S.P., 2003, Proterozoic history of the Borborema province (NE Brazil): Correlations with neighboring cratons and Pan-African belts and implications for the evolution of western Gondwana: *Tectonics*, v. 22, p. 1031–1044.
- Nixon, P. H., Thirlwall, M. F., Buckley, F., & Davies, C. J. (1984). Spanish and Western Australian lamproites: aspects of whole rock geochemistry. In *Developments in Petrology* (Vol. 11, pp. 285-296). Elsevier.
- Oliveira E.P., Windley B.F., Araújo M.N.C. 2010. The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana. *Precambrian Research*, 181, 64-84.
- Oliveira, A.C.S., 2014. Petrogênese Do Stock Granítico Monte Alegre, Nordeste do Domínio Macururé, Faixa Sergipana. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Sergipe 124p.
- Oliveira, E. P., Toteu, S. F., Araújo, M. N. C., Carvalho, M. J., Nascimento, R. S., Bueno, J. F., ... Basilici, G. (2006). Geologic correlation between the Neoproterozoic Sergipano belt (NE Brazil) and the Yaoundé belt (Cameroon, Africa). *Journal of African Earth Sciences*, 44(4-5), 470–478. doi:10.1016/j.jafrearsci.2005.11.014
- Oliveira, E.P., Bueno, J.F., McNaughton, N.J., Silva Filho, A.F., Nascimento, R.S., Donatti Filho, J.P., 2015. Age, composition, and source of continental arc- and syn-collision granites of the neoproterozoic Sergipano belt, southern Borborema province, Brazil. *J. S. Am. Earth Sci.* 58, 257–280.
- Padilha, D. F., Bitencourt, M. F, Nardi, L. V. S., Florisbal, L. M., Reis, C., Geraldés, M., & de Almeida, B. S. (2019). Sources and settings of Ediacaran post-collisional syenite-monzonite-diorite shoshonitic magmatism from southernmost Brazil. *Lithos* (344-345) 482-503..
- Paim, M. M., Cid, J. P., Rosa, M. L. S., Conceição, H., & Nardi, L. V. S. (2002). Mineralogy of lamprophyres and mafic enclaves associated with the Paleoproterozoic Cara Suja Syenite, Northeast Brazil. *International Geology Review*, 44(11), 1017-1036.

- Pandey, A., Rao, N. C., Chakrabarti, R., Pandit, D., Pankaj, P., Kumar, A., & Sahoo, S. (2017). Petrogenesis of a Mesoproterozoic shoshonitic lamprophyre dyke from the Wajrakarur kimberlite field, eastern Dharwar craton, southern India: Geochemical and Sr-Nd isotopic evidence for a modified sub-continental lithospheric mantle source. *Lithos*, 292, 218-233.
- Pandey, A., Rao, N. C., Chakrabarti, R., Pankaj, P., Pandit, D., Pandey, R., & Sahoo, S. (2018). Post-collisional calc-alkaline lamprophyres from the Kadiri greenstone belt: Evidence for the Neoproterozoic convergence-related evolution of the Eastern Dharwar Craton and its schist belts. *Lithos*, 320, 105-117.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva Publishing Ltd., Cambridge, Mass, pp. 230–249 272 p.
- Pereira, F.S. 2019. Petrogênese da suíte máfica do Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano, setor sul da Província Borborema. 274 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Análise de Bacias) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.
- Pereira, F.S.; Rosa, M.L.S.; Conceição, J.A.; Bertotti, A.L.; Conceição, H. 2017. Evidence for Pre-collisional (Acid) Basic-Ultrabasic Magmatism in the Sergipano Orogenic System, Northeast Brazil. *Goldschmidt*.
- Pinho Neto, M.A.de. Petrologia do batólito Sítios Novos, Domínio Poço Redondo, Sistema Orogênico Sergipano. 2018. 227 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Análise de Bacias) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2018.
- Plá Cid J., Rios D.C., Conceição H. 2006. Petrogenesis of mica-amphibole-bearing lamprophyres associated with the Paleoproterozoic Morro do Afonso syenite intrusion, eastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 22, 98-115.
- Prelević, D., Foley, S. F., Cvetković, V., & Romer, R. L. (2004). Origin of minette by mixing of lamproite and dacite magmas in Veliki Majdan, Serbia. *Journal of Petrology*, 45(4), 759-792.
- Prelević, D., Foley, S. F., Romer, R., & Conticelli, S. (2008). Mediterranean Tertiary lamproites derived from multiple source components in postcollisional geodynamics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(8), 2125-2156.

- Prelević D., Akal C., Foley S.F., Romer R.L., Stracke A., Van de Bogaard P. 2012. Ultrapotassic Mafic Rocks as Geochemical Proxies for Post-collisional Dynamics of Orogenic Lithospheric Mantle: the Case of Southwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Petrology*, v.53 (5), pp. 1019-1055.
- Ringwood A.E. 1990. Slab-mantle interactions. 3. Petrogenesis of intraplate magmas and structure of the upper mantle. *Chemical Geology*. 82, 187-207.
- Rosa, M.L.S, Conceição, J.A., Lisboa, V.A.C., Silva, C.C., Pereira, F.S., Conceição, H. 2017. U-Pb zircon ages in granites (940 to 583 Ma) in the Sergipano orogenic System, NE Brazil. *Goldschmidt*.
- Rock, N. M. S. (1991). *Lamprophyres*. Glasgow: Blackie, 285 pp.
- Rudnick, R. L., & Gao, S. (2003). Composition of the continental crust. *Treatise on geochemistry*, 3, 659.
- Silva Filho M.A., Bomfim L.F.C., Santos R.A., Leal R.A., Santana A.C., Filho P.A.B. 1979. Geologia da Geossinclinal Sergipana e do seu embasamento; Projeto Baixo São Francisco/Vaza Barris. DNPM/CPRM. 134 p.
- Silva Filho, A. F., Guimarães, I. P., & Thompson, R. N. (1993). Shoshonitic and ultrapotassic Proterozoic intrusive suites in the Cachoeirinha-Salgueiro belt, NE Brazil: a transition from collisional to post-collisional magmatism. *Precambrian Research*, 62(3), 323-342.
- Silva Filho, A.F., Guimaraes, I.G., Van Schmus, W.R., Dantas, E., Armstrong, R., Concentino, L., Lima, D., 2013. Long-lived neoproterozoic high-K magmatism in the pernambuco–Alagoas domain, Borborema province, northeast Brazil. *Int. Geol. Rev.* 55, 1280–1299. <https://doi.org/10.1080/00206814.2013.774156>.
- Smith, E. I., Sanchez, A., Walker, J. D., & Wang, K. (1999). Geochemistry of mafic magmas in the Hurricane Volcanic field, Utah: implications for small-and large-scale chemical variability of the lithospheric mantle. *The Journal of geology*, 107(4), 433-448.
- Sun, S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: implications for mantle composition and process. *Geological Society of London, Special Publications* 42, 313–345.
- Teixeira, L.R., Lima, E.S., Neves, J.P., Santos, R.A., Santiago, R.C., Melo, R.C., 2014. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Sergipe. CPRM Escala 1:250.000.

- Thompson, R. N. (1982). Magmatism of the British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*, 18(1), 49-107.
- Thompson, R.N., Fowler, M., 1986. Subduction-related shoshonite magmatism: a study of Siluro-Ordovician syenites from the Scottish Caledonides. *Contribution of Mineralogy and Petrology* 94, 507–522.
- Toscani, L., Contini, S., & Ferrarini, M. (1995). Lamproitic rocks from Cabezo Negro de Zeneta: brown micas as a record of magma mixing. *Mineralogy and Petrology*, 55(4), 281-292.
- Turner, S. P., Platt, J. P., George, R. M. M., Kelley, S. P., Pearson, D. G., & Nowell, G. M. (1999). Magmatism associated with orogenic collapse of the Betic–Alboran domain, SE Spain. *Journal of Petrology*, 40(6), 1011-1036.
- Van Schmus, W.R., 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. *J. S. Am. Earth Sci.* 31, 227–252.
- Van Schmus, W.R., Oliveira, E.P., Silva Filho, A.F., Toteu, S.F., Penaye, J., Guimaraes, I.P., 2008. Proterozoic links between the Borborema province, NE Brazil, and the central African fold belt. *Geological Society London* 294, 69–99.
- Venturelli, G., Thorpe, R. S., Dal Piaz, G. V., Del Moro, A., & Potts, P. J. (1984). Petrogenesis of calc-alkaline, shoshonitic and associated ultrapotassic Oligocene volcanic rocks from the northwestern Alps, Italy. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 86(3), 209-220.
- Venturelli, G., Mariani, E. S., Foley, S. F., Capedri, S., & Crawford, A. J. (1988). Petrogenesis and conditions of crystallization of Spanish lamproitic rocks. *Canadian Mineralogist*, 26, 67-79.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrology*. London, 457p.
- Wood, D.A., Joron, J.L., Treuli, M., 1979. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth Planet Science Letter* 45, 326–336.
- Woodhead, J. D., Eggins, S. M., & Johnson, R. W. (1998). Magma genesis in the New Britain island arc: further insights into melting and mass transfer processes. *Journal of Petrology*, 39(9), 1641-1668.

CAPÍTULO 5 – Potencial Ornamental do Maciço Glória Norte, Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano

Potencial ornamental do Maciço Glória Norte, Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano *Ornamental potential of the Gloria Norte Massif, Macururé Domain, Sergipano Orogenic System*

Vinícius Anselmo Carvalho Lisboa^{1,2}, Caroline Bomfim Santana Simões², Débora Correia Rios^{2*} e
Herbet Conceição^{3*}

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Campus Picuí, Rodovia PB 151, s/n, Cenecista, CEP 58187-000, Picuí, PB, Brasil (viniciuslisboa1@hotmail.com)

²Universidade Federal da Bahia – UFBA, Programa de Pós-graduação em Geologia – PPGEO, Salvador, BA, Brasil (carol.bsimoies@gmail.com; dcrios@ufba.br)

³Universidade Federal de Sergipe – UFS, Programa de Pós-graduação em Geociências e Análise de Bacias – PGAB, São Cristóvão, SE, Brasil (herbet@pq.cnpq.br)

*Bolsista produtividade em pesquisa CNPq

Recebido em 30 de novembro de 2015; aceito em 23 de junho de 2016

Resumo

“Granitos ornamentais” correspondem no mercado de rochas ornamentais a rochas que incluem tanto aquelas de origem ígnea quanto metamórfica. Isto reflete a informalidade do setor e sua independência dos conceitos teórico-acadêmicos que definem e classificam as rochas, já que a aceitação de um tipo litológico no mercado de rochas ornamentais depende, principalmente, de fatores estéticos e físicos, deixando muitas vezes de lado a avaliação das propriedades mineralógicas, texturais e estruturais. Este trabalho enfoca a avaliação do potencial de uso ornamental das rochas da Fácies Porfírica (MP) do Maciço Glória Norte (MGN), em Sergipe, a partir de estudos petrográficos associados com a aplicação do Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG). Este índice vem sendo cada vez mais aplicado na avaliação do potencial ornamental de uma rocha a partir da qualificação e quantificação de uma série de critérios que consideram não só os aspectos de campo e mercadológicos, mas incluem a aplicação de estudos petrográficos e a observação de aspectos sobre a mineralogia, forma, dimensões, e relações de contato entre os minerais, bem como as alterações e deformações sofridas por aquele material. Os valores obtidos para o IAEG variam entre 54 e 63. Por sua vez, a determinação de alguns parâmetros físicos a partir do estudo petrográfico revelou a ausência de falhas e/ou fraturas expressivas, pouca alteração dos feldspatos e baixa quantidade de óxidos e sulfetos, o que agrega valor a este material na sua aplicação na construção civil. Os resultados aqui obtidos a partir da associação do IAEG com os parâmetros petrográficos e estruturais evidenciam um potencial ornamental médio a alto, sugerindo a possível utilização das rochas do MGN no mercado de rochas ornamentais, principalmente para os litotipos da Fácies MP. Ressalta-se, entretanto, que este uso comercial ainda exige a aplicação dos testes e ensaios tecnológicos, uma avaliação de mercado, e que haja um esforço dos órgãos competentes para fomentar a criação de uma cadeia ou arranjo produtivo para rochas ornamentais no Estado de Sergipe, que viabilize a sua exploração.

Palavras-chave: Potencial ornamental; Maciço Glória Norte; IAEG.

Abstract

“Ornamental granites” correspond to a class of dimension stones that includes both igneous and metamorphic rocks. This reflects the informality with which the sector deals with their characterization and the independence from theoretical and academic concepts that define and classify rocks, as the acceptance of a rock type in the ornamental stone market depends mainly on aesthetic and physical factors, rather than its mineralogical, textural and structural properties. This work focuses on the evaluation of the potential use of the porphyritic facies (MP) of the Gloria Norte Granitic Massif (MGN – State of Sergipe, NE Brazil) as dimension stone. In such evaluation, petrographic studies in association with the application of the Geological and Economical Potential Index (IAEG) are taken into account. Actually, IAEG has been increasingly used in Brazil as it represents a real possibility to qualify and quantify a series of criteria that involve not only field and market aspects, but also petrographical information regarding mineralogy, shapes, sizes and contact relationships between rock minerals and their

modifications due to alteration and deformation. The IAEG values obtained for MGN range from 54 to 63. In turn, the determination of some physical parameters obtained from petrographical studies reveals the absence of expressive fractures and/or faults, weakly altered feldspar, and low oxide and sulfide contents, which aggregates value to the use of this material as ornamental stone. The results obtained from the association of IAEG with petrographical and structural parameters show a medium to high ornamental potential for these rocks, suggesting that they can be used in building, in special the ones from the MP facies. We emphasize, however, that the commercial use of a rock requires application of technological tests, market evaluation, and effort from the authorities to promote the creation of a productive chain or arrangement in the State of Sergipe, in order to make the exploitation of rocks possible for their use as dimension stones.

Keywords: Ornamental potential; Gloria Norte Massif; IAEG.

INTRODUÇÃO

Em todo o mundo a aplicação de rochas com a função de revestimento em obras civis – as conhecidas rochas ornamentais – tem mostrado expressivo crescimento nos últimos anos, em parte resultado do surgimento de novos materiais e novas tecnologias que permitem ganho considerável de produtividade e qualidade (Navarro, 2006).

Comercialmente, as rochas ornamentais são classificadas essencialmente em dois grupos: os “granitos”, que correspondem a toda a gama de rochas silicáticas, e os “mármore”, que contemplam todos os tipos carbonáticos. Esta simplificação na nomenclatura leva a duas categorias que respondem largamente pelas variedades de rochas ornamentais e de revestimento comercializadas e que representam cerca de 80% da produção mundial de rochas ornamentais (ABIROCHAS/CETEM, 2002). No Brasil, dados da ABIROCHAS/CETEM (2002) indicam que os “granitos” correspondem a 57% da produção nacional de rochas ornamentais. Este crescente mercado tem motivado nos últimos anos o desenvolvimento de pesquisas e aplicações de tecnologias visando à descoberta de novos depósitos.

Para atender a essa demanda e a um mercado cada vez mais exigente, é necessário oferecer produtos que supram as necessidades de uma clientela diversificada e, ao mesmo tempo, ofereçam qualidade e preços acessíveis a todos. Por outro lado, a durabilidade de uma rocha depende da complexa interação entre suas propriedades mineralógicas, texturais e estruturais e fatores extrínsecos, necessitando a inclusão dos agentes solicitantes, desde os processos de lavra e beneficiamento até as fases de acabamento e instalação. E mais, depois de instaladas, outros fatores extrínsecos atuam sobre as rochas, tais como variações sazonais e diárias de umidade e temperatura, agentes químicos provenientes de produtos de limpeza e/ou condições atmosféricas agressivas (básicas, ácidas ou salinas), além de esforços mecânicos e atrito (Frasca, 2004). Combinadas, são estas as características que definem o potencial ornamental de uma rocha e precisam ser quantificadas e avaliadas na fase de pesquisa geológica por novos depósitos.

Do ponto de vista da geologia, os problemas com essa nomenclatura recaem no fato do termo “granito comercial” incluir tanto rochas ígneas quanto metamórficas,

e abranger uma gama enorme de tipos texturais, estruturais e composicionais, refletindo em cores e padrões estéticos diversos, dificultando, assim, a aplicação de testes e critérios uniformes passíveis de qualificar e quantificar tipos de rochas tão distintas. Como qualificar e quantificar estes materiais em projetos de pesquisa em escala regional? Como indicar áreas adequadas à exploração comercial de rochas para fins ornamentais? Como fomentar ações de desenvolvimento social e econômico em regiões do semi-árido nordestino a partir do mercado de rochas ornamentais?

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o potencial ornamental do Maciço Granítico Glória Norte (MGN), baseando-se, principalmente, no estudo das suas características petrográficas e na aplicação do Índice de Atratividade Econômico-Geológica, ferramentas que em conjunto permitem a determinação indireta dos parâmetros físicos das rochas do *stock*, e auxiliam na qualificação e quantificação de áreas passíveis de serem exploradas com fins ornamentais, colaborando para responder as questões acima formuladas.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área em estudo localiza-se na região centro-norte/noroeste do Estado de Sergipe (Figura 1). Delimitada pelos paralelos 9°15' e 10°30' S e pelos meridianos 37°15' e 38°5' W, está principalmente compreendida na Folha Carira (SC.24-Z-A-II). As principais cidades neste setor são Nossa Senhora de Glória (à sul) e Monte Alegre de Sergipe (à norte).

O acesso à área é feito por vias pavimentadas, partindo-se de Aracaju em direção a Nossa Senhora da Glória pela BR-235 até Itabaiana e, depois, pela SE-106, em um percurso de aproximadamente 111 km. A partir de Nossa Senhora da Glória, o acesso à área de pesquisa é feito por estradas secundárias, existindo uma malha relativamente densa de estradas e caminhos secundários que recobrem toda a região.

CONTEXTO GEOLÓGICO

O Sistema Orogênico Sergipano representa um terreno alongado WNW-ESE que, além de Sergipe, prolonga-se pelos estados da Bahia e Alagoas, e cuja área aflorante perfaz

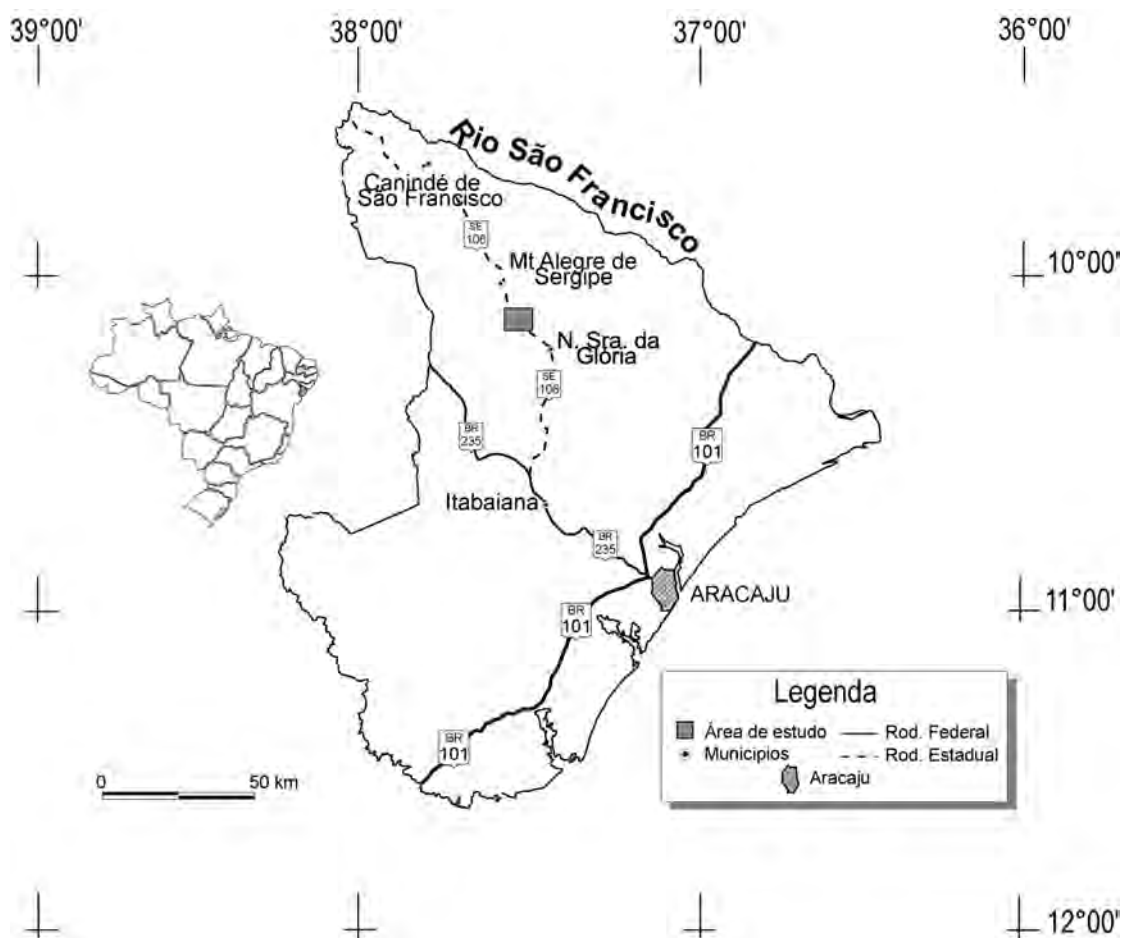


Figura 1. Mapa de localização e acessos à área de estudo.

aproximadamente 16.500 km². Compreende seis domínios geológicos: (i) Estância, (ii) Vaza Barris, (iii) Macururé, (iv) Marancó, (v) Poço Redondo, e (vi) Canindé (Davison e Santos, 1989; D'el Rey Silva, 1995). Os limites entre estes domínios são marcados por zonas de cisalhamento, de norte a sul: Belo Monte-Jeremoabo, São Miguel do Aleixo e Itaporanga.

A área de estudo está inserida no Domínio Macururé. Este domínio é composto, predominantemente, por rochas de natureza metassedimentar, como metapelitos e metarenitos, interpretados como metaturbiditos de natureza *fyschoide* (Jardim de Sá et al., 1986). A presença abundante de granitos é a característica marcante deste domínio. Estas intrusões provocam metamorfismo de contato nos metassedimentos encaixantes e modificações nas estruturas pretéritas. Santos e Silva Filho (1975) reuniram os granitos que ocorrem neste domínio sob a terminologia “Granitos do Tipo Glória”, e dentre eles, selecionamos o Maciço Glória Norte (MGN) para este estudo.

O MGN possui aproximadamente 42 km² de área aflorante (Figura 2) e apresenta composição quartzo-monzonítica, com predomínio de termos porfíricos e homogeneidade composicional, apesar desta relativa heterogeneidade textural.

Nas rochas da fácies porfírica (Figura 3A) ocorrem fenocristais de feldspato alcalino e/ou plagioclásio, tendo biotita, hornblenda e diopsídio (em menor quantidade) como minerais máficos mais comuns. A fácies equigranular apresenta textura fanerítica média (Figura 3B).

No MGN é também comum se observar a presença de enclaves máficos microgranulares. Eles possuem diversos tamanhos e formatos e, por vezes, mostram-se orientados, seguindo a foliação da encaixante monzonítica (Figura 3C). São raros, na região central do MGN, xenólitos dos xistos da encaixante, sendo estes mais abundantes na região de contato nas bordas do maciço (Figura 3D).

O ÍNDICE DE ATRATIVIDADE ECONÔMICO-GEOLÓGICA

O presente trabalho utilizou a sistemática desenvolvida por Barbosa e Paiva (1998), modificada posteriormente por Mendes et al. (2014), para a avaliação quantitativa dos fatores físicos e infraestrutura, a partir dos dados obtidos nas fases de campo. Os autores propõem que cada

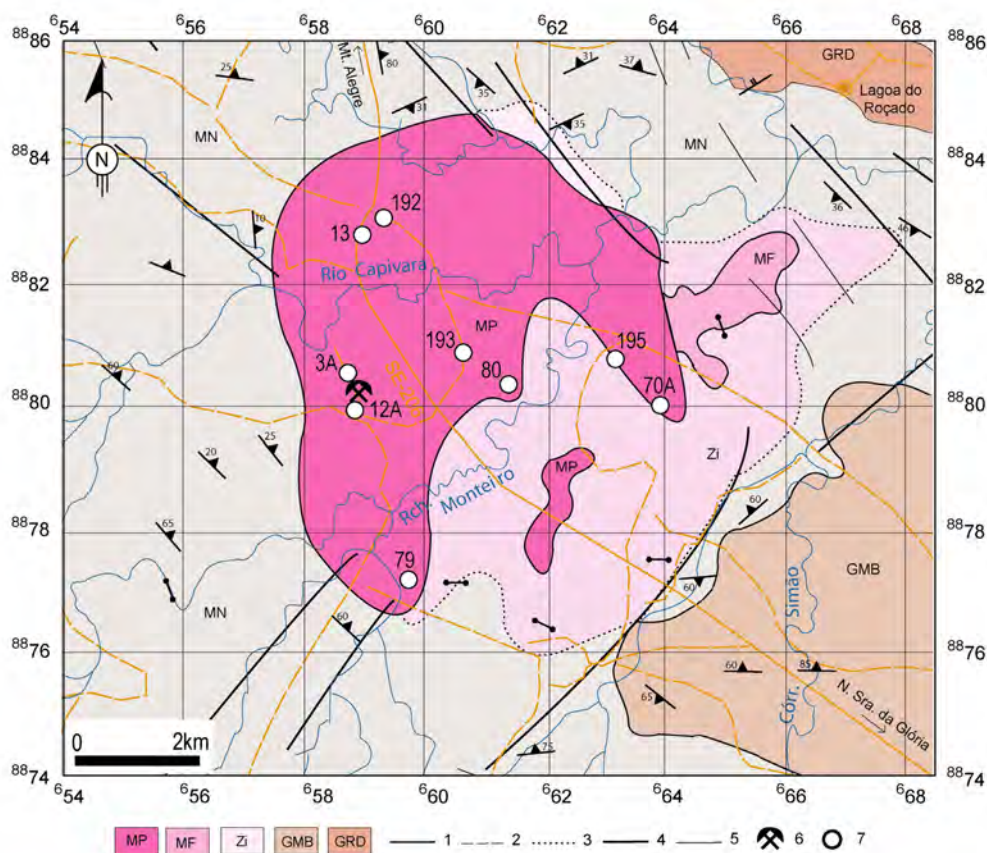


Figura 2. Mapa Geológico do Maciço Glória Norte. Legenda: [MP] Fácies biotita hornblenda quartzo-monzonito, porfíricos com enclaves máficos; [MF] Fácies biotita hornblenda quartzo-monzonito; [Zi] Zona de influência: Diques de granitos com muscovita; [GMB] Granito com muscovita e biotita; [GRD] Granodiorito porfírico com enclaves máficos microgranulares; [MN] Metassedimentos do Grupo Macururé; [1] Contato definido; [2] Contato aproximado; [3] Contato gradacional ou faciológico; [4] Falha; [5] Fotolineamentos Estruturais; [6] Pedreira paralísada; [7] Localização das amostras estudadas.

corpo granítico ou afloramento com boa área de exposição tenha seu potencial ornamental avaliado através de um índice quantitativo, denominado de Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG).

Este índice baseia-se na soma dos pesos atribuídos aos seguintes fatores: cor da rocha (FC), textura (FT), homogeneidade (FH), fraturamento (FF), modo de ocorrência (FM), relevo (FR), dureza (FD), fator infraestrutura (FI), localização (FL), e nobreza (FN). As ocorrências são avaliadas qualitativamente e quantitativamente, pontuadas, e classificadas segundo os seguintes intervalos de IAEG: muito alto > 80 a 100; alto > 60 a 80; médio > 40 a 60; baixo > 20 a 40; muito baixo > 20. A expectativa é que, quanto maior o valor do IAEG, mais atraente será a rocha para o mercado de rochas ornamentais.

Assim, selecionamos dois afloramentos pertencentes à Fácies Porfírica do MGN, fácies mais representativa do maciço. Ambos possuem boa área de exposição e neles existem instaladas pedreiras de brita para a construção civil.

Estes afloramentos foram estudados petrograficamente em detalhe e tiveram seu potencial quantificado a partir da aplicação do IAEG (Tabela 1).

A aplicação do IAEG para o MGN, considerando-se apenas sua Fácies Porfírica, resultou em um somatório entre 54 e 63, o que qualifica o MGN como de média a alta atratividade no mercado de rochas ornamentais, segundo os intervalos definidos por Barbosa e Paiva (1998). O fator mais negativo no índice de atratividade desta rocha é a sua cor cinza, bastante comum. É importante salientar que, neste estudo, não foi possível considerar o fator de nobreza, ou seja, o real posicionamento da rocha no mercado, já que a avaliação deste fator envolve, em tese, a colocação desta rocha no mercado, levando em conta se o produto é vendido para o mercado externo (sob a forma de blocos ou sob a forma de chapas ou padronizados) ou para o mercado interno, seja em blocos ou chapas. Para compensar, foram re-inseridos no cálculo os índices de localização (FL) e

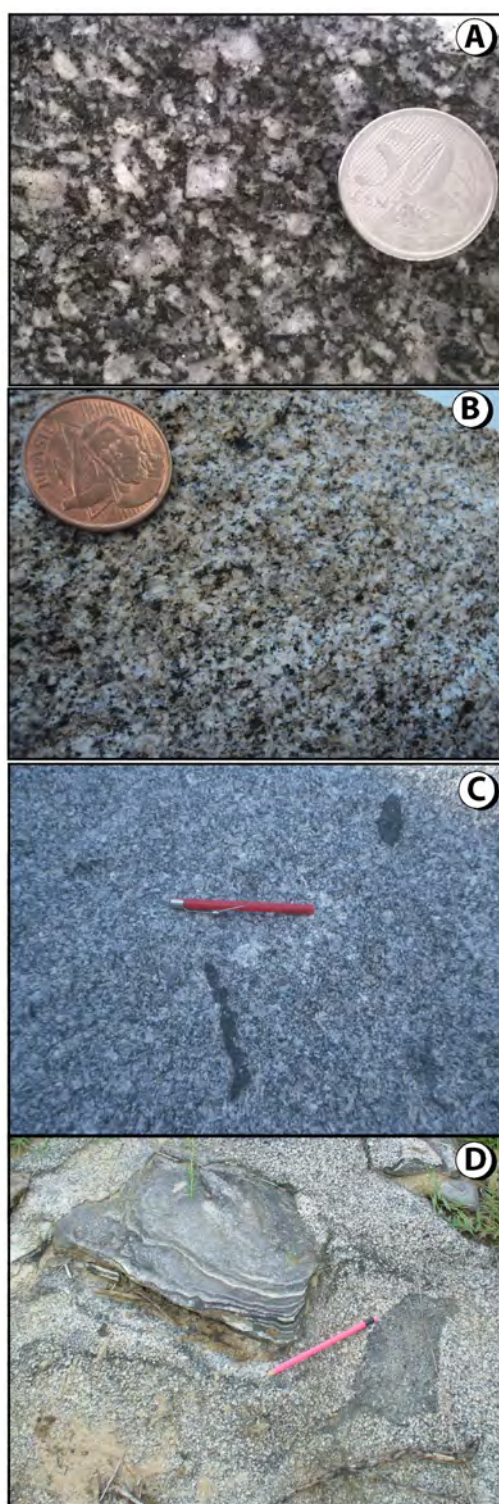


Figura 3. Aspectos de campo das rochas encontradas na região. Textura representativa da Fácies MP. Nota-se que a rocha exibe coloração cinza, granulação média e por vezes porfirítica, quando ocorrem fenocristais de feldspato alcalino ou de plagioclásio [A]. Textura característica da Fácies MP [B]. Enclaves e xenólitos observados na região aflorante do MGN [C e D].

relevo (FR), da proposição original do IAEG (Barbosa e Paiva, 1998).

PETROGRAFIA

O estudo petrográfico de uma rocha implica uma série de observações rigorosas que pretendem, em geral, descrever a composição mineralógica, a forma, dimensões e relações mútuas dos constituintes (textura), a alteração e deformações sofridas. Na avaliação do potencial ornamental, os estudos mineralógicos e petrográficos são essenciais, pois, com base neles, pode-se compreender melhor o comportamento das rochas em relação a algumas propriedades físico-mecânicas.

As análises petrográficas foram realizadas em amostras da Fácies Quartzo-Monzonítica Porfirítica (MP) do MGN. Considerou-se nove amostras (Figura 2), selecionadas por serem as mais representativas desta fácies. A análise petrográfica seguiu a norma ABNT NBR 15845/2010 (ABNT, 2010). Segundo a classificação modal adotada para as rochas ígneas pela IUGS (*International Union of Geological Sciences*; Le Maitre et al., 1989), as rochas da Fácies MP são leucocráticas e suas composições variam de quartzo-monzonito a granito (Figura 4).

As rochas quartzo-monzoníticas predominam no maciço estudado, apresentando uma discreta variação composicional na assembleia mineralógica. As diferenças texturais decorrem das proporções entre as fases minerais varietais, especialmente a variação na proporção modal de hornblenda e biotita.

No geral, as rochas da Fácies MP apresentam textura porfirítica, com fenocristais de plagioclásio e feldspato alcalino centimétricos (2 a 3 cm) imersos numa matriz alotriomórfica, constituída por quartzo, biotita, plagioclásio, feldspato alcalino e hornblenda. Como minerais acessórios tem-se cristais de diopsídio, titanita, apatita, epidoto, minerais opacos e zircão. As análises modais destas rochas encontram-se listadas na Tabela 2.

As texturas observadas são tipicamente ígneas, não havendo evidências significativas de recristalização dos minerais ou de deformação (Figura 5A). Os contatos entre os grãos variam de retos a reentrantes, com predominância do segundo tipo. O quartzo é anédrico, com fraca extinção ondulante, às vezes dispondo-se entre os cristais de feldspato e plagioclásio, formando aglomerados (Figura 5B). O plagioclásio (andesina) apresenta alguns cristais fracamente alterados (sericita + carbonato e argilominerais) (Figura 5C). O feldspato alcalino exibe intercrescimento perítico e mirmequítico principalmente nas bordas e não mostra texturas de alteração. Os cristais de biotita formam localmente aglomerados, juntamente com os cristais de hornblenda e diopsídio. Estes ocorrem dispersos na rocha e estão frequentemente associados com minerais opacos. A titanita associa-se a biotita e minerais opacos. Deve-se destacar a pouca expressão percentual

Tabela 1. IAEG calculado com base nos critérios de Mendes et al. (2014), aplicados em pedreiras de rochas da fácies porfírica do Maciço Glória Norte.

Fator	Critério	IAEG		IAEG Calculado	
		Valor	Tipo	Amostra 3A	Amostra 12A
FC	Cor Predominante	17	Azul	2	2
		14	Branca a Amarela		
		14	Verde ou Marrom		
		10	Movimentadas vermelhas ou Rosa		
		7	Salmão		
		6	Vermelha		
		2	Cinza		
FT	Textura Predominante	0-10	Equigranular e porfírica	5	5
		0-10	Porfírica serial a equigranular e lamelar		
FH	Homogeneidade (veios, xenólitos e marcas de oxidação)	0-10	Alta	5	0
			Média		
			Baixa		
FF	Densidade do Fraturamento	10	Baixa (blocos para tear)	10	6
		8	Média (blocos para talha-bloco)		
		5	Alta		
		4	Muito alta		
		0	Altíssima		
FM	Modo de Ocorrência	10	Maiço + Matações	10	10
		6-8	Maiço		
		5	Matações grandes		
		4	Matações menores		
FE	Estruturas predominantes	10	Dobradas ou Movimentadas	0	0
		5	Orientada ou Foliada		
		0	Maiço		
FR	Relevo	5	Aplainado / Suave	5	5
FD	Dureza Relativa	7	Mármore (dureza baixa)	6	6
		6	Sienitóide (dureza média)		
		5	Granitóide (dureza alta)		
		2	Quartzito (dureza muito alta)		
FI	Infraestrutura Disponível	8	Distância <10km, toda infraestrutura	10	10
		6	Distância igual ou maior a 10 km		
		5	Distância > 20km		
FL	Localização*	10	< 100km de capital de Estado	10	10
FN	Nobreza (posicionamento da rocha no mercado)	20	Exportação em blocos, chapas e padronizados	Não avaliado	Não avaliado
		18	Mercado externo, em blocos		
		15-14	Mercado interno ou ocasional externo, em chapas, blocos e padronizados		
		12-10	Mercado interno, chapas e padronizados		
		5	Mercado interno, chapas		
0	Mercado interno, padronizados				
IAEG (total)**				63	54

*Considerando a distância até a cidade de Aracaju. **IAEG=FC+FT+FH+FF+FM+FR+FD+FI+FL.

dos minerais opacos, cujo conteúdo modal não ultrapassa 0,20% (amostra 70A).

Parâmetros tecnológicos versus Petrografia

Para Rzhovsky e Novik (1997), a interação entre composição, textura e estrutura das rochas define a sua resistência aos agentes químicos, físicos e mecânicos, resultando da combinação das características petrofísicas do material.

Segundo Trugul e Zarif (1999), a composição mineral é o principal fator que controla a resistência mecânica das rochas, em especial a presença de quartzo e feldspatos. Para esses autores, quanto maior a percentagem desses minerais (quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio), maior é a resistência à serragem. Neste aspecto (resistência à serragem), deve-se considerar ainda a presença ou ausência de microfraturamentos nos minerais, fato que pouco é observado nas rochas do MGN.

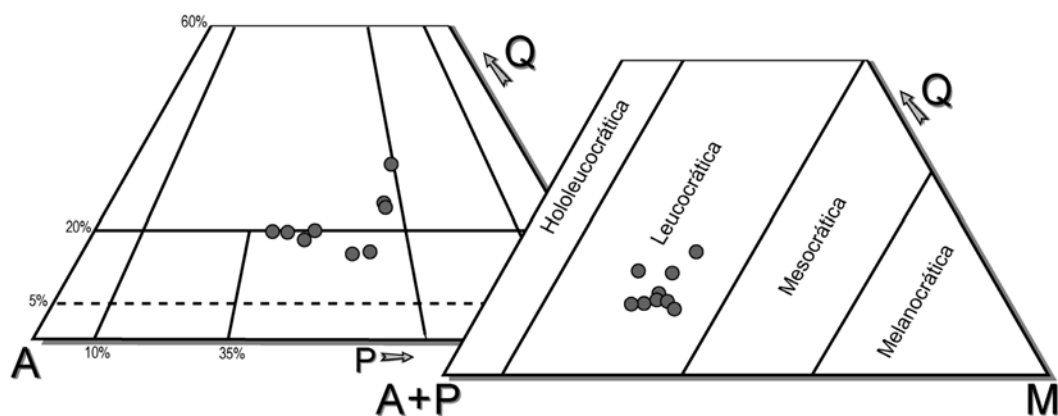


Figura 4. Diagramas QAP e Q(A+P)M aplicado às rochas do MGN. Legenda: círculo - rochas da Fácies Quartzo-Monzonítica Porfírica (MP).

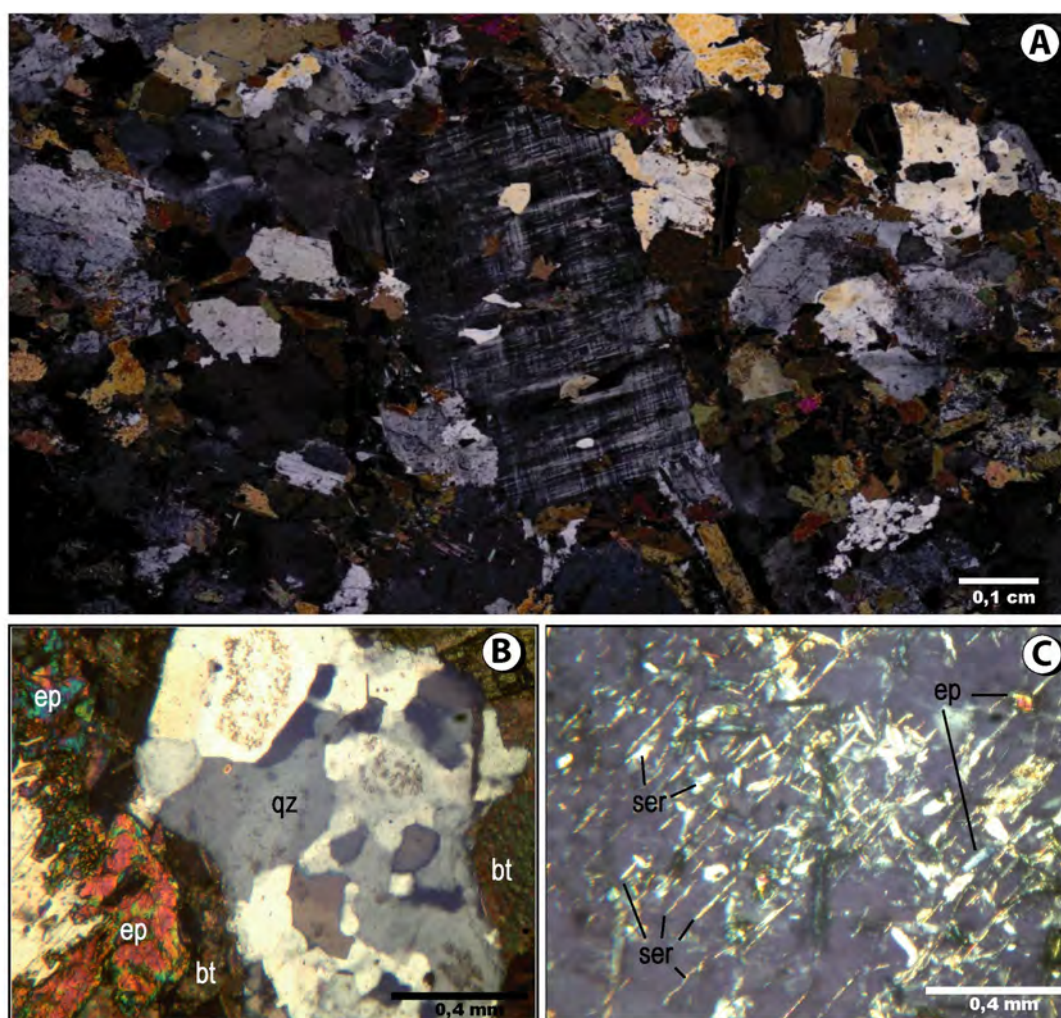


Figura 5. Fotomicrografias de texturas usualmente encontradas no Maciço Glória Norte. (A) Fácies Hornblenda Biotita Quartzo Monzonítica Porfírica, textura hipidiomórfica, com fenocristais de feldspato alcalino, e cristais de plagioclásio, quartzo, hornblenda e biotita que compõem a matriz; Texturas observadas em rochas da Fácies Porfírica. Cristais de epidoto (ep) e sericita (ser), oriundos da alteração do plagioclásio (cinza). (B) Aglomerado de cristais de quartzo (qz) na matriz mostrando contatos irregulares e/ou reentrantes entre si, e contatos irregulares com cristais de biotita (bt) e epidoto (C).

Tabela 2. Análise modal das rochas da Fácies Hornblenda Biotita Quartzo-Monzonito Porfirítica.

(%)	3A	12A	13	70A	79	80	192	193	195A
Andesina (%An)	34,17 (34)	32,90 (32)	31,70 (31)	23,1 (26)	28,90 (27)	20,30 (29)	25,87 (29)	34,10 (35)	24,49 (28)
Feldspato Alcalino	20,10	25,62	17,80	30,9	15,30	33,30	27,68	25,30	29,81
Quartzo	19,69	14,40	19,60	13,00	24,00	14,50	15,14	13,80	14,75
Biotita	14,37	14,37	15,40	15,90	20,50	22,00	16,14	17,30	16,90
Hornblenda	6,65	9,04	12,10	14,60	8,00	7,60	12,43	7,80	10,84
Diopsídio	0,20	0,00	0,10	0,00	0,60	0,20	0,00	0,20	0,20
Epidoto	4,22	2,51	2,60	2,00	2,40	1,70	1,94	1,00	2,81
Titanita	0,60	0,70	0,50	0,30	0,30	0,30	0,80	0,50	0,20
Apatita	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Zircão	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Minerais opacos	<0,10	<0,10	0,10	0,20	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Sericita	<0,10	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Os tipos de contato descritos nas amostras do MGN (retos e reentrantes) revelam baixos valores de porosidade e permeabilidade, o que também significa uma menor resposta em termos de absorção de água. A baixa absorção de água acarreta aumento na durabilidade da rocha e maior resistência mecânica ao longo do tempo. Além disto, rochas que apresentam baixa absorção, como as aqui descritas, conservam por mais tempo as características estéticas (brilho, cor, capacidade de polimento), o que lhes garante a manutenção de sua função de embelezamento e proteção contra reagentes agressivos.

A cor tem importância fundamental para as rochas ornamentais, por seu papel de acabamento e/ou decoração, sendo função da moda; portanto, tons de azul, verde e preto tendem a ser melhor aceitos, ao passo que tons de cinza, como os do MGN, são no momento tidos como comuns e/ou monótonos. Por outro lado, a durabilidade da cor é influenciada pela presença de minerais que se decompõem facilmente, liberando substâncias que mancham as rochas. Dentre esses, destacam-se os minerais sulfetados (*e.g.*, pirita) e óxidos de ferro. Neste aspecto, a moda estabelecida para o MGN revela valores baixos para a presença destes minerais (ver Tabela 2).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As rochas do MGN constituem excelentes exposições. Foram realizados estudos petrográficos e aplicou-se o índice quantitativo IAEG, visando avaliar o potencial mercadológico para duas pedreiras dessas rochas. Os parâmetros textura, aspecto estético, padrão estrutural e homogeneidade faciológica foram avaliados, bem como densidade de enclaves e xenólitos, fraturamento, veios e pontos de oxidação. Com base nessa avaliação, elencam-se a seguir características positivas, que favorecem a exploração ornamental para as rochas porfiríticas

da Fácies MP no MGN, a partir do seu potencial econômico e mercadológico:

- Índice de Atratividade Econômico-Geológica (IAEG) entre 54 e 63, considerado médio a alto;
- Ausência de falhas e/ou fraturas expressivas;
- Baixa quantidade de óxidos e/ou sulfetos;
- Pouca alteração;
- Os resultados apontam para sua utilização como rocha ornamental.

O Maciço Glória Norte ainda não foi testado comercialmente, ou seja, não é conhecida a aceitabilidade da rocha no mercado de rochas ornamentais e de revestimento. Sendo assim, faz-se pertinente proceder a uma comparação com materiais comercialmente já aceitos e conhecidos. Rios et al. (2005) aplicaram o IAEG na avaliação de granitos ornamentais explorados na região Nordeste da Bahia. Nesse contexto, o Granito Maracanã, um gnaisse migmatítico arqueano do Complexo Uauá classificado como quartzo-diorito, apresentou um IAEG alto de 76. Comparativamente, o Granito Café Bahia, pertencente ao Maciço de Cara Suja, classificado como quartzo-sienito, também obteve um IAEG alto de 72. Ambos são extraídos comercialmente e possuem alta aceitabilidade no mercado interno e externo.

Cabe ressaltar que o fator predominante para a colocação de uma rocha no mercado de rochas ornamentais ainda é o estético, e este parâmetro é bastante subjetivo e flutuante, variando com a “moda”, sendo impossível quantificá-lo ou avaliar a sua variabilidade. Dessa maneira, o fator médio-alto obtido para as rochas do MGN representa um parâmetro promissor para a aceitação do material no mercado de rocha ornamental.

Do mesmo modo para sua real inserção no mercado de rochas ornamentais, alguns outros aspectos ainda precisam ser considerados. Por exemplo, a sua coloração acinzentada e textura homogênea, que atualmente não atendem aos requisitos estéticos de arquitetos e decoradores, são fatores limitantes à sua aplicação e reduzem seu potencial econômico

no momento. Soma-se a isto a atual indisponibilidade de ensaios tecnológicos para suas amostras e a ausência de incentivos governamentais que fomentem cadeias ou arranjos produtivos de rocha ornamental na região, de forma a viabilizar sua exploração. Do ponto de vista econômico, este seria um reforço extremamente importante, que traria aporte de recursos e novas fontes de renda e trabalho para a região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelas bolsas de mestrado (C.B.S. Simões), doutorado (V.A.C. Lisboa) e produtividade em pesquisa (D.C. Rios e H. Conceição). Aos revisores anônimos pelas sugestões que enriqueceram bastante o manuscrito.

REFERÊNCIAS

- ABIROCHAS/CETEM. (2002). *Catálogo de rochas ornamentais do Brasil*. Rio de Janeiro. CD-ROM.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (ABNT). (2010). *NBR 15845: rochas para revestimento: análise petrográfica*. Rio de Janeiro.
- Barbosa, A. J., Paiva, I. P. (1998) *Sistemática metodológica baseada em fatores físicos das rochas e na infra-estrutura, para uso em mapa da atratividade econômico-geológico de rochas para fins ornamentais*. Brasília: CPRM.
- D'el Rey Silva, L. J. H. (1995). The evolution of basement gneiss domes of the Sergipano fold belt (NE Brazil) and its importance for the analysis of Proterozoic basins. *Journal of South American Earth Sciences*, 8, 325-340.
- Davison, I., Santos, R. A. (1989). Tectonic evolution of the Sergipano fold Belt, NE Brazil, during the Brasiliano orogeny. *Precambrian Research*, 45, 319-342.
- Frasca, M. H. B. O. (2004). Rochas ornamentais e para revestimento: variedades, propriedade, usos e conservação. In: I. S. C. Mello (Eds.), *A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimento no Estado de São Paulo*, 153-191. São Paulo: Páginas e Letras. (Publicação IPT, 2995).
- Jardim de Sá, E. F., Moraes, J. A. C., D'el-Rey Silva, L. J. H. (1986). Tectônica tangencial na Faixa Sergipana. *XXXIV Congresso Brasileiro de Geologia*, v. 3, 1246-1256. Goiania: SBG.
- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre, J., Le Bas, M. J., Sabine, P. A., Shimid, R., Sorensen, H., Streckeisen, A., Wolley, R., Zanettin, B. (1989). *A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendation of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Oxford: Backwell Scientific Publications.
- Mendes, V. A., Lima, M. A. B., Marques, M. N. (2014). Pesquisa de rochas ornamentais. In: F. V. Vidal, H. C. A. Azevedo, N. F. Castro (Eds.), *Tecnologia de rochas ornamentais*, 99-150. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI
- Navarro, F. C. (2006). *Influência da petrografia sobre a anisotropia à tensão de compressão e dilatação térmica de rochas ornamentais*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.
- Rios, D. C., Pena, Z. G., Conceição, H. (2005). Parâmetros orientativos à utilização de rochas ornamentais: aplicação do IAEG ao Granito Movimentado Maracanã, Bahia. *V Simpósio de Geologia do Nordeste*, v. 19, 453-455. Recife: SBG.
- Rzhevsky, V., Novik, G. (1997). *The physics of rocks*. Moscow: MIR.
- Santos, E. J., Silva Filho, M. A. (1975). Ensaio interpretativo sobre a evolução da Geossinclinal de Propriá. *Mineração e Metalurgia*, 39, 3-22.
- Trugul, A., Zarif, I. H. (1999). Correlation of mineralogical and textural characteristic with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. *Engineering Geology*, 51, 303-317.

CAPÍTULO 6 – Conclusões

No Domínio Macururé (DM), os corpos de afinidade shoshonítica são constituídos essencialmente por monzonitos, com termos sieníticos e graníticos subordinados, e possuem idades de cristalização entre 588-631 Ma. O Stock Glória Norte (SGN), principal representante deste magmatismo no DM, intrude as rochas metassedimentares do Grupo Macururé. A idade obtida (588 Ma) posiciona este magmatismo no período Ediacarano, e marca o final dos processos colisionais no Domínio Macururé.

As rochas do SGN apresentam coloração cinza e textura equigranular média a porfírica, com fenocristais de plagioclásio (oligoclásio e andesina) e microclínio, imersos numa matriz allotriomórfica composta por quartzo, biotita, plagioclásio, microclínio e anfibólio (pargasita, edenita e magnésiohornblenda). A mineralogia acessória é composta por titanita, epidoto (com molécula de pistacita entre 24-26%), zircão, fluorapatita, ilmenita e magnetita. As condições de cristalização obtidas indicam pressões de alojamento de 4 kbar (~15 km de profundidade). As temperaturas *liquidus* e *solidus* obtidas situam-se entre 936-946°C e 615-747°C, respectivamente.

Enclaves máficos (MME) são comuns nos corpos de afinidade shoshonítica do DM, e ocorrem, praticamente, em todos os afloramentos do SGN. Os MME exibem textura equigranular fina a média, ocasionalmente porfírica com presença de fenocristais de biotita e/ou anfibólio. As estimativas barométricas, obtidas com base nos anfibólios presentes nos enclaves máficos do SGN indicam uma cristalização a 28 km de profundidade (± 7 kbar).

A similaridade composicional, a proximidade entre os valores de pressão e temperatura obtidos e as variações composicionais (e.g. variação nos conteúdos de Fe, Mg, mg# e Si) observadas nos anfibólios dos MME e dos monzonitos do SGN podem refletir o reequilíbrio químico entre os magmas que originaram essas rochas.

Os dados geoquímicos obtidos, para os quartzo-monzonitos e enclaves do SGN, indicam origem a partir de uma fonte mantélica metassomatizada, previamente enriquecida em elementos incompatíveis. Os baixos valores de Ta, Nb e Ti apontam para um ambiente orogenético, os conteúdos de Y, Nb e Rb indicam uma colocação num estágio pós-colisional para estes magmas.

A identificação de MME ultrapotássicos em vários outros plútons do SOS (e.g. Curitiba, Fazenda Lagoas, Monte Alegre, Glória Sul) indica que a geração de magmas ultrapotássicos ocorreu entre 631 e 588 Ma. O que pode significar que durante a orogenia brasileira magmas ultrapotássicos básicos e intermediários foram contemporâneos dos magmas graníticos.

APÊNDICE A – Justificativa da participação dos autores

Professor Dr. Herbet Conceição

É o orientador desta pesquisa, possui graduação em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (1982), mestrado em Geoquímica pela Universidade Federal da Bahia (1986), doutorado em Ciências da Terra - Université Paris Sud - Centre d'Orsay (1990) e pós-doutorado em Geoquímica Isotópica pela Université Blaise Pascal (1996). É Professor Titular desde 1999. Atualmente é docente da Universidade Federal de Sergipe, pesquisador colaborador do Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFBA. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Petrologia, atuando principalmente em Petrologia Ígnea: sienitos e granitos.

Professora Dra. Maria de Lourdes da Silva Rosa

Atuou como coorientadora desta pesquisa e contribuiu na obtenção dos dados da geoquímica e geocronologia deste trabalho. É graduada em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (1991), mestre em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (1994) e doutora em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (1999), com estágios no Swiss Federal Institute of Technology de Zurique (ETHZ) e Université Blaise Pascal (UBP-Clermont Ferrand). Foi pesquisadora DCR-CNPq, DTI-CNPq e PRODOC-CAPES pela Universidade Federal da Bahia. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geologia Isotópica, Geoquímica e Petrologia de Rochas Alcalinas. Atualmente é Professora Associada I do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Sergipe e Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias da UFS.

Professora Dra. Débora Correia Rios

Possui experiência em pesquisa relacionada com rochas ornamentais, contribuindo no tratamento de dados e discussões acerca da aplicação da geologia no tema abordado. Bacharel em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (1995), mestre em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (1997) e doutorado em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (2002), com estágio sanduiche no Jack Satterly Geochronological Laboratory da University of Toronto (UofT). Atualmente é professora do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, membro permanente do

quadro de docentes do Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFBA e realiza pesquisas relacionadas a Petrologia Ígnea, abrangendo aplicações das ferramentas da geocronologia e geoquímica em amostras de rochas terrestres e extraterrestres.

Professor Dr. Cláudio Nery Lamarão

Contribuiu na obtenção dos dados de química mineral, obtidas a partir do WDS, deste trabalho. Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Pará (1978), mestrado em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (1996) e doutorado em Geologia e Geoquímica pela Universidade Federal do Pará (2001). Atualmente é professor associado-IV da Universidade Federal do Pará. Coordena o Laboratório de Microanálises, da Universidade Federal do Pará (LABMEV-UFPA) e tem experiência na área de Geociências, com ênfase em petrologia e geoquímica, atuando principalmente nos seguintes temas: cráton amazônico, petrografia e geoquímica de granitoides paleoproterozoicos, microscopia eletrônica de varredura, estudos de quartzo e zircão em catodoluminescência.

Msc. Gisele Tavares Marques

Contribuiu na obtenção, processamento e tratamento dos dados de química mineral, obtidas a partir do WDS, deste trabalho. Graduada em Geologia pela Universidade Federal do Pará (UFPA) em 2011, concluiu o mestrado em Geoquímica e Petrologia, com ênfase em Mineralogia Aplicada pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA em 2014. Pesquisadora do Laboratório de Microanálises da UFPA desde 2014, com grande habilidade na operação de MEV-EDS-CL, platina de resfriamento/aquecimento para ensaios de microtermometria, polariscópio, refratômetro e microscópio gemológico.

Msc. Diego Melo Fernandes

Auxiliou em missões de campo, no tratamento e processamento de amostras, na elaboração de alguns diagramas e discussões. Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (2012). Foi professor substituto da Universidade Federal da Bahia no ano de 2016. Possui Mestrado em Geociências pela Universidade Federal de Sergipe na área de Petrologia. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase nos seguintes temas: Petrologia Ígnea, Química Mineral, Geoquímica e Prospeção.

Atualmente é aluno de doutorado no Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia.

Geólogo André Luiz Rezende Lima

Auxiliou nos trabalhos de campo, na coleta, tratamento e processamento de amostras. Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal de Sergipe (2018). Atualmente é aluno de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias da Universidade Federal de Sergipe (PGAB-UFS).

Msc. Caroline Bomfim Santana Simões

Possui experiência no setor de rochas ornamentais, contribuindo no tratamento de dados e discussões do trabalho. Possui graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia (2014), mestrado em Geologia da Universidade Federal da Bahia (2018). Atua no setor de Rocha Ornamental, sendo responsável pelo gerenciamento das áreas de Mineração, Meio Ambiente e Prospecção Geológica da empresa Petrus Mineração. Trabalhou na empresa Hammer Consultoria como coordenadora do setor de mineração.

APÊNDICE B – Detalhamento dos métodos de trabalho desenvolvidos

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi necessário aplicar uma metodologia que permitisse realizar a coleta de dados, análises, reflexões e conclusões. Assim sendo, o presente trabalho foi dividido em várias etapas. Em cada uma delas objetivou-se atingir as metas propostas nesta pesquisa. Desta forma, iniciaram-se os estudos com a reunião de dados bibliográficos, seguido da realização de missões de campo; preparação de amostras e etapa laboratorial.

Levantamento Bibliográfico

Consistiu do levantamento de dados disponíveis sobre as granitogênese que ocorre na Província Borborema, sobretudo nos corpos de afinidade shoshonítica e ultrapotássica do Sistema Orogênico Sergipano, e de outras regiões orogênicas (e.g. Província Romana – Conticelli et al., 2009). Nesta etapa foram consultados artigos científicos, dissertações, teses, projetos de mapeamento e anais de eventos que abordassem o tema.

Trabalhos de Campo

Foram realizadas 10 missões de campo, com o propósito de reconhecer as diferentes rochas presentes na área de estudo. No total foram visitados cerca de 150 afloramentos. Em cada afloramento coletou-se as coordenadas geográficas em UTM com o GPS, utilizando o Datum SAD69 (South American Datum 1969) como referência. As rochas identificadas nesses afloramentos tiveram seus aspectos textuais e mineralógicos observados com auxílio de uma lupa. Medidas estruturais (mergulho, direção, acamamento, lineação mineral, etc.) foram coletadas com auxílio de uma bússola geológica. Um total de 96 amostras de rochas, representativas dos tipos petrográficos identificados, foram coletadas, devidamente identificadas e acondicionadas em sacos plásticos.

Preparação das amostras

As amostras coletadas durante os trabalhos de campo foram lavadas em água corrente e secas a temperatura ambiente, com o intuito de eliminar resíduos orgânicos ou de solo, e tiveram as superfícies de alteração removidas. Após estes processos, foram

escolhidas amostras representativas para os estudos petrográfico, mineraloquímico, geoquímico, geocronológico e isotópico.

As amostras selecionadas para o estudo petrográfico foram reduzidas até atingirem 10x5 cm de tamanho, para a confecção de lâminas delgado-polidas. Estas lâminas foram feitas no Laboratório de Laminação da Superintendência de Salvador do Serviço Geológico do Brasil.

As rochas selecionadas para o estudo geoquímico dos elementos maiores seguiram a metodologia de preparação de amostras para análise em Fluorescência de raios-X descrita em Pereira (2016). As análises foram executadas a partir de pastilhas, cujo processo de obtenção compreende as etapas de britagem, moagem, homogeneização e compactação.

Os concentrados de zircão para a datação U-Pb foram obtidos pelas técnicas de britagem, moagem, peneiramento, mesa vibratória, separação eletromagnética, líquidos densos e catação manual com lupa binocular. Foram selecionados cerca de 50 cristais por amostra, montados em resina epóxi junto com o zircão de referência TEMORA 2. Os grãos foram fotografados em luz refletida e transmitida, em seguida eles foram metalizados com ouro. Após isso, foram feitas imagens de catodoluminescência, a fim de observar a estruturação interna dos cristais, facilitando a seleção dos cristais e das zonas a serem analisadas.

Estudo Petrográfico

O estudo petrográfico consistiu na descrição de lâminas delgado-polidas, no Laboratório de Petrografia e Metalografia do Condomínio dos Laboratórios Multiusuários das Geociências da Universidade Federal de Sergipe (CLGeo-UFS). Para tal, foi utilizado o microscópio de luz refletida e transmitida da marca Opton, modelo TNP-09T.

A análise petrográfica consistiu da identificação dos minerais, do reconhecimento e descrição de texturas, estruturas e morfologia dos cristais. As composições modais foram realizadas com o auxílio de contador de pontos automático, da marca SWIFT, modelo F, acoplado em um microscópio petrográfico Leitz, modelo Laborlux 12 Pol 15, com contagem média de cerca de 2.500 pontos por lâmina delgada.

A nomenclatura das rochas seguiu a terminologia proposta pela International Union of Geological Sciences (IUGS) para as rochas ígneas plutônicas. Utilizou-se para isso, o diagrama QAP, onde: Q corresponde ao percentual de quartzo; A corresponde ao

percentual de feldspato alcalino mais plagioclásio com menos de 5% da molécula de anortita (An) e P corresponde ao percentual de plagioclásio com mais de 5% de An.

As fotomicrografias foram obtidas com microscópio da marca Olympus BX 41 com uma câmera acoplada Olympus SC30, utilizando-se o software Cell[^]B Olympus (2008). As abreviaturas dos nomes dos minerais seguiram a proposta de Witney & Evans (2010).

Estudo Mineraloquímico

As composições químicas pontuais dos cristais foram obtidas a partir de análises por dispersão de comprimento de onda (WDS) e de energia dispersiva (EDS).

As análises com WDS foram realizadas no Laboratório de Microanálises, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará (LABMEV-UFGPA) e no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG-UnB). O equipamento utilizado, em ambos os laboratórios, foi a microsonda eletrônica JEOL JXA-8230. As condições analíticas, nos dois laboratórios, foram: voltagem de aceleração constante de 20 kV, corrente de feixe de elétrons de 20 nA, diâmetro do feixe de elétrons de 10 μ m, o tempo de contagem para análise de elementos maiores e menores foi de 20 s e 40 s, respectivamente.

O EDS utilizado é da marca Oxford Instrument®, modelo X-Act, e encontra-se acoplado ao microscópio eletrônico de varredura, da marca Tescan®, modelo Vega 3 LMU, do Laboratório de Microanálises do CLGeo-UFS. As condições analíticas adotadas neste estudo foram: aceleração potencial de 20 kV e intensidade de corrente variando de 17 nA, gerando um feixe com diâmetro de 400 nm, o tempo de análise foi de 30 s. O EDS-MEV do CLGeo é calibrado com a energia do cobre e o grau de confiança das análises é avaliado a partir da análise de padrões internacionais ASTMEX. As incertezas analíticas, dadas pela diferença entre os valores certificados e aqueles obtidos com o EDS, foram inferiores a 2% para os elementos com conteúdo superiores a 10% em peso e de até 20% para elementos com teores inferiores a 5% em peso.

Estudo Geoquímico

Foram adquiridos dados geoquímicos para amostras representativas das rochas estudadas. Os teores dos elementos maiores foram dosados a partir dos métodos de Fluorescência de Raios-X, nas dependências do Laboratório de Fluorescência de Raios-X do CLGeo-UFS; e por Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES), junto aos laboratórios comerciais Acme Analytical Laboratories Ltda. e ALS

Laboratories. Os elementos menores e traços foram dosados por Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) no Acme Analytical Laboratories Ltda. e no ALS Laboratories.

Os dados químicos foram analisados e tratados com auxílio do software Geochemical Data Toolkit for Windows 4.1 (Janoušek et al., 2006).

Estudo Geocronológico U-Pb_{SHRIMP}

As determinações das razões isotópicas foram executadas no Laboratório de Geocronologia de Alta Resolução do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (GeoLab-IGc-USP). O equipamento utilizado foi o SHRIMP IIe/MC (Sensitive High Resolution Ion Micro-Probe), as condições analíticas deste equipamento estão detalhadas em Sato et al., (2014). Os procedimentos seguiram os mesmos preconizados em Compston et al., (1984) e Williams (1997).

O padrão de zircão usado para a medição das concentrações e das razões isotópicas foi o TEMORA 2 ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ $416,8 \pm 0,3$ Ma; Black et al., 2004). Os erros nos índices isotópicos e nas idades são na escala de 1σ . Os resultados finais das análises foram calculados e lançados em diagramas com auxílio do programa SQUID/Excel macro (Ludwing, 2009).

Estudo Isotópico Sm-Nd

As amostras de rocha analisadas foram previamente fragmentadas, britadas e então pulverizadas numa fração menor que 200 mesh. Posteriormente procedeu-se a abertura química das amostras com auxílio dos ácidos HNO_3 , HF e HCl, e a separação química dos ETR's, possibilitando a posterior separação dos elementos Sm e Nd, com o suporte de colunas de teflon e dos ácidos HCl e HNO_3 , seguindo o procedimento descrito por Glória & Pimentel (2000). Informações detalhadas sobre as condições analíticas e os equipamentos utilizados podem ser encontradas em Barreto et al., (2014).

As análises espectrométricas foram realizadas no ICP-MS, modelo Neptune da marca Thermo-Finnigan do Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará (Pará-Iso – UFPA). As razões isotópicas do Nd foram normalizadas usando a razão $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$, e a constante de decaimento $6,54 \times 10^{-12} \text{ y}^{-1}$ (Lugmair & Marti, 1978).

Referências

- Barreto, C. J. S., Lafon, J. M., da Rosa Costa, L. T., & Lima, E. F. 2014. Palaeoproterozoic (~ 1.89 Ga) felsic volcanism of the Iricoumé Group, Guyana Shield, South America: geochemical and Sm-Nd isotopic constraints on sources and tectonic environment. *International Geology Review*, 56(11), 1332-1356.
- Black, L.P., Kamo, S.L., Allen, C.M., Davis, D.W., Aleinikoff, J.N., Valley, J.W., Mundi, R., Campbell, I.H., Korsch, R.J., Williams, I.S., Foudoulis, C. 2004. Improved $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chem. Geol.* 205, 115–140.
- Compston, W., Williams, I.S., Meyer, C., 1984. U-Pb geochronology of zircon from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass resolution ion microprobe. *Journal of Geophysical Resources* 89, 525–534.
- Conticelli, S., Guarnieri, L., Farinelli, A., Mattei, M., Avanzinelli, R., Bianchini, G., Boari, E., Tommasini, S., Tiepolo, M., Prelević, D., Venturelli, G. 2009. Trace elements and Sr–Nd–Pb isotopes of K-rich, shoshonitic, and calc-alkaline magmatism of the Western Mediterranean Region: genesis of ultrapotassic to calc-alkaline magmatic associations in a post-collisional geodynamic setting. *Lithos*, 107(1-2), 68-92.
- Glória, S. M. C. L., & Pimentel, M. M. 2000. The Sm-Nd isotopic method in the geochronology laboratory of the University of Brasília. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 72(2), 219-245.
- Janoušek, V., Farrow, C. M., Erban, V. 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*, 47(6), 1255–1259.
- Ludwig, K., 2009. SQUID 2: a User's Manual, Rev. 12 Apr, 2009. Berkeley Geochronology Center Special Publication 5, 110 p.
- Lugmair, G.W., and Marti, K., 1978, Lunar initial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$: Differential evolution of the lunar crust and mantle: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 39, p. 349–357. doi:10.1016/0012-821X(78)90021-3.
- Pereira, F.S. 2016. Petrografia, Química Mineral e Geoquímica do Stock leucogranítico Lagoa de Dentro, Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Sergipe, Trabalho de Conclusão de Curso, 123p.
- Sato, K., Tassinari, C.C.G., Basei, M.A.S., Junior, O.S., Onoe, A.T., Souza, M.D., 2014. Sensitive high resolution ion microprobe (SHRIMP IIe/MC) of the Institute of

Geosciences of the University of Sao Paulo, Brazil: analytical method and first results.

Geol. Usp. Serie Cientifica 14, 3–18.

Whitney, D. L., Evans, B. W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals.

American Mineralogist, 95(1), 185–187.

Williams, I.S., 1997. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe: not just ages but histories. Rev. Econ. Geol. 7, 1–35.

APÊNDICE C – Análises mineralógicas

Apêndice C.1. Análises químicas pontuais de feldspatos

Lâmina	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-
	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	3A	192	192	192	192	192
Biotita Hornblenda Quartzo-Monzonito Porfírica																				
Fácies																				
Análise	27	28	29	30	31	32	33	34	39	40	57	58	1	2	3	4	5	6		
SiO₂	63,7	64,0	64,4	68,3	68,3	61,3	60,8	64,7	63,5	68,1	64,0	67,4	59,0	58,9	59,0	60,8	58,9	61,4		
Al₂O₃	19,3	18,8	18,7	20,0	19,8	24,7	25,1	22,5	23,2	20,0	22,7	20,4	26,3	26,6	26,4	25,3	26,3	24,4		
CaO				0,3	0,2	5,4	6,0	3,2	3,9	0,4	3,8	0,8	7,6	7,4	7,4	6,3	7,6	5,4		
Na₂O	1,2	0,7	0,6	11,4	11,6	8,3	8,2	9,7	9,2	11,5	9,5	11,3	7,1	7,1	7,2	7,7	7,1	8,6		
K₂O	13,9	15,5	15,5		0,1	0,3			0,2			0,1						0,2		
BaO	1,8	0,9	0,8																	
Total	99,9	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,1	100,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,1	99,9	100,0		
Fórmula estrutural calculada com base em 8 oxigênios																				
Si	2,958	2,974	2,984	2,980	2,984	2,720	2,697	2,844	2,803	2,975	2,822	2,951	2,629	2,623	2,628	2,694	2,628	2,726		
Al	1,057	1,030	1,021	1,029	1,020	1,292	1,312	1,166	1,207	1,030	1,180	1,053	1,381	1,396	1,386	1,321	1,383	1,276		
Ca				0,014	0,009	0,257	0,285	0,151	0,184	0,019	0,180	0,038	0,363	0,353	0,353	0,299	0,363	0,256		
Na	0,108	0,063	0,054	0,965	0,983	0,714	0,705	0,827	0,787	0,974	0,812	0,959	0,613	0,613	0,622	0,662	0,614	0,740		
K	0,823	0,919	0,916		0,006	0,017			0,011			0,006						0,011		
Ba	0,033	0,016	0,015																	
Total	4,979	5,002	4,990	4,988	5,001	5,000	5,000	4,987	4,993	4,997	4,994	5,006	4,987	4,985	4,990	4,976	4,988	5,011		
Membros Finais																				
Or	85,40	92,04	93,05		0,56	1,72			1,15			0,56						1,12		
Ab	11,21	6,32	5,48	98,57	98,50	72,29	71,21	84,58	80,09	98,11	81,90	95,70	62,83	63,45	63,78	68,86	62,83	73,40		
An				1,43	0,94	25,99	28,79	15,42	18,76	1,89	18,10	3,74	37,17	36,55	36,22	31,14	37,17	25,47		
Cs	3,40	1,64	1,48															0		

Or = 100 * [K/(Na+K+Ca+Ba)]
 Ab = 100 * [Na/(Na+K+Ca+Ba)]
 An = 100 * [Ca/(Na+K+Ca+Ba)]
 Cs = 100 * [Ba/(Na+K+Ca+Ba)]

Apêndice C.1. Análises químicas pontuais de feldspatos (continuação)

Lâmina	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192
Biotita Horriblenda Quartzo-Monzonito Porfirítica																			
Fácies	81	82	83	84	85	86	87	88	92	93	94	95	96	97	106	113	114	115	
Análise	81	82	83	84	85	86	87	88	92	93	94	95	96	97	106	113	114	115	
SiO ₂	59,0	59,5	60,5	59,2	58,3	61,6	63,3	64,0	64,4	63,7	63,4	63,9	64,0	64,0	64,4	60,5	59,0	58,9	
Al ₂ O ₃	26,4	26,0	25,3	26,1	26,7	24,3	23,3	18,7	18,8	18,9	19,2	18,8	19,0	18,6	18,7	25,4	26,2	26,4	
CaO	7,4	6,9	6,3	7,4	8,1	5,1	4,1									6,2	7,5	7,4	
Na ₂ O	7,2	7,5	7,9	7,3	6,9	8,7	9,1	0,8	1,3	0,7	0,8	0,9	0,9	0,7	0,9	7,9	7,3	7,3	
K ₂ O		0,2				0,2	0,3	15,3	15,1	14,9	15,3	15,2	15,2	15,7	15,5				
BaO								1,3	0,5	1,7	1,3	1,2	0,9	0,9	0,5				
Total	100,0	100,1	100,0	100,0	100,0	99,9	100,1	100,1	100,1	99,9	100,0	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Fórmula estrutural calculada com base em 8 oxigênios																			
Si	2,628	2,648	2,687	2,638	2,603	2,735	2,795	2,975	2,976	2,969	2,952	2,971	2,968	2,978	2,981	2,686	2,630	2,625	
Al	1,386	1,364	1,324	1,371	1,405	1,272	1,212	1,025	1,024	1,038	1,054	1,030	1,039	1,020	1,020	1,329	1,377	1,38	
Ca	0,353	0,329	0,300	0,353	0,388	0,243	0,194									0,295	0,358	0,353	
Na	0,622	0,647	0,680	0,631	0,597	0,749	0,779	0,072	0,116	0,063	0,072	0,081	0,081	0,063	0,081	0,680	0,631	0,630	
K		0,011				0,011	0,017	0,907	0,890	0,886	0,909	0,901	0,899	0,932	0,915				
Ba								0,024	0,009	0,031	0,024	0,022	0,016	0,016	0,009				
Total	4,990	4,999	4,991	4,992	4,993	5,009	4,997	5,002	5,015	4,987	5,011	5,005	5,003	5,009	5,007	4,990	4,997	4,996	
Membros Finais																			
Or		1,15				1,13	1,71	90,45	87,64	90,38	90,45	89,75	90,24	92,13	91,06				
Ab	63,78	65,53	69,41	64,10	60,65	74,68	78,70	7,19	11,47	6,45	7,19	8,08	8,12	6,24	8,04	69,75	63,79	64,09	
An	36,22	33,32	30,59	35,90	39,35	24,19	19,59									30,25	36,21	35,90	
Cs								2,36	0,89	3,17	2,36	2,18	1,64	1,62	0,90				

Apêndice C.1. Análises químicas pontuais de feldspatos (continuação)

Lâmina	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F		
Biotita Hornblenda Quartzo-Monzonito																										
Fácies																								Enclave		
Análise	48	49	50	52	60	62	63	64	65	66	67	76	77	80	81	1	2	3								
SiO ₂	63,7	64,7	68,6	64,8	64,1	64,2	63,9	68,0	64,5	67,2	67,3	63,5	64,3	64,0	68,1	62,2	67,9	64,3								
Al ₂ O ₃	22,8	22,4	19,6	19,0	22,7	18,9	22,8	20,2	22,5	20,6	20,7	23,1	22,5	22,6	20,1	24,1	20,4	18,9								
CaO	3,8	2,8	0,3		3,5		3,4	0,5	3,1	1,1	0,9	3,8	3,2	3,4	0,4	4,5	0,4									
Na ₂ O	9,5	9,9	11,4	0,9	9,5	0,7	9,7	11,3	9,7	11,0	11,0	9,3	9,7	9,8	11,4	9,0	11,2	0,7								
K ₂ O	0,1	0,2	0,1	15,3	0,2	15,7	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,0	0,2		15,5								
BaO						0,6												0,6								
Total	99,9	100,0	100,0	100,0	100,0	100,1	100,0	100,1	100,0	100,1	100,0	100,0	99,9	100,0	100,0	100,0	99,9	100,0								
Fórmula estrutural calculada com base em 8 oxigênios																										
Si	2,815	2,848	2,994	2,982	2,827	2,973	2,820	2,968	2,841	2,941	2,944	2,805	2,837	2,825	2,974	2,754	2,966	2,977								
Al	1,187	1,162	1,008	1,031	1,180	1,032	1,186	1,039	1,168	1,063	1,067	1,203	1,170	1,176	1,034	1,258	1,050	1,031								
Ca	0,180	0,132	0,014		0,165		0,161	0,023	0,146	0,052	0,042	0,180	0,151	0,161	0,019	0,213	0,019									
Na	0,814	0,845	0,965	0,080	0,812	0,063	0,830	0,956	0,828	0,933	0,933	0,796	0,830	0,839	0,965	0,773	0,949	0,063								
K	0,006	0,011	0,006	0,898	0,011	0,927	0,011	0,006	0,011	0,011	0,006	0,017	0,011	0,011		0,011		0,915								
Ba						0,011												0,011								
Total	5,001	4,999	4,987	4,992	4,995	5,006	5,008	4,993	4,995	5,000	4,992	5,001	4,999	5,012	4,992	5,009	4,983	4,997								
Membros Finais																										
Or	0,56	1,14	0,57	91,79	1,14	92,63	1,12	0,57	1,14	1,12	0,57	1,70	1,13	1,11	1,13	1,13	98,06	92,55								
Ab	81,44	85,50	98,01	8,21	82,14	6,28	82,83	97,06	84,02	93,70	95,13	80,19	83,62	82,98	98,10	77,46	98,06	6,354								
An	18,00	13,36	1,43		16,72		16,04	2,37	14,84	5,18	4,30	18,11	15,24	15,91	1,90	21,40	1,94									
Cs						1,09												1,100								

Apêndice C.1. Análises químicas pontuais de feldspatos (continuação)

Lâmina	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F
Fácies	Enclave																		
Análise	37	38	39	40	58	59	62	63	64	71	72	73	80	81	82	83	90	91	
SiO ₂	64,8	64,1	64,0	63,9	64,4	64,2	67,5	63,6	64,5	64,3	64,5	68,1	64,5	64,6	64,9	64,7	64,5	68,6	
Al ₂ O ₃	18,9	19,0	18,9	19,2	19,0	19,1	20,5	23,3	18,6	18,9	18,6	20,1	18,7	19,0	18,8	18,9	18,8	19,8	
CaO							0,6	3,8				0,4						0,3	
Na ₂ O	0,9	0,8	0,6	0,7	0,9	0,7	11,2	9,2	0,7	0,7	0,6	11,4	0,6	0,9	0,6	0,6	0,7	11,2	
K ₂ O	15,0	15,3	15,7	15,3	15,3	15,2	0,2		15,5	15,6	15,8		15,8	15,6	15,7	15,7	15,7	15,7	
BaO	0,3	0,9	0,7	0,9	0,6	0,6			0,5	0,5	0,5		0,4				0,3		
Total	99,9	100,1	99,9	100,0	100,1	100,0	100,0	99,9	99,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,1	100,0	99,9	100,0	99,9	
Fórmula estrutural calculada com base em 8 oxigênios																			
Si	2,987	2,970	2,972	2,963	2,975	2,970	2,953	2,805	2,984	2,976	2,987	2,974	2,985	2,977	2,990	2,985	2,982	2,993	
Al	1,027	1,038	1,034	1,049	1,034	1,042	1,057	1,211	1,014	1,031	1,015	1,034	1,020	1,032	1,021	1,028	1,024	1,018	
Ca							0,028	0,180				0,019						0,014	
Na	0,080	0,072	0,054	0,063	0,081	0,063	0,950	0,787	0,063	0,063	0,054	0,965	0,054	0,080	0,054	0,054	0,063	0,947	
K	0,882	0,904	0,930	0,905	0,896	0,909	0,011		0,915	0,921	0,933		0,933	0,917	0,923	0,924	0,926		
Ba	0,005	0,016	0,013	0,016	0,011	0,011			0,009	0,009	0,009		0,007				0,005		
Total	4,981	5,000	5,003	4,996	4,996	4,995	4,999	4,983	4,997	5,000	4,999	4,992	4,998	5,006	4,987	4,990	5,000	4,972	
Membros Finais																			
Or	91,13	91,11	93,30	91,94	90,73	92,50	1,13	0,00	92,72	92,76	93,68	0,00	93,85	91,94	94,51	94,51	93,14		
Ab	8,31	7,24	5,42	6,39	8,17	6,39	96,03	81,42	6,37	6,33	5,41	98,10	5,42	8,06	5,49	5,49	6,31	98,54	
An							2,84	18,58				1,90							
Cs	0,56	1,65	1,28	1,66	1,10	1,11			0,92	0,91	0,91		0,73				0,55	1,46	

Apêndice C.1. Análises químicas pontuais de feldspatos (continuação)

Lâmina Facies	Enclave																			
	FDS- 3F	FDS- 3F	FDS- 3F	FDS- 3F	FDS- 3F	FDS- 3F	FDS- 3F	FDS- 3F	FDS- 3F	FDS- 3U	FDS- 3U	FDS- 3U	FDS- 3U	FDS- 3U	FDS- 3U	FDS- 3U	FDS- 3U	FDS- 3U	FDS- 3U	
Análise	92	99	100	102	103	108	109	113	21	22	26	28	34	35	36	42	43	45		
SiO ₂	64,3	64,3	64,4	64,5	64,9	64,7	64,4	64,4	64,7	67,6	64,7	64,5	64,4	64,3	68,5	69,1	64,5	68,0		
Al ₂ O ₃	18,9	18,8	18,8	18,9	18,9	19,0	18,9	19,0	18,7	20,4	19,0	18,8	18,9	19,0	20,0	19,6	18,6	20,2		
CaO										0,8					0,3	1,2		0,7		
Na ₂ O	0,5	0,7	0,8	0,8	0,5	0,6	0,9	0,9	0,6	11,2	0,9	0,6	0,7	0,5	11,2	10,1	0,6	11,0		
K ₂ O	15,8	15,5	15,4	15,3	15,8	15,7	15,3	15,0	15,6		15,3	15,6	15,4	15,5			15,6			
BaO	0,5	0,8	0,5	0,5			0,5	0,7	0,4		0,2	0,5	0,6	0,4			0,6			
Total	100,0	100,1	99,9	100,0	100,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,1	100,0	100,0	99,7	100,0	100,0	99,9	99,9		
Fórmula estrutural calculada com base em 8 oxigênios																				
Si	2,977	2,978	2,981	2,980	2,988	2,982	2,977	2,976	2,9893	2,955	2,980	2,983	2,979	2,978	2,986	3,005	2,989	2,971		
Al	1,032	1,026	1,026	1,029	1,026	1,032	1,030	1,035	1,0184	1,051	1,031	1,025	1,030	1,037	1,028	1,005	1,016	1,040		
Ca										0,037					0,014	0,056		0,033		
Na	0,045	0,063	0,072	0,072	0,045	0,054	0,081	0,081	0,0538	0,949	0,080	0,054	0,063	0,045	0,947	0,852	0,054	0,932		
K	0,933	0,916	0,909	0,902	0,928	0,923	0,902	0,884	0,9194		0,899	0,920	0,909	0,916			0,922			
Ba	0,009	0,015	0,009	0,009			0,009	0,013	0,0072		0,004	0,009	0,011	0,007			0,011			
Total	4,996	4,998	4,997	4,992	4,986	4,990	4,999	4,989	4,988	4,994	4,994	4,991	4,992	4,983	4,974	4,918	4,991	4,975		
Membros Finais																				
Or	94,53	92,21	91,83	91,78	95,41	94,51	90,95	90,45	93,778		91,45	93,61	92,50	94,61			93,43			
Ab	4,55	6,33	7,25	7,30	4,59	5,49	8,13	8,25	5,483	96,20	8,18	5,47	6,39	4,64	98,54	93,84	5,46	96,60		
An										3,80					1,46	6,16		3,40		
Cs	0,92	1,46	0,92	0,92			0,91	1,30	0,7387		0,37	0,92	1,11	0,75			1,10			

Anexo C.2. Análises químicas pontuais de anfíbólio

Lâmina	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A	FDS-3A
Fácies	Biotita Hornblenda Quartzo-Monzonito Porfírica																			
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	13	14	15	16	17	18	35	36	41	42		
SiO ₂	45,2	45,1	45,8	46,2	45,3	45,7	45,8	46,2	45,9	51,5	44,5	51,7	44,5	51,0	45,3	44,4	44,5	44,0		
TiO ₂	1,6	1,4	1,0	0,8	1,1	0,7	0,7	0,6	1,2		1,1		1,4		1,4	1,7	1,7	1,6		
Al ₂ O ₃	9,1	9,0	8,8	8,3	9,1	9,2	9,0	8,7	8,5	4,5	9,7	4,3	9,8	4,9	8,9	9,6	9,6	9,9		
Fe ₂ O ₃	2,4	4,2	2,7	3,7	3,6	3,4	3,9	1,6	4,0	4,4	4,2	3,9	2,8	3,6	2,9	2,6	2,7	4,5		
FeO	13,9	12,9	14,1	13,2	13,4	13,7	13,0	15,2	12,8	9,7	13,3	10,4	14,7	11,0	13,3	13,9	13,9	13,4		
MnO	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5	0,3	0,5	0,4	0,4	0,5		0,3	0,4	0,3	0,5	0,4		
MgO	11,3	11,4	11,2	11,7	11,2	11,2	11,3	11,0	11,6	14,8	10,9	14,4	10,6	14,2	11,6	11,2	11,0	10,5		
CaO	11,5	11,4	11,7	11,6	11,5	11,6	11,4	11,8	11,7	12,0	11,5	11,9	11,6	12,0	11,6	11,6	11,6	11,3		
Na ₂ O	1,8	1,8	1,6	1,7	1,8	1,7	1,7	1,7	1,4	0,8	1,8	0,8	1,6	1,0	1,8	1,9	1,8	1,8		
K ₂ O	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	1,1	0,5	1,2	0,5	1,4	0,5	1,1	1,3	1,2	1,2		
Total	98,3	98,6	98,3	98,7	98,5	98,7	98,5	98,2	98,7	98,6	98,6	98,4	98,4	98,5	98,3	98,5	98,5	98,6		
Fórmula estrutural calculada com base em 23 oxigênios																				
Si	6,705	6,670	6,788	6,815	6,708	6,750	6,769	6,864	6,765	7,387	6,607	7,439	6,627	7,357	6,714	6,598	6,614	6,545		
Aliv	1,295	1,330	1,212	1,185	1,292	1,250	1,231	1,136	1,235	0,613	1,393	0,561	1,373	0,643	1,286	1,402	1,386	1,455		
Alvi	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000		
Ti	0,300	0,242	0,329	0,264	0,299	0,354	0,341	0,392	0,247	0,150	0,305	0,171	0,348	0,190	0,273	0,280	0,297	0,280		
Fe ³⁺	0,175	0,153	0,109	0,087	0,120	0,076	0,076	0,066	0,130		0,120		0,154		0,153	0,186	0,186	0,175		
Fe ²⁺	0,268	0,470	0,303	0,408	0,402	0,382	0,435	0,180	0,446	0,477	0,469	0,422	0,313	0,390	0,322	0,290	0,301	0,500		
Mn	1,727	1,592	1,751	1,625	1,662	1,689	1,602	1,891	1,572	1,158	1,649	1,255	1,835	1,326	1,647	1,732	1,722	1,670		
Mg	0,037	0,037	0,037	0,049	0,049	0,037	0,061	0,037	0,061	0,048	0,049	0,060		0,036	0,049	0,037	0,062	0,049		
Ca	2,494	2,507	2,470	2,567	2,467	2,462	2,485	2,433	2,543	3,167	2,408	3,093	2,350	3,058	2,556	2,475	2,432	2,325		
Na	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000		
K	1,823	1,802	1,853	1,829	1,820	1,831	1,801	1,874	1,843	1,839	1,824	1,830	1,845	1,849	1,837	1,841	1,842	1,796		
Na	0,508	0,506	0,451	0,477	0,507	0,477	0,478	0,480	0,392	0,218	0,508	0,219	0,453	0,274	0,507	0,537	0,508	0,509		
K	0,223	0,203	0,204	0,203	0,204	0,222	0,222	0,204	0,203	0,090	0,223	0,090	0,261	0,090	0,204	0,242	0,223	0,223		
Total	2,554	2,512	2,508	2,509	2,530	2,530	2,501	2,558	2,438	2,147	2,555	2,139	2,559	2,214	2,548	2,619	2,573	2,528		

Anexo C.2. Análises químicas pontuais de anfibólio (continuação)

Lâmina a	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 200	FDS- 200	
	Biotita Hornblenda Quartzo-Monzonito																					
Fácies																						
Análise	50	51	52	55	56	57	67	68	69	70	72	73	74	77	78	9	10					
SiO ₂	43,5	44,5	43,1	43,4	44,0	42,9	45,2	45,6	45,3	44,0	45,9	46,3	43,7	44,8	40,2	43,7	43,7					
TiO ₂	1,0	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,9	0,8	0,7	0,9	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7					
Al ₂ O ₃	10,5	9,8	11,5	10,9	10,9	11,9	9,3	9,1	9,1	10,8	9,2	8,3	11,2	10,1	9,2	10,0	10,4					
Fe ₂ O ₃	3,8	4,4	4,0	3,8	6,1	4,4	5,0	3,6	3,8	4,1	3,5	3,5	3,5	4,0	3,5	3,5	4,2					
FeO	14,8	13,9	14,7	15,0	12,8	14,3	12,6	13,7	13,7	13,8	13,4	13,7	14,6	14,0	14,9	14,8	14,8					
MnO	0,6	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5					
MgO	9,6	10,2	9,3	9,4	9,9	9,2	10,9	10,9	10,8	10,1	11,0	11,2	9,6	10,1	9,6	9,8	9,7					
CaO	11,3	11,1	11,2	11,5	11,1	11,2	11,1	11,4	11,4	11,3	11,3	11,5	11,2	11,1	20,8	11,2	11,3					
Na ₂ O	1,9	1,8	1,9	1,8	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,9	1,7	1,7	2,0	1,9					
K ₂ O	1,5	1,4	1,6	1,5	1,5	1,8	1,4	1,1	1,2	1,5	1,2	1,1	1,5	1,4	1,3	1,5	1,6					
Total	98,5	98,4	98,4	98,5	98,7	98,5	98,8	98,6	98,5	98,6	98,6	98,5	98,3	98,4	98,1	97,8	98,8					
Fórmula estrutural calculada com base em 23 oxigênios																						
Si	6,527	6,637	6,467	6,517	6,545	6,434	6,683	6,748	6,725	6,554	6,774	6,852	6,541	6,667	6,226	6,599	6,543					
Aliv	1,473	1,363	1,533	1,483	1,455	1,566	1,317	1,252	1,275	1,446	1,226	1,148	1,459	1,333	1,682	1,401	1,457					
	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,908	8,000	8,000					
Alvi	0,381	0,360	0,493	0,441	0,452	0,528	0,306	0,339	0,321	0,447	0,378	0,306	0,511	0,439	0,377	0,377	0,376					
Ti	0,111	0,099	0,077	0,066		0,066	0,087	0,098	0,088	0,077	0,098	0,066	0,077	0,088	0,078	0,078	0,077					
Fe ³⁺	0,426	0,494	0,454	0,427	0,686	0,496	0,561	0,398	0,429	0,459	0,386	0,390	0,391	0,444	0,398	0,398	0,470					
Fe ²⁺	1,860	1,731	1,844	1,886	1,593	1,789	1,561	1,701	1,701	1,714	1,660	1,698	1,829	1,740	1,930	1,867	1,849					
Mn	0,075	0,050	0,050	0,075	0,074	0,062	0,086	0,061	0,074	0,062	0,061	0,074	0,050	0,049	0,051	0,075	0,062					
Mg	2,148	2,267	2,081	2,105	2,195	2,058	2,399	2,401	2,387	2,241	2,417	2,467	2,142	2,240	2,218	2,206	2,165					
	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	4,200	5,000	5,000					
Ca	1,811	1,770	1,795	1,844	1,765	1,794	1,755	1,804	1,809	1,799	1,784	1,820	1,791	1,766	3,449	1,807	1,808					
Na	0,542	0,510	0,541	0,513	0,509	0,484	0,506	0,506	0,508	0,509	0,477	0,478	0,540	0,481	0,501	0,574	0,540					
K	0,281	0,261	0,300	0,281	0,279	0,337	0,259	0,204	0,223	0,279	0,222	0,204	0,281	0,261	0,252	0,283	0,299					
	2,634	2,541	2,636	2,639	2,552	2,616	2,520	2,514	2,540	2,587	2,482	2,502	2,612	2,508	4,201	2,664	2,648					

Anexo C.2. Análises químicas pontuais de anfíbólio (continuação)

Lâmina	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200
Fácies	Biotita Hornblenda Quartzo-Monzonito																				
Análise	11	14	15	30	31	32	35	36	37	51	53	54	55	71	72	73					
SiO ₂	43,4	43,1	43,4	42,9	42,8	43,2	44,2	43,5	43,6	43,9	42,8	42,8	43,2	45,8	44,9	44,1					
TiO ₂	0,7	0,4	0,4	0,9	1,0	0,8	1,1	1,1	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	1,0	0,8	0,8					
Al ₂ O ₃	10,9	11,3	11,1	11,1	11,1	10,8	9,9	10,2	10,9	11,0	11,4	11,0	11,1	8,1	9,1	10,1					
Fe ₂ O ₃	4,7	5,7	4,1	4,1	3,8	3,9	3,1	4,1	3,6	3,4	4,5	5,4	4,2	4,8	3,6	5,0					
FeO	14,0	13,3	14,6	15,1	15,4	15,0	15,7	14,9	15,7	15,1	14,7	14,1	14,8	13,3	14,6	13,5					
MnO	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,0	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6					
MgO	9,7	9,5	9,6	9,2	9,1	9,4	9,8	9,7	9,0	9,4	9,1	9,4	9,3	11,0	10,4	10,2					
CaO	11,1	11,2	11,5	11,3	11,3	11,4	11,2	11,3	11,2	11,3	11,3	11,1	11,4	11,4	11,3	11,3					
Na ₂ O	2,0	1,6	1,8	2,0	2,0	1,7	2,0	1,9	1,9	1,6	1,8	1,9	1,8	1,5	1,9	1,7					
K ₂ O	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,7	1,4	1,5	1,6	1,7	1,6	1,7	1,6	1,2	1,4	1,5					
Total	98,7	98,2	98,6	98,7	98,5	98,4	98,4	98,6	98,6	98,5	98,6	98,6	98,6	98,7	98,5	98,8					
Fórmula estrutural calculada com base em 23 oxigênios																					
Si	6,490	6,466	6,501	6,449	6,447	6,499	6,622	6,524	6,551	6,570	6,432	6,434	6,483	6,784	6,704	6,569					
Al iv	1,510	1,534	1,499	1,551	1,553	1,501	1,378	1,476	1,449	1,430	1,568	1,566	1,517	1,216	1,296	1,431					
Al vi	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000					
Ti	0,407	0,458	0,455	0,410	0,412	0,410	0,369	0,325	0,476	0,506	0,445	0,377	0,441	0,205	0,309	0,341					
Fe ³⁺	0,077	0,044	0,044	0,100	0,111	0,089	0,121	0,122	0,066	0,077	0,089	0,078	0,066	0,109	0,088	0,088					
Fe ²⁺	0,533	0,642	0,465	0,460	0,429	0,444	0,348	0,464	0,401	0,383	0,504	0,608	0,476	0,537	0,403	0,557					
Mn	1,746	1,669	1,830	1,892	1,940	1,885	1,972	1,871	1,974	1,885	1,847	1,768	1,860	1,650	1,825	1,677					
Mg	0,074	0,062	0,062	0,075	0,062	0,062	0,050	0,050	0,062	0,050	0,075	0,062	0,075	0,074	0,062	0,074					
Ca	2,162	2,125	2,144	2,063	2,045	2,109	2,189	2,169	2,019	2,099	2,041	2,107	2,082	2,425	2,313	2,263					
Na	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000					
K	1,774	1,795	1,840	1,814	1,818	1,832	1,793	1,810	1,798	1,807	1,814	1,782	1,827	1,805	1,804	1,799					
	0,568	0,456	0,512	0,571	0,572	0,486	0,569	0,541	0,542	0,455	0,514	0,542	0,513	0,422	0,539	0,481					
	0,299	0,300	0,300	0,282	0,282	0,320	0,262	0,281	0,300	0,318	0,300	0,319	0,300	0,222	0,261	0,279					
	2,641	2,551	2,651	2,667	2,672	2,637	2,625	2,633	2,641	2,580	2,628	2,644	2,640	2,450	2,604	2,559					

Anexo C.2. Análises químicas pontuais de anfíbio (continuação)

Lâmina	FDS-3U	FDS-3U	FDS-3U	FDS-3U	FDS-3U	FDS-12B3	FDS-12B3	FDS-12B3	FDS-12B3	FDS-12B3	FDS-12B3	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4
Fácies	Enclave																			
Análise	69	76	77	80	81	58	65	88	89	62	63	64	65	66	67	77	97			
SiO ₂	45,2	46,6	46,0	46,5	46,1	47,7	47,2	47,1	45,6	44,5	44,9	44,7	45,1	44,3	44,1	44,2	44,9			
TiO ₂	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	1,1	0,7	0,7	1,5	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,0	1,0	0,9			
Al ₂ O ₃	9,7	8,5	8,7	8,5	8,9	8,3	8,8	7,8	9,0	9,7	9,5	9,9	9,4	9,9	10,1	10,2	9,4			
Fe ₂ O ₃	3,5	3,3	4,2	3,7	4,2	2,8	3,3	3,2	2,5	5,7	3,9	3,7	5,0	5,3	3,4	4,5	4,6			
FeO	13,2	12,4	11,7	12,0	11,9	9,1	9,1	12,4	13,2	12,1	13,6	13,6	12,5	12,8	14,2	13,4	12,9			
MnO	0,5	0,3	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4			
MgO	11,2	12,2	12,2	12,4	12,0	14,6	14,3	12,6	11,8	11,2	10,8	10,9	11,2	10,7	10,5	10,5	11,2			
CaO	11,6	11,7	11,7	11,9	11,6	11,9	11,9	12,0	11,6	11,3	11,4	11,5	11,2	11,3	11,5	11,3	11,4			
Na ₂ O	1,8	1,5	1,6	1,5	1,6	1,7	1,7	1,4	1,8	1,9	1,8	1,8	1,9	1,8	1,9	1,9	1,9			
K ₂ O	1,2	1,1	1,0	1,0	1,1	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	1,1	1,1	1,4	1,3	1,2			
Total	98,7	98,4	98,5	98,7	98,7	98,3	98,2	98,5	98,4	98,9	98,6	98,6	98,6	98,6	98,5	98,7	98,8			
Fórmula estrutural calculada com base em 23 oxigênios																				
Si	6,677	6,844	6,760	6,808	6,765	6,884	6,838	6,909	6,730	6,579	6,669	6,633	6,666	6,572	6,580	6,567	6,646			
Aliv	1,323	1,156	1,240	1,192	1,235	1,116	1,162	1,091	1,270	1,421	1,331	1,367	1,334	1,428	1,420	1,433	1,354			
	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000			
Alvi	0,367	0,321	0,272	0,281	0,309	0,300	0,342	0,264	0,299	0,269	0,333	0,365	0,306	0,303	0,356	0,351	0,287			
Ti	0,087	0,087	0,098	0,086	0,087	0,117	0,075	0,076	0,163	0,098	0,099	0,098	0,098	0,120	0,110	0,110	0,098			
Fe ³⁺	0,392	0,366	0,466	0,413	0,465	0,306	0,362	0,348	0,278	0,629	0,432	0,409	0,555	0,589	0,378	0,497	0,507			
Fe ²⁺	1,631	1,526	1,439	1,473	1,461	1,101	1,097	1,514	1,635	1,492	1,687	1,684	1,542	1,588	1,774	1,670	1,592			
Mn	0,061	0,037	0,061	0,049	0,061	0,036	0,036	0,036	0,037	0,049	0,062	0,037	0,037	0,037	0,050	0,049	0,049			
Mg	2,462	2,663	2,665	2,698	2,618	3,140	3,088	2,762	2,589	2,463	2,388	2,407	2,463	2,363	2,333	2,322	2,466			
	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000			
Ca	1,831	1,837	1,838	1,862	1,820	1,833	1,839	1,878	1,830	1,785	1,810	1,824	1,770	1,792	1,833	1,794	1,803			
Na	0,505	0,419	0,447	0,418	0,447	0,466	0,468	0,390	0,505	0,534	0,508	0,508	0,534	0,507	0,539	0,536	0,535			
K	0,222	0,202	0,184	0,183	0,202	0,144	0,163	0,183	0,203	0,222	0,241	0,241	0,203	0,204	0,261	0,241	0,222			
	2,558	2,458	2,469	2,463	2,468	2,443	2,470	2,451	2,538	2,541	2,559	2,572	2,507	2,503	2,633	2,572	2,560			

Anexo C.2. Análises químicas pontuais de amfibólio (continuação)

Lâmina	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F
Fácies	Enclave																			
Análise	36	47	48	65	66	67	85	86	87	88	89	93	94	95	96	97	98	104		
SiO ₂	45,7	46,0	46,1	46,0	46,0	45,2	45,9	46,3	46,3	46,0	45,9	46,1	46,0	48,9	46,1	45,6	46,0	46,2		
TiO ₂	0,9	0,8	0,7	1,1	0,8	0,9	0,7	0,6	0,8	0,8	1,0	0,7	0,8	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7		
Al ₂ O ₃	9,1	8,9	8,8	8,7	8,9	9,1	8,9	8,9	8,6	9,0	9,0	8,7	8,7	6,9	9,1	9,4	8,9	8,6		
Fe ₂ O ₃	4,3	3,9	2,8	2,6	3,9	3,3	3,8	4,0	3,9	3,8	3,9	4,7	3,6	3,7	4,6	2,9	3,8	4,1		
FeO	12,2	12,4	13,4	12,8	11,9	13,4	12,5	12,4	12,6	12,2	12,1	11,4	12,6	11,0	11,8	13,8	12,6	12,3		
MnO	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3		
MgO	11,7	11,9	11,7	12,1	12,2	11,5	12,0	11,8	11,9	11,9	12,0	12,3	12,0	13,5	11,9	11,2	11,8	12,0		
CaO	11,5	11,6	11,6	11,8	11,7	11,8	11,8	11,6	11,6	11,5	11,4	11,6	11,7	12,0	11,4	11,7	11,6	11,6		
Na ₂ O	1,6	1,7	1,8	1,7	1,6	1,8	1,6	1,5	1,6	1,8	1,8	1,6	1,7	1,3	1,7	1,7	1,7	1,6		
K ₂ O	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0,7	1,0	1,2	1,1	1,1		
Total	98,6	98,7	98,5	98,4	98,5	98,7	98,6	98,5	98,7	98,6	98,5	98,6	98,6	98,4	98,6	98,6	98,6	98,5		
Fórmula estrutural calculada com base em 23 oxigênios																				
Si	6,729	6,763	6,807	6,779	6,761	6,691	6,757	6,806	6,804	6,760	6,750	6,767	6,776	7,107	6,764	6,744	6,774	6,798		
Aliv	1,271	1,237	1,193	1,221	1,239	1,309	1,243	1,194	1,196	1,240	1,250	1,233	1,224	0,893	1,236	1,256	1,226	1,202		
	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000		
Alvi	0,311	0,310	0,343	0,295	0,307	0,282	0,305	0,353	0,299	0,323	0,314	0,278	0,291	0,282	0,342	0,384	0,323	0,295		
Ti	0,098	0,087	0,076	0,120	0,087	0,098	0,076	0,065	0,087	0,087	0,108	0,076	0,087		0,076	0,076	0,076	0,076		
Fe ³⁺	0,475	0,430	0,308	0,291	0,433	0,370	0,423	0,443	0,429	0,424	0,428	0,514	0,396	0,400	0,507	0,321	0,421	0,455		
Fe ²⁺	1,505	1,524	1,654	1,583	1,459	1,657	1,533	1,523	1,548	1,505	1,490	1,401	1,549	1,339	1,443	1,704	1,548	1,512		
Mn	0,049	0,049	0,049	0,061	0,049	0,061	0,037	0,037	0,037	0,061	0,037	0,049	0,049	0,048	0,037	0,049	0,049	0,037		
Mg	2,562	2,601	2,569	2,650	2,665	2,532	2,626	2,580	2,600	2,600	2,623	2,683	2,628	2,930	2,596	2,465	2,584	2,625		
	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000		
Ca	1,810	1,823	1,831	1,858	1,838	1,866	1,856	1,823	1,823	1,807	1,793	1,820	1,842	1,862	1,789	1,849	1,826	1,825		
Na	0,448	0,475	0,505	0,476	0,447	0,507	0,448	0,419	0,447	0,503	0,503	0,447	0,476	0,359	0,474	0,478	0,476	0,448		
K	0,221	0,202	0,222	0,203	0,202	0,222	0,203	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,203	0,127	0,184	0,222	0,203	0,203		
	2,479	2,501	2,558	2,538	2,487	2,595	2,507	2,445	2,472	2,512	2,498	2,469	2,521	2,348	2,447	2,549	2,505	2,475		

Anexo C.2. Análises químicas pontuais de anfibólio (continuação)

Lâmina	FDS-3F	FDS-3F	FDS-3F	12B2	12B2	12B2	12B2	12B2	12B2	12B2	12B2	12B2	12B2	12B2	12B2
Fácies	Enclave														
Análise	105	120	121	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	14	15
SiO ₂	46,2	52,1	45,5	45,4	45,1	45,2	42,6	42,4	43,7	41,1	44,2	41,8	41,6	41,9	46,2
TiO ₂	0,7	0,0	0,8	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	0,9	1,6	1,3	1,8	1,2	2,0	0,7
Al ₂ O ₃	8,5	3,9	9,0	9,9	10,0	9,8	12,3	12,2	11,2	12,4	10,8	12,1	10,5	12,4	11,6
Fe ₂ O ₃	4,2	3,8	4,8	4,7	4,1	3,7	5,6	4,5	4,2	4,3	3,9	4,2	4,5	3,2	8,0
FeO	12,0	9,4	12,0	11,0	12,0	12,0	11,5	13,2	12,9	13,9	12,2	13,5	14,3	13,8	5,6
MnO	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,3
MgO	12,2	15,5	11,9	12,2	11,9	12,1	10,6	10,2	10,9	9,7	11,2	10,0	10,5	9,9	13,2
CaO	11,7	12,2	11,6	11,7	11,7	11,6	11,3	11,4	11,5	11,8	11,4	11,4	12,5	11,5	10,1
Na ₂ O	1,6	0,7	1,7	1,5	1,5	1,7	1,8	1,9	1,8	1,9	1,8	1,9	1,7	1,9	2,1
K ₂ O	1,1	0,5	1,1	1,2	1,3	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	1,7	1,4	1,6	1,1
Total	98,6	98,4	98,7	98,7	98,6	98,5	98,7	98,6	98,6	98,6	98,5	98,7	98,6	98,7	98,9
Fórmula estrutural calculada com base em 23 oxigênios															
Si	6,791	7,462	6,701	6,650	6,630	6,646	6,310	6,317	6,480	6,177	6,532	6,249	6,275	6,255	6,593
Al ^{iv}	1,209	0,538	1,299	1,350	1,370	1,354	1,690	1,683	1,520	1,823	1,468	1,751	1,725	1,745	1,407
	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{vi}	0,269	0,124	0,267	0,360	0,363	0,345	0,447	0,449	0,432	0,366	0,410	0,375	0,141	0,430	0,540
Ti	0,076		0,087	0,086	0,108	0,119	0,131	0,143	0,098	0,177	0,142	0,199	0,134	0,220	0,074
Fe ³⁺	0,463	0,407	0,529	0,517	0,456	0,412	0,623	0,507	0,464	0,487	0,429	0,475	0,505	0,364	0,863
Fe ²⁺	1,479	1,130	1,476	1,345	1,472	1,481	1,427	1,640	1,602	1,744	1,509	1,684	1,809	1,718	0,670
Mn	0,049	0,036	0,037	0,036	0,037	0,037	0,037	0,037	0,050	0,050	0,049	0,037	0,050	0,062	0,036
Mg	2,665	3,304	2,605	2,655	2,600	2,643	2,335	2,262	2,404	2,176	2,461	2,230	2,361	2,205	2,817
	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ca	1,838	1,864	1,826	1,831	1,838	1,823	1,787	1,813	1,821	1,895	1,800	1,823	2,030	1,836	1,545
Na	0,447	0,190	0,476	0,418	0,419	0,475	0,506	0,537	0,507	0,543	0,505	0,540	0,488	0,540	0,570
K	0,202	0,089	0,203	0,220	0,239	0,239	0,278	0,279	0,278	0,282	0,240	0,318	0,264	0,299	0,196
	2,488	2,143	2,504	2,469	2,496	2,537	2,571	2,630	2,606	2,720	2,546	2,681	2,782	2,675	2,311

Ca	1,865	1,821	1,783	1,849	1,836	1,853	1,821	1,833	1,820	1,822	1,853	1,877	1,831	1,857	1,844	1,852	1,805
Na	0,560	0,500	0,471	0,425	0,487	0,428	0,466	0,447	0,306	0,347	0,452	0,430	0,405	0,431	0,225	0,379	
K	0,289	0,294	0,206	0,187	0,213	0,170	0,173	0,174	0,088	0,120	0,180	0,176	0,155	0,170	0,054	0,140	
Ba	0,010		0,010	0,005	0,001		0,006	0,001		0,022	0,005		0,003	0,014	0,019		
Sr	0,004		0,022		0,001				0,011	0,012		0,002	0,023	0,015	0,015		
Ni		0,005	0,010	0,001	0,003	0,005	0,012	0,004	0,014	0,017	0,002	0,012	0,014	0,015	0,006	0,006	0,006
	2,728	2,620	2,502	2,467	2,572	2,558	2,424	2,491	2,445	2,241	2,371	2,515	2,451	2,456	2,490	2,171	2,330

Ca	1,216	1,811	1,851	1,861	1,864	1,859	1,867	1,843	1,872	1,833	1,826	1,823	1,863	1,856	1,835	1,848	1,844
Na	0,212	0,454	0,467	0,201	0,447	0,434	0,485	0,485	0,505	0,516	0,445	0,477	0,513	0,502	0,487	0,471	0,432
K	0,694	0,218	0,222	0,050	0,211	0,205	0,245	0,217	0,298	0,290	0,214	0,210	0,297	0,308	0,214	0,207	0,169
Ba			0,003	0,011			0,015	0,020		0,002		0,016	0,021	0,023	0,022		
Sr	0,017								0,006	0,005		0,014	0,009	0,004	0,017		
Ni	0,003	0,002	0,003	0,010	0,003	0,002	0,002		0,006	0,001		0,002			0,003	0,001	0,007
	2,142	2,485	2,546	2,133	2,526	2,500	2,614	2,565	2,686	2,647	2,485	2,542	2,703	2,693	2,579	2,527	2,452

Anexo C.2. Análises químicas pontuais de anfíbólio (continuação)

Lâmina	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AC	SOS-3AC	SOS-3AC	SOS-3AC	SOS-3AC	SOS-3BI	SOS-3BI	SOS-3BI	SOS-3BI	SOS-3AF	SOS-3AF	
Fácies	Enclave															
Análise	8	11	20	23	6	10	12	16	3	22	25	31	4	6	12	
SiO ₂	45,77	50,54	46,37	46,25	55,16	50,20	52,05	53,40	44,97	45,75	45,40	45,51	44,93	43,94	44,72	
TiO ₂	0,80	0,27	0,70	0,50	0,13	0,70	0,48	0,35	1,18	0,95	0,67	0,84	0,72	0,76	0,88	
Al ₂ O ₃	8,24	5,77	8,56	9,06	2,72	6,81	5,04	4,17	9,41	8,77	9,54	9,01	9,68	10,15	10,37	
Cr ₂ O ₃	0,04	0,04	0,11	0,06	0,15	0,12	0,11	0,16	0,28	1,39	2,63	0,06	0,04	0,13	0,02	
Fe ₂ O ₃	3,35	1,61	2,72	3,50	1,53	3,32	1,88	1,34	3,27	3,68	2,63	3,34	3,09	3,16	4,30	
FeO	11,99	11,15	12,37	11,91	5,09	5,42	6,14	6,04	13,38	12,34	13,58	13,04	13,88	14,23	12,53	
MnO	0,44	0,32	0,36	0,41	0,19	0,19	0,20	0,15	0,45	0,41	0,40	0,43	0,42	0,41	0,46	
MgO	12,11	14,40	12,28	11,78	19,33	17,06	17,75	18,50	11,01	11,63	11,21	11,39	10,70	10,15	10,75	
CaO	11,58	12,09	11,84	11,48	12,45	11,69	12,12	12,39	11,56	11,61	11,73	11,52	11,61	11,45	11,31	
Na ₂ O	1,53	1,07	1,49	1,43	0,57	1,29	1,09	0,96	1,61	1,62	1,59	1,64	1,58	1,64	1,60	
K ₂ O	0,93	0,56	0,98	0,90	0,20	0,86	0,47	0,38	1,11	1,02	1,11	1,07	1,12	1,28	1,12	
BaO	0,04	0,05	0,14	0,01				0,03		0,02	0,08	0,06		0,08	0,01	
SnO	0,06	0,07	0,10	0,09	0,01				0,16		0,12	0,04		0,04		
NiO	0,04	0,03	0,04	0,02	0,00	0,02	0,04	0,05	0,01			0,04		0,03		
Total	96,88	97,97	98,06	97,34	97,53	97,68	97,37	97,92	98,4	99,19	98,06	97,95	97,85	97,37	98,07	
Fórmula estrutural calculada com base em 23 oxigênios																
Si	6,836	7,313	6,844	6,848	7,714	7,135	7,386	7,508	6,672	6,707	6,744	6,758	6,702	6,617	6,626	
Al iv	1,164	0,687	1,156	1,152	0,286	0,865	0,614	0,492	1,328	1,293	1,256	1,242	1,298	1,383	1,374	
Al vi	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	
Fe ³⁺	0,286	0,296	0,333	0,428	0,162	0,276	0,229	0,199	0,318	0,223	0,413	0,334	0,404	0,417	0,436	
Fe ²⁺	0,376	0,175	0,302	0,390	0,161	0,355	0,200	0,142	0,366	0,406	0,294	0,373	0,347	0,358	0,479	
Ti	0,090	0,029	0,077	0,055	0,014	0,074	0,051	0,037	0,131	0,104	0,074	0,094	0,081	0,086	0,098	
Cr		0,004	0,012		0,016	0,014	0,013	0,017	0,033	0,161		0,006	0,004	0,016	0,003	
Fe ²⁺	1,497	1,349	1,527	1,475	0,595	0,644	0,728	0,710	1,660	1,513	1,687	1,619	1,731	1,792	1,552	
Mn	0,056	0,039	0,045	0,052	0,023	0,022	0,023	0,018	0,056	0,051	0,050	0,054	0,052	0,052	0,058	
Mg	2,695	3,107	2,703	2,600	4,030	3,614	3,755	3,877	2,436	2,542	2,483	2,521	2,380	2,279	2,375	
	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	
Ca	1,852	1,875	1,872	1,821	1,865	1,780	1,842	1,865	1,837	1,823	1,867	1,833	1,856	1,848	1,795	

Na	0,442	0,300	0,426	0,412	0,153	0,355	0,301	0,261	0,463	0,460	0,458	0,473	0,456	0,479	0,460
K	0,177	0,103	0,185	0,170	0,036	0,155	0,085	0,068	0,211	0,190	0,210	0,202	0,213	0,246	0,212
Ba	0,004	0,005	0,017	0,002				0,004		0,002	0,009	0,007	0,009		0,001
Sr	0,010	0,012	0,018	0,015	0,001	0,004	0,008	0,010	0,027		0,021	0,008		0,006	
Ni	0,010	0,008	0,010	0,006	0,001	0,004	0,008	0,010	0,001					0,008	
	2,495	2,303	2,527	2,425	2,056	2,295	2,236	2,209	2,540	2,474	2,565	2,523	2,534	2,587	2,467

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita

Lâmina	FDS-03A		FDS-03A		FDS-03A		FDS-03A		FDS-03A		FDS-03A		FDS-03A		FDS-03A		FDS-03A		FDS-03A		FDS-192		FDS-192		FDS-192	
	Biotita Hornblenda Quartzo-monzonito porfírica																									
Fácies																										
Análise	19	20	21	44	45	46	47	48	50	51	52	53	54	55	26	27	28									
SiO ₂	38,2	38,3	38,5	38,4	38,3	38,9	38,0	38,1	38,1	37,8	38,3	38,7	37,9	38,2	38,1	37,8	38,0									
TiO ₂	1,4	1,3	1,3	1,6	1,8	1,7	1,9	1,9	1,4	1,5	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6									
Al ₂ O ₃	15,2	15,6	15,5	15,5	15,4	15,9	15,8	15,8	15,7	15,9	15,7	15,4	15,9	15,8	15,7	15,7	15,8									
FeO	18,1	17,9	17,9	17,2	17,5	16,5	16,8	17,0	17,5	17,4	17,5	17,4	17,2	17,2	17,4	17,4	17,3									
MnO	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3									
MgO	13,1	12,9	12,7	13,0	12,9	12,8	13,2	12,8	13,0	13,2	13,0	13,2	12,9	13,0	13,4	13,1	13,1									
K ₂ O	9,7	9,7	10,0	10,1	9,9	9,9	10,0	10,0	10,0	9,9	10,1	9,8	9,8	9,9	9,7	10,0	9,9									
BaO																										
F	0,5																									
Cl	0,0																									
H ₂ O*	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	4,0	3,9									
O=F, Cl	0,2																									
Total	100,1	100,0	100,2	100,0	100,1	100,0	100,0	99,9	99,9	99,9	100,1	100,1	99,5	100,1	100,0	100,2	100,1									
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios																										
Si	5,739	5,746	5,770	5,752	5,739	5,782	5,682	5,705	5,716	5,671	5,740	5,780	5,700	5,720	5,699	5,673	5,691									
Al ^{iv}	2,261	2,254	2,230	2,248	2,261	2,218	2,318	2,295	2,284	2,329	2,260	2,220	2,300	2,280	2,301	2,327	2,309									
Al ^{vi}	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000									
Ti	0,425	0,495	0,501	0,481	0,451	0,576	0,473	0,500	0,499	0,487	0,503	0,485	0,523	0,516	0,458	0,440	0,486									
Fe	0,163	0,152	0,152	0,184	0,206	0,193	0,216	0,216	0,162	0,173	0,151	0,162	0,174	0,162	0,173	0,195	0,184									
Mn	0,037	0,037	0,037	0,024	0,037	0,036	0,036	0,037	0,024	0,024	0,024	0,024	0,037	0,037	0,024	0,024	0,037									
Mg	2,923	2,877	2,831	2,894	2,873	2,831	2,930	2,849	2,897	2,939	2,895	2,929	2,882	2,892	2,996	2,919	2,914									
K	5,827	5,800	5,759	5,736	5,755	5,690	5,755	5,728	5,775	5,803	5,764	5,772	5,776	5,759	5,824	5,794	5,784									
Ba	1,858	1,855	1,909	1,926	1,890	1,876	1,903	1,906	1,910	1,891	1,927	1,866	1,877	1,888	1,849	1,910	1,888									
OH*	1,858	1,855	1,909	1,926	1,890	1,876	1,903	1,906	1,910	1,891	1,927	1,866	1,877	1,905	1,849	1,910	1,888									
	3,757	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,905	4,000	3,858									

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-	FDS-
	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192	192
Biotita Hornblenda Quartzo-monzonito porfírica																		
Fácies																		
Análise	29	30	31	32	41	42	43	44	45	46	47	71	73	99	100	100	101	101
SiO ₂	38,1	37,9	38,1	37,6	38,2	38,2	38,1	38,1	37,7	37,3	37,3	37,8	38,3	37,6	37,5	37,5	37,3	37,3
TiO ₂	1,4	1,6	1,8	1,7	1,7	1,5	1,8	1,6	2,0	1,6	1,8	1,6	1,8	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4
Al ₂ O ₃	15,7	15,7	15,9	15,8	15,7	15,5	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,2	15,2	15,9	15,8	15,8	16,1	16,1
FeO	17,4	17,2	17,1	18,1	17,2	17,1	17,5	17,3	17,7	17,9	18,2	17,7	17,8	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4
MnO	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3
MgO	13,1	13,2	12,8	12,8	13,0	13,3	12,9	13,1	12,7	12,6	12,7	13,0	13,0	12,4	12,1	12,1	12,0	12,0
K ₂ O	9,9	9,9	10,0	9,6	10,0	10,0	9,9	10,0	9,9	9,8	10,0	9,9	9,8	10,1	9,7	9,7	9,7	9,7
BaO												0,6			0,6	0,6	0,8	0,8
F	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2
Cl			0,1															
H ₂ O*	4,0	3,9	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	3,9	3,9	4,0	3,9	4,0	3,9	3,9	3,8	3,8	3,9	3,9
O=F,Cl		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Total	100,0	99,7	100,1	100,1	100,1	99,9	100,3	100,0	100,0	99,2	100,0	100,1	100,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Si	5,713	5,691	5,701	5,645	5,712	5,724	5,702	5,712	5,671	5,660	5,619	5,708	5,739	5,649	5,654	5,629	5,629	5,629
Aliv	2,287	2,309	2,299	2,355	2,288	2,276	2,298	2,288	2,329	2,340	2,381	2,292	2,261	2,351	2,346	2,371	2,371	2,371
Alvi	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Ti	0,494	0,477	0,510	0,446	0,487	0,453	0,461	0,476	0,443	0,473	0,419	0,406	0,418	0,468	0,466	0,494	0,494	0,494
Fe	0,162	0,184	0,205	0,195	0,194	0,173	0,205	0,184	0,228	0,186	0,207	0,185	0,206	0,260	0,272	0,272	0,272	0,272
Mn	0,037	0,024	0,036	0,037	0,036	0,037	0,049	0,024	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,061	0,037	0,037	0,037
Mg	2,917	2,943	2,847	2,898	2,888	2,980	2,869	2,917	2,839	2,841	2,850	2,915	2,895	2,771	2,716	2,696	2,696	2,696
K	5,789	5,785	5,737	5,841	5,754	5,784	5,770	5,768	5,767	5,801	5,814	5,772	5,780	5,717	5,703	5,689	5,689	5,689
Ba	1,891	1,893	1,905	1,837	1,904	1,908	1,887	1,909	1,896	1,893	1,921	1,903	1,871	1,930	1,863	1,864	1,864	1,864
OH*	1,891	1,893	1,905	1,837	1,904	1,908	1,887	1,909	1,896	1,893	1,921	1,937	1,871	1,930	1,897	1,909	1,909	1,909
F	0,047	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,143	0,095	0,095	0,095

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192
Fácies	Biotita Hornblenda Quartzo-monzonito porfírica																	
Análise	102	103	109	110	116	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130			
SiO ₂	37,6	37,9	38,3	37,7	38,1	38,0	38,0	38,0	38,5	37,7	38,2	38,3	37,9	37,8	37,8	37,8	37,8	37,8
TiO ₂	2,3	2,1	1,5	1,3	2,5	1,6	2,1	1,8	1,7	1,6	1,9	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Al ₂ O ₃	15,7	15,7	15,8	16,3	15,1	15,6	15,7	15,7	15,8	16,1	16,1	15,7	15,8	16,0	16,0	15,8	15,8	15,8
FeO	17,7	17,5	17,1	17,3	17,3	17,2	17,3	17,3	17,0	17,1	16,9	16,9	16,9	17,3	17,3	17,1	17,1	17,1
MnO	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2
MgO	12,0	12,1	13,3	12,8	12,8	13,0	12,9	13,1	13,0	12,8	12,8	13,1	12,9	12,7	12,7	13,0	13,0	13,0
K ₂ O	9,8	9,9	9,7	9,6	10,0	9,8	9,8	9,9	9,8	9,7	9,9	9,8	9,8	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
BaO	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	0,6	0,6	0,5
F	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,1	0,5	0,1	0,3	0,1	0,1	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Cl				0,1										0,1		0,1		0,1
H ₂ O*	3,8	3,8	3,9	3,8	3,8	3,9	3,8	4,0	3,9	4,0	4,0	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
O=F,Cl	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Total	100,0	100,1	100,1	99,1	99,9	99,3	100,1	100,0	100,1	100,1	100,1	100,1	100,0	100,1	100,0	100,1	100,1	100,1
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios																		
Si	5,678	5,705	5,717	5,687	5,718	5,725	5,690	5,693	5,740	5,666	5,698	5,730	5,696	5,681	5,679	5,679	5,679	5,679
Al iv	2,322	2,295	2,283	2,313	2,282	2,275	2,310	2,307	2,260	2,334	2,302	2,270	2,304	2,319	2,321	2,321	2,321	2,321
	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al vi	0,461	0,497	0,504	0,587	0,383	0,486	0,450	0,455	0,525	0,522	0,532	0,489	0,501	0,520	0,483	0,483	0,483	0,483
Ti	0,261	0,239	0,172	0,152	0,282	0,185	0,238	0,205	0,194	0,184	0,215	0,194	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195	0,195
Fe	2,229	2,198	2,133	2,179	2,168	2,164	2,163	2,164	2,119	2,146	2,107	2,114	2,123	2,171	2,146	2,146	2,146	2,146
Mn	0,037	0,024	0,036	0,024	0,024	0,024	0,037	0,037	0,024	0,037	0,036	0,036	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024
Mg	2,699	2,713	2,948	2,869	2,855	2,910	2,870	2,915	2,881	2,859	2,838	2,911	2,881	2,837	2,901	2,901	2,901	2,901
	5,687	5,672	5,794	5,787	5,713	5,769	5,758	5,776	5,743	5,748	5,729	5,745	5,723	5,723	5,749	5,749	5,749	5,749
K	1,885	1,898	1,846	1,846	1,911	1,881	1,869	1,889	1,862	1,858	1,881	1,868	1,876	1,894	1,894	1,894	1,894	1,894
Ba	0,040	0,040								0,045		0,017	0,045	0,034	0,028	0,028	0,028	0,028
	1,924	1,937	1,846	1,846	1,911	1,881	1,869	1,889	1,862	1,903	1,881	1,885	1,921	1,928	1,922	1,922	1,922	1,922
OH*	3,857	3,857	3,906	3,831	3,810	3,952	3,763	3,953	3,859	3,952	3,953	3,763	3,810	3,832	3,785	3,785	3,785	3,785
F	0,143	0,143	0,094	0,143	0,190	0,048	0,237	0,047	0,141	0,048	0,047	0,237	0,190	0,143	0,190	0,190	0,190	0,190

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197	FDS- 197
Fácies	Biotita Hornblenda Quartzo-monzonito																		
Análise	20	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	40	41	42		
SiO ₂	38,6	38,5	38,5	38,3	38,5	38,2	38,4	38,3	38,4	37,9	38,6	38,4	38,2	38,8	37,8	38,2	38,5		
TiO ₂	1,3	1,5	1,7	1,5	1,9	1,7	1,8	1,7	1,9	1,9	1,7	1,8	1,7	1,6	1,7	1,7	1,6		
Al ₂ O ₃	16,5	16,3	16,0	16,2	15,6	15,8	15,7	15,5	15,7	15,8	15,4	15,6	15,4	15,6	15,3	15,7	16,0		
FeO	18,6	17,5	17,8	17,7	17,6	18,0	17,5	17,8	17,8	17,8	17,5	17,5	17,6	17,2	18,6	18,0	17,3		
MnO	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,2	0,4	0,3	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3		
MgO	11,2	12,0	11,7	12,0	12,2	12,1	12,3	12,4	12,3	12,2	12,5	12,5	12,6	12,7	12,1	12,3	12,3		
K ₂ O	9,4	9,8	10,0	9,9	10,0	10,0	10,1	9,9	9,8	10,1	10,1	10,0	10,0	9,8	10,1	9,8	10,0		
BaO																			
F	0,1	0,4	0,8		0,5	0,4	0,3	0,7	0,7	0,3	0,3	0,7	0,8	1,0	0,1		0,8		
Cl	0,1										0,1								
H ₂ O*	3,9	3,8	3,6	4,0	3,8	3,8	3,9	3,7	3,7	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,9	4,0	3,6		
O=F,Cl	0,1	0,2	0,3		0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,0		0,3		
Total	100,1	100,1	100,2	100,0	100,2	100,1	100,1	100,0	100,1	100,1	100,1	100,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,1		
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios																			
Si	5,777	5,752	5,764	5,737	5,764	5,731	5,748	5,753	5,750	5,694	5,782	5,752	5,742	5,794	5,715	5,734	5,755		
Aliv	2,223	2,248	2,236	2,263	2,236	2,269	2,252	2,247	2,250	2,306	2,218	2,248	2,258	2,206	2,285	2,266	2,245		
Alvi	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000		
Ti	0,691	0,627	0,593	0,601	0,508	0,531	0,525	0,489	0,511	0,497	0,495	0,498	0,463	0,532	0,434	0,503	0,579		
Fe	0,151	0,173	0,195	0,173	0,216	0,195	0,205	0,195	0,216	0,217	0,195	0,205	0,195	0,183	0,196	0,195	0,183		
Mn	2,332	2,183	2,224	2,212	2,200	2,252	2,187	2,231	2,224	2,230	2,189	2,189	2,208	2,147	2,354	2,253	2,160		
Mg	0,037	0,049	0,049	0,049	0,049	0,037	0,037	0,049	0,024	0,049	0,037	0,037	0,061	0,036	0,049	0,049	0,036		
K	2,506	2,673	2,614	2,679	2,721	2,705	2,742	2,773	2,743	2,729	2,787	2,787	2,817	2,822	2,725	2,749	2,738		
Ba	5,717	5,705	5,674	5,714	5,694	5,719	5,696	5,737	5,718	5,722	5,703	5,716	5,745	5,721	5,758	5,749	5,698		
OH*	1,796	1,866	1,907	1,889	1,907	1,910	1,924	1,894	1,870	1,931	1,926	1,908	1,914	1,866	1,943	1,875	1,904		
	3,927	3,811	3,621	4,000	3,763	3,810	3,858	3,667	3,669	3,858	3,832	3,668	3,620	3,528	3,952	4,000	3,622		

F	0,047	0,189	0,379			0,237	0,190	0,142	0,333	0,331	0,142	0,142	0,332	0,380	0,472	0,048		0,378
CI	0,025											0,025						
	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Total	19,513	19,571	19,581	19,603	19,601	19,629	19,629	19,620	19,631	19,588	19,653	19,630	19,623	19,659	19,587	19,700	19,624	19,601

F	0,285	0,237	0,189	0,048	0,333	0,332	0,521	0,286	0,332	0,238	0,143	0,284	0,286	0,473	0,379	0,475	0,286
CI	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Total	19,570	19,548	19,521	19,602	19,639	19,578	19,630	19,608	19,609	19,648	19,664	19,601	19,708	19,626	19,629	19,653	19,678

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	FDS-200		FDS-200		FDS-200		FDS-200		FDS-200		FDS-200		FDS-200		FDS-200		FDS-200		FDS-03F		FDS-03F		FDS-03F		FDS-03F		FDS-03F	
	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-200	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F
Biotita Hornblenda Quartzo-monzonito																												
Analise	34	38	39	40	56	57	58	59	68	70	10	11	16	17	18	26	27	Enclave										
SiO ₂	38,5	38,3	38,1	38,1	38,2	38,6	38,4	38,1	38,2	38,4	38,3	38,6	38,6	37,7	38,5	38,0	37,9											
TiO ₂	1,7	1,7	1,9	1,7	1,6	1,3	1,7	1,5	1,7	2,0	2,1	2,0	2,0	2,2	2,1	2,4	2,3											
Al ₂ O ₃	14,9	15,1	14,8	14,9	15,4	15,5	15,5	15,7	15,3	15,6	15,0	14,8	15,6	15,7	16,1	15,8	15,7											
FeO	18,0	18,0	18,0	18,4	18,2	18,4	18,0	18,1	18,4	18,2	17,8	17,8	17,0	17,3	16,5	17,2	16,8											
MnO	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3											
MgO	12,8	12,4	12,4	12,4	12,2	12,4	12,2	12,2	12,2	11,2	12,8	12,6	13,2	12,7	13,1	12,5	13,0											
K ₂ O	9,9	10,2	10,0	10,0	10,0	9,3	10,0	10,1	9,7	9,6	9,8	10,1	9,6	10,1	9,6	9,9	10,1											
BaO																												
F	1,0	0,7	0,5	0,4	0,6	0,3	0,8	0,7	1,1	0,6	0,3	0,4	0,4	0,7	0,5													
Cl		0,1																										
H ₂ O*	3,5	3,6	3,7	3,8	3,7	3,9	3,6	3,7	3,5	3,7	3,9	3,8	3,8	3,6	3,8	4,0	4,0											
O=F,Cl	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,3	0,5	0,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2													
Total	100,2	100,1	99,6	99,9	100,0	100,0	100,1	100,1	100,1	99,3	100,0	100,1	100,3	99,9	100,2	100,0	100,1											
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios																												
Si	5,778	5,766	5,763	5,755	5,751	5,785	5,766	5,734	5,750	5,802	5,747	5,790	5,741	5,667	5,713	5,686	5,668											
Aliv	2,222	2,234	2,237	2,245	2,249	2,215	2,234	2,266	2,250	2,198	2,253	2,210	2,259	2,333	2,287	2,314	2,332											
Alvi	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000											
Ti	0,410	0,440	0,398	0,403	0,477	0,516	0,501	0,509	0,458	0,571	0,395	0,405	0,467	0,438	0,534	0,478	0,442											
Fe	2,253	2,260	2,270	2,328	2,296	2,311	2,254	2,271	2,320	2,305	2,228	2,229	2,114	2,171	2,049	2,149	2,100											
Mn	0,049	0,049	0,061	0,049	0,049	0,061	0,037	0,049	0,061	0,025	0,037	0,037	0,036	0,037	0,024	0,024	0,036											
Mg	2,857	2,779	2,791	2,787	2,736	2,767	2,729	2,734	2,735	2,530	2,856	2,813	2,916	2,838	2,888	2,783	2,888											
K	5,764	5,724	5,739	5,763	5,743	5,807	5,716	5,737	5,770	5,659	5,754	5,710	5,760	5,732	5,732	5,705	5,725											
Ba	1,893	1,954	1,926	1,923	1,917	1,781	1,912	1,934	1,861	1,850	1,874	1,929	1,821	1,931	1,817	1,886	1,922											
OH*	1,893	1,954	1,926	1,923	1,917	1,781	1,912	1,934	1,861	1,850	1,874	1,929	1,821	1,931	1,817	1,886	1,922											
	3,525	3,641	3,761	3,809	3,714	3,858	3,620	3,667	3,476	3,713	3,858	3,810	3,812	3,642	3,765	4,000	4,000											

F	0,475	0,333	0,239	0,191	0,286	0,142	0,380	0,333	0,524	0,287	0,142	0,190	0,188	0,333	0,235	4,000	4,000
CI	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Total	19,657	19,678	19,664	19,686	19,660	19,588	19,628	19,672	19,631	19,509	19,628	19,639	19,581	19,664	19,549	19,591	19,647

F	0,142	0,332	0,188	0,047	0,142	0,142	0,189	0,094	0,094	0,330	0,095	0,283	0,047	0,189	0,095	0,237	
CI	0,025	0,101	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	0,025	4,000	4,000	4,000	
Total	19,628	19,641	19,596	19,572	19,641	19,648	19,637	19,646	19,665	19,656	19,619	19,622	19,589	19,607	19,629	19,608	19,653

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	Enclave																		
	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03F	
Fácies																			
Análise	69	70	74	75	76	77	78	79	106	107	110	111	114	115	116	117	118		
SiO ₂	37,3	37,3	38,5	37,9	38,0	38,0	37,9	37,6	38,0	38,2	37,6	38,4	37,5	38,2	38,3	38,6	38,0		
TiO ₂	2,4	2,5	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,5	2,2	1,8	2,2	2,1	1,9	1,6	2,0	1,9	2,0		
Al ₂ O ₃	15,4	15,1	15,2	15,8	15,7	15,2	16,0	15,6	15,7	15,7	15,7	15,5	15,6	16,1	16,0	15,7	15,9		
FeO	18,9	19,0	16,8	16,8	17,0	17,0	16,8	17,2	17,2	17,2	17,8	17,1	17,7	17,0	16,8	16,6	17,2		
MnO	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3		
MgO	11,8	12,1	13,1	13,1	12,7	13,1	12,7	12,7	12,6	12,8	12,4	12,9	12,6	12,8	12,9	13,2	12,7		
K ₂ O	10,0	9,7	10,0	9,9	10,0	9,8	10,0	10,2	10,1	10,0	10,0	9,9	10,1	10,0	9,8	9,8	10,1		
BaO																			
F	0,3	0,5		0,6	0,2	0,4		0,1	0,7	0,7	0,5		0,4	0,1	0,2	0,1			
Cl							0,1												
H ₂ O*	3,8	3,7	4,0	3,7	3,9	3,8	4,0	4,0	3,7	3,7	3,8	4,0	3,8	4,0	3,9	4,0	4,0		
O=F,Cl	0,1	0,2		0,3	0,1	0,2			0,3	0,3	0,2		0,2		0,1				
Total	100,0	99,9	100,1	100,1	100,0	99,7	100,1	100,0	100,2	100,1	100,1	100,0	99,5	99,9	100,1	100,0	100,2		
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios																			
Si	5,640	5,642	5,746	5,664	5,688	5,710	5,667	5,651	5,694	5,718	5,654	5,738	5,673	5,712	5,705	5,744	5,683		
Al ^{iv}	2,360	2,358	2,254	2,336	2,312	2,290	2,333	2,349	2,306	2,282	2,346	2,262	2,327	2,288	2,295	2,256	2,317		
Al ^{vi}	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000		
Ti	0,381	0,332	0,414	0,452	0,464	0,395	0,492	0,403	0,456	0,495	0,442	0,460	0,443	0,554	0,520	0,506	0,491		
Fe	0,273	0,284	0,259	0,259	0,259	0,260	0,259	0,282	0,249	0,205	0,249	0,237	0,218	0,183	0,226	0,215	0,227		
Mn	2,395	2,408	2,097	2,099	2,126	2,134	2,100	2,158	2,152	2,151	2,232	2,135	2,233	2,124	2,093	2,067	2,148		
Mg	0,037	0,037	0,036	0,024	0,036	0,037	0,036	0,037	0,049	0,037	0,049	0,024	0,025	0,024	0,036	0,024	0,036		
K	2,665	2,731	2,905	2,907	2,826	2,923	2,823	2,837	2,808	2,848	2,774	2,865	2,833	2,845	2,856	2,918	2,824		
Ba	5,752	5,792	5,711	5,741	5,712	5,749	5,710	5,716	5,714	5,736	5,746	5,722	5,752	5,732	5,731	5,731	5,726		
OH*	1,928	1,873	1,901	1,884	1,905	1,876	1,903	1,949	1,926	1,906	1,913	1,884	1,943	1,904	1,860	1,859	1,922		
	3,856	3,760	4,000	3,717	3,905	3,810	3,975	3,953	3,668	3,669	3,762	4,000	3,809	3,953	3,906	3,953	4,000		

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	FDS-03F	FDS-03F	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	FDS-03U	
Fácies	Enclave																				
Análise	118	119	7	8	9	10	11	29	30	31	32	33	37	38	39	44	49				
SiO ₂	38,0	38,3	39,0	37,8	38,4	38,2	38,4	37,9	37,9	38,4	38,7	38,3	38,0	37,9	38,1	38,2	38,2	38,2	38,2	38,2	
TiO ₂	2,0	2,0	1,6	2,2	1,8	1,8	1,9	2,0	1,6	1,8	1,7	1,5	2,1	2,3	2,1	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	
Al ₂ O ₃	15,9	15,6	16,0	15,5	15,8	15,5	15,6	15,7	15,8	15,6	15,7	15,7	15,7	15,7	15,5	15,7	16,3	15,6	15,6	15,6	
FeO	17,2	17,2	16,4	17,6	17,0	17,3	17,1	17,0	17,3	17,0	16,4	16,7	17,0	17,1	17,0	16,4	16,4	16,9	16,9	16,9	
MnO	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	
MgO	12,7	12,8	13,3	12,6	12,9	12,9	12,7	12,9	13,3	13,3	13,3	13,3	12,4	12,5	12,6	12,4	12,4	12,9	12,9	12,9	
K ₂ O	10,1	10,0	9,5	10,1	9,9	10,1	10,1	10,0	9,8	9,8	9,9	10,2	9,9	10,0	9,9	10,1	10,1	10,2	10,2	10,2	
BaO																					
F			0,2	0,3	0,3	0,2		0,4	0,4	0,2	0,5	0,7		0,4				0,5		0,5	
Cl																					
H ₂ O*	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	4,0	3,8	3,8	3,9	3,8	3,7	4,0	3,8	4,0	4,0	4,0	3,8	4,0	3,8	
O=F ₂ Cl			0,1	0,1	0,1	0,1		0,2	0,2	0,1	0,2	0,3		0,2				0,2		0,2	
Total	100,2	100,1	100,2	100,0	100,1	100,0	99,9	99,8	100,1	100,0	100,1	100,1	99,3	99,4	99,8	99,6	100,1	100,1	100,1	100,1	
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios																					
Si	5,683	5,727	5,773	5,684	5,728	5,726	5,749	5,686	5,672	5,731	5,757	5,726	5,725	5,712	5,697	5,695	5,721	5,721	5,721	5,721	
Al iv	2,317	2,273	2,227	2,316	2,272	2,274	2,251	2,314	2,328	2,269	2,243	2,274	2,275	2,288	2,303	2,305	2,279	2,279	2,279	2,279	
Al vi	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	
Ti	0,491	0,467	0,572	0,421	0,513	0,457	0,493	0,469	0,465	0,467	0,519	0,483	0,502	0,456	0,471	0,563	0,466	0,466	0,466	0,466	
Fe	0,227	0,227	0,182	0,250	0,205	0,206	0,216	0,227	0,184	0,205	0,193	0,173	0,239	0,261	0,237	0,215	0,216	0,216	0,216	0,216	
Mn	2,148	2,149	2,033	2,208	2,120	2,166	2,139	2,131	2,162	2,121	2,043	2,088	2,140	2,153	2,124	2,046	2,116	2,116	2,116	2,116	
Mg	0,036	0,036	0,036	0,037	0,036	0,037	0,024	0,037	0,049	0,024	0,036	0,036	0,037	0,024	0,049	0,036	0,049	0,049	0,049	0,049	
K	2,824	2,846	2,925	2,817	2,860	2,874	2,828	2,876	2,954	2,947	2,939	2,973	2,780	2,802	2,802	2,752	2,871	2,871	2,871	2,871	
Ba	5,726	5,724	5,748	5,732	5,734	5,739	5,701	5,740	5,813	5,764	5,730	5,753	5,698	5,696	5,718	5,669	5,718	5,718	5,718	5,718	
OH*	1,922	1,904	1,796	1,932	1,881	1,927	1,925	1,910	1,868	1,864	1,877	1,940	1,899	1,918	1,885	1,917	1,944	1,944	1,944	1,944	
	4,000	4,000	3,906	3,857	3,858	3,905	4,000	3,810	3,811	3,906	3,765	3,669	4,000	3,809	4,000	4,000	3,763	3,763	3,763	3,763	

F CI		0,094	0,143	0,142	0,095		0,190	0,189	0,094	0,235	0,331		0,191		0,237		
4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000		
Total	19,648	19,628	19,544	19,664	19,616	19,666	19,625	19,650	19,682	19,628	19,607	19,693	19,597	19,614	19,604	19,586	19,662

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	FDS-03U		FDS-03U		FDS-03U		FDS-03U		FDS-03U		FDS-12B3		FDS-12B3		FDS-12B3		FDS-12B3		FDS-12B3		FDS-12B3		FDS-12B4		FDS-12B4			
	03U	03U	03U	03U	03U	03U	03U	03U	03U	03U	12B3	12B3	12B3	12B3	12B3	12B3	12B3	12B3	12B3	12B3	12B3	12B3	12B4	12B4	12B4	12B4		
Fácies	Enclave																											
Análise	51	52	67	68	71	72	30	31	32	33	40	41	68	69	70	1	2											
SiO ₂	38,5	38,3	38,4	37,9	38,5	38,6	39,3	38,8	39,2	39,0	39,4	39,2	40,2	39,7	39,9	38,2	38,2											
TiO ₂	2,1	2,8	2,0	2,5	1,9	2,1	1,6	1,9	2,0	1,8	1,7	1,8	1,3	1,3	1,3	1,7	1,7											
Al ₂ O ₃	16,2	16,5	15,7	14,8	15,8	15,9	14,2	14,2	14,7	14,2	14,2	14,0	13,3	13,5	13,4	15,7	15,8											
FeO	16,0	16,0	16,7	17,3	16,7	16,4	12,5	12,8	12,2	12,9	12,3	12,7	9,1	9,5	9,0	16,4	16,6											
MnO	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2					0,3	0,2											
MgO	12,8	12,1	13,1	13,0	12,9	13,1	17,1	17,0	16,9	17,0	18,0	17,8	21,1	20,7	21,1	13,5	13,3											
K ₂ O	10,1	10,0	10,0	9,9	10,0	9,7	10,0	10,0	9,9	10,1	10,1	10,2	10,0	10,3	10,3	10,1	10,0											
BaO																												
F		0,5		0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2		0,4		0,8	0,4	0,7	0,4	0,2											
Cl																												
H ₂ O*	4,0	3,8	4,0	3,8	4,0	3,9	4,0	3,9	4,0	4,1	3,9	4,1	3,7	3,9	3,8	3,8	3,9											
O=F ₂ Cl		0,2		0,1		0,1		0,1	0,1		0,2		0,3	0,2	0,3	0,2	0,1											
Total	100,0	100,1	100,0	99,6	100,0	100,1	98,9	99,0	99,1	99,1	99,9	99,7	99,1	99,1	99,3	100,1	99,9											
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios																												
Si	5,724	5,692	5,729	5,712	5,739	5,734	5,815	5,758	5,776	5,778	5,766	5,767	5,852	5,795	5,771	5,701	5,705											
Aliv	2,276	2,308	2,271	2,288	2,261	2,266	2,185	2,242	2,224	2,222	2,234	2,233	2,148	2,205	2,229	2,299	2,295											
Alvi	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000											
Ti	0,567	0,585	0,481	0,337	0,523	0,525	0,295	0,244	0,329	0,260	0,219	0,199	0,123	0,127	0,061	0,471	0,493											
Fe	0,236	0,311	0,226	0,283	0,215	0,236	0,182	0,214	0,224	0,203	0,190	0,202	0,137	0,137	0,136	0,194	0,194											
Mn	1,994	1,993	2,084	2,177	2,083	2,040	1,546	1,585	1,504	1,595	1,505	1,560	1,110	1,162	1,091	2,049	2,074											
Mg	0,036	0,036	0,024	0,037	0,024	0,024	0,024	0,036	0,024	0,012	0,024					0,036	0,024											
K	2,830	2,680	2,904	2,910	2,859	2,892	3,773	3,760	3,714	3,755	3,920	3,898	4,580	4,518	4,550	3,011	2,970											
Ba	5,663	5,604	5,719	5,743	5,704	5,716	5,820	5,840	5,794	5,825	5,870	5,859	5,950	5,944	5,947	5,761	5,756											
OH*	1,912	1,893	1,900	1,900	1,899	1,837	1,886	1,891	1,860	1,906	1,883	1,911	1,853	1,915	1,893	1,919	1,902											
OH*	4,000	3,765	4,000	3,857	3,953	3,859	3,953	3,859	3,907	4,000	3,815	4,000	3,632	3,815	3,680	3,811	3,906											

F CI	0,235	0,143	0,047	0,141	0,047	0,141	0,093	0,185	0,368	0,185	0,320	0,189	0,094				
4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000				
Total	19,574	19,497	19,619	19,643	19,603	19,554	19,706	19,730	19,654	19,731	19,753	19,771	19,802	19,859	19,840	19,679	19,657

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	Enclave											
	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	FDS-12B4	
Fácies												
Análise	54	55	71	73	86	87	89	90	103	111	112	113
SiO ₂	38,1	37,9	38,0	38,1	38,1	38,6	37,9	38,1	38,0	38,1	38,1	37,7
TiO ₂	1,6	1,5	1,5	1,6	1,4	1,4	1,8	1,6	2,5	1,5	1,4	1,3
Al ₂ O ₃	15,6	15,4	15,5	15,2	16,1	16,0	15,8	15,9	15,1	15,7	15,7	15,9
FeO	16,3	17,0	17,8	18,0	16,6	16,4	17,3	17,1	17,6	18,0	17,7	17,7
MnO	0,3	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3
MgO	13,3	13,3	12,9	12,9	13,3	13,4	13,0	13,1	12,8	12,5	12,9	13,2
K ₂ O	10,1	10,0	10,1	10,0	10,1	9,8	10,1	9,9	9,9	10,0	9,8	10,0
BaO												
F	0,6	0,8	0,5	0,2	0,3	0,8	0,2	0,4		0,3	0,2	0,1
Cl												
H ₂ O*	3,7	3,6	3,8	3,9	3,9	3,7	3,9	3,8	4,0	3,9	3,9	4,0
O=F,Cl	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2		0,1	0,1	
Total	99,4	99,3	100,1	99,9	100,1	100,1	100,1	100,1	100,0	100,0	99,9	100,1
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios												
Si	5,728	5,722	5,714	5,734	5,687	5,739	5,677	5,698	5,704	5,723	5,717	5,660
Aliv	2,272	2,278	2,286	2,266	2,313	2,261	2,323	2,302	2,296	2,277	2,283	2,340
	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Alvi	0,483	0,454	0,452	0,424	0,523	0,549	0,472	0,506	0,369	0,509	0,501	0,478
Ti	0,184	0,174	0,174	0,185	0,162	0,161	0,205	0,183	0,282	0,173	0,162	0,152
Fe	2,051	2,144	2,232	2,259	2,073	2,042	2,164	2,137	2,204	2,254	2,216	2,216
Mn	0,037	0,025	0,037	0,024	0,049	0,036	0,024	0,036	0,024	0,024	0,037	0,037
Mg	2,989	2,980	2,882	2,885	2,968	2,979	2,892	2,910	2,856	2,793	2,876	2,941
	5,744	5,777	5,777	5,778	5,774	5,767	5,758	5,772	5,736	5,755	5,792	5,824
K	1,932	1,922	1,932	1,916	1,918	1,857	1,925	1,886	1,892	1,912	1,874	1,911
Ba												
	1,932	1,922	1,932	1,916	1,918	1,857	1,925	1,886	1,892	1,912	1,874	1,911
OH*	3,715	3,618	3,762	3,905	3,858	3,624	3,905	3,811	4,000	3,858	3,905	3,953
F	0,285	0,382	0,238	0,095	0,142	0,376	0,095	0,189		0,142	0,095	0,047

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-
	3AA	3AA	3AA	3AA	3AA	3AA	3AA	3AB	3AB	3AB	3AB	3AB	3AB	3AB	3AB	3AB	3AB	3AB
Fácies	Enclave																	
Análise	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	6	7	8	9	10	11	21	
SiO ₂	39,87	40,20	40,14	41,39	41,99	40,80	41,84	39,50	39,89	39,17	39,79	39,68	39,53	39,76	39,48	39,10	39,25	
TiO ₂	0,94	0,87	0,98	0,88	0,87	1,30	1,17	2,11	1,58	0,91	1,14	1,40	1,28	1,77	1,76	1,82	1,41	
Al ₂ O ₃	12,18	12,21	12,30	12,23	12,44	12,90	12,59	15,57	15,68	15,84	16,31	16,32	16,19	15,80	16,03	15,86	16,12	
FeO	8,38	8,22	8,07	8,20	8,18	8,77	8,34	11,46	11,24	11,59	10,98	11,15	11,43	12,03	11,80	11,68	11,88	
MnO	0,13	0,17	0,15	0,13	0,13	0,16	0,09	0,22	0,25	0,22	0,24	0,23	0,24	0,26	0,23	0,24	0,24	
MgO	20,37	20,55	20,45	21,13	21,39	20,43	21,33	15,92	16,76	16,86	16,54	16,39	16,38	16,08	16,13	16,17	16,05	
CaO	0,17	0,21	0,10	0,05	0,14	0,07	0,06	0,06	0,05	0,14	0,11	0,06	0,10	0,01	0,01	0,37	0,03	
Na ₂ O	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03	0,07	0,04	0,06	0,06	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	
K ₂ O	8,75	8,53	9,16	9,02	8,55	9,57	9,13	9,90	9,84	9,83	9,90	9,98	9,79	9,92	10,00	9,65	9,86	
SnO	0,06	0,06		0,05	0,01			0,14	0,14		0,01	0,21	0,01	0,16	0,02	0,19		
BaO	0,16	0,10	0,36		0,02	0,20	0,07	0,32	0,16	0,31	0,23	0,43	0,23	0,36	0,25	0,40	0,17	
Cr ₂ O ₃	2,68	0,07	0,22	0,14	0,00	1,19	0,59	1,13	0,39	0,15	0,56	0,40	0,12		0,15	0,27	0,36	
NiO	0,10	0,10	0,09	0,11	0,17	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,02	0,05		0,06	0,08	0,03	
Cl	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01											0,01		
F	0,96	1,14	0,95	0,96	1,11	0,98	0,95	0,45	0,73	0,63	0,63	0,52	0,65	0,58	0,51	0,63	0,65	
H ₂ O*	5,60	7,98	7,37	6,07	5,43	3,97	4,14	3,37	3,51	4,48	3,69	3,36	4,22	3,39	3,73	3,74	4,18	
O=F,Cl	0,41	0,48	0,40	0,41	0,47	0,41	0,40	0,19	0,31	0,26	0,26	0,22	0,27	0,25	0,22	0,27	0,27	
Total	100,00	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios																		
Si	5,873	6,020	5,994	6,058	6,081	5,906	6,007	5,749	5,793	5,761	5,779	5,761	5,779	5,791	5,759	5,723	5,754	
Al iv	2,114	1,980	2,006	1,942	1,919	2,094	1,993	2,251	2,207	2,239	2,221	2,239	2,221	2,209	2,241	2,277	2,246	
Al vi	7,987	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	
Ti	0,104	0,175	0,157	0,167	0,205	0,106	0,137	0,420	0,476	0,507	0,570	0,554	0,568	0,503	0,514	0,459	0,540	
Fe	1,032	1,098	1,110	1,096	1,095	1,141	1,127	1,395	1,365	1,426	1,333	1,354	1,397	1,465	1,440	1,429	1,457	
Mn	0,016	0,021	0,019	0,016	0,016	0,019	0,011	0,027	0,031	0,028	0,030	0,028	0,030	0,032	0,029	0,030	0,030	
Mg	4,473	4,587	4,553	4,609	4,618	4,408	4,564	3,454	3,628	3,698	3,581	3,547	3,571	3,492	3,507	3,529	3,509	

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-	SOS-
	3AB	3AB	3AB	3AB	3AB	3AF	3AF	3AF	3AF	3AF	3AF	3AF	3AF	3AF	3AF	3AF	3AF	3AF	3AF
Fácies	Enclave																		
Análise	22	23	24	25	26	1	2	7	8	13	14	4	5	6	9	10	11		
SiO ₂	39,25	39,35	39,14	38,56	39,29	37,83	37,26	38,21	39,02	37,84	37,90	38,18	38,44	38,98	37,56	37,98	37,84		
TiO ₂	1,41	1,23	1,83	2,16	2,05	1,55	1,41	1,46	1,48	1,51	1,44	1,75	1,70	1,55	1,90	1,54	1,44		
Al ₂ O ₃	16,15	15,83	15,47	15,55	15,57	15,50	15,78	15,57	16,24	15,81	15,96	15,73	15,79	16,66	15,40	15,22	15,57		
FeO	11,98	11,98	11,91	12,06	11,82	17,60	17,52	17,80	17,39	16,74	17,33	16,76	16,83	16,32	16,84	16,77	16,89		
MnO	0,25	0,23	0,25	0,25	0,22	0,31	0,29	0,30	0,29	0,26	0,27	0,29	0,28	0,33	0,27	0,29	0,27		
MgO	16,04	16,48	15,99	15,51	15,94	12,69	12,41	12,89	13,31	12,64	12,63	12,95	13,04	13,44	12,82	12,98	13,20		
CaO	0,02	0,01	0,01	0,06	0,02	0,06	0,05	0,09	0,18	0,18	0,09	0,05	0,11	0,21	0,06	0,01			
Na ₂ O	0,03	0,05	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,10	0,10	0,06	0,05	0,03		
K ₂ O	9,95	9,92	9,94	9,87	9,94	9,50	9,46	9,34	9,23	9,02	9,42	9,44	9,51	8,95	9,70	9,64	9,63		
SnO	0,06	0,05	0,07	0,01	0,05	0,01	0,13	0,13	0,04	0,10	0,08								
BaO	0,26	0,21	0,33	0,29	0,09	0,23	0,54	0,34	0,29	0,34	0,28	0,54	0,69	0,49	0,39	0,23	0,01		
Cr ₂ O ₃	0,31	0,39	1,02	1,17	0,82	0,13	0,09	0,09		0,03							1,06		
NiO	0,06	0,02	0,04	0,04	0,06	0,04				0,02	0,04	0,01	0,01		0,03	0,03	0,01		
Cl		0,01				0,01	0,01											0,01	
F	0,63	0,67	0,66	0,59	0,61	0,36	0,33	0,44	0,36	0,37	0,43	0,49	0,42	0,43	0,38	0,45	0,47		
H ₂ O*	3,85	3,84	3,56	4,05	3,73	4,28	4,95	3,55	2,25	5,23	4,24	3,76	2,93	2,62	3,84	4,24	3,76		
O=F,Cl	0,27	0,28	0,28	0,25	0,26	0,15	0,14	0,19	0,15	0,16	0,18	0,21	0,18	0,18	0,16	0,19	0,20		
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	99,81	99,92	100,00	100,00	99,95	100,00		
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios																			
Si	5,746	5,760	5,733	5,684	5,742	5,710	5,676	5,726	5,727	5,732	5,708	5,709	5,702	5,704	5,652	5,723	5,669		
Al iv	2,254	2,240	2,267	2,316	2,258	2,290	2,324	2,274	2,273	2,268	2,292	2,291	2,298	2,296	2,348	2,277	2,331		
Al vi	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000		
Ti	0,532	0,490	0,403	0,385	0,425	0,467	0,511	0,475	0,536	0,556	0,540	0,480	0,463	0,576	0,382	0,427	0,418		
Fe	1,155	0,135	0,201	0,239	0,225	0,176	0,161	0,164	0,163	0,172	0,163	0,196	0,190	0,170	0,215	0,175	0,162		
Mn	1,466	1,466	1,459	1,486	1,444	2,222	2,231	2,231	2,134	2,120	2,182	2,095	2,087	1,997	2,119	2,113	2,116		
Mg	0,031	0,029	0,031	0,031	0,027	0,040	0,038	0,038	0,036	0,033	0,034	0,037	0,035	0,041	0,035	0,036	0,035		
	3,501	3,596	3,492	3,409	3,473	2,856	2,819	2,879	2,913	2,855	2,837	2,887	2,884	2,932	2,875	2,916	2,947		

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	SOS-3B1	SOS-3B1	SOS-3B1	SOS-3B1	SOS-3B1	SOS-3B1	SOS-3B1	SOS-3B1	SOS-3B1	SOS-3B1	SOS-3B2	SOS-3B2	SOS-3B2	SOS-3B2	SOS-3B2	SOS-3B2	SOS-3B2	SOS-3B2
Fácies	Enclave																	
Análise	15	16	17	26	27	28	32	33	34	4	5	6	9	10	11	12	16	
SiO ₂	37,90	37,70	38,02	37,69	38,68	37,37	38,07	37,48	37,68	37,76	37,66	37,29	37,81	37,72	37,83	38,09	37,78	
TiO ₂	1,42	1,21	1,09	1,94	1,96	1,89	2,31	2,15	2,29	2,52	2,40	2,28	1,91	1,85	1,63	1,56	2,53	
Al ₂ O ₃	15,55	15,81	15,88	15,54	15,99	15,46	15,62	15,53	15,74	15,42	15,50	15,49	15,75	15,75	15,58	15,58	15,48	
FeO	16,91	16,70	16,77	17,06	16,80	17,06	17,25	17,47	17,15	17,19	17,37	17,14	17,18	17,45	16,66	16,66	17,60	
MnO	0,23	0,29	0,30	0,32	0,30	0,35	0,33	0,32	0,31	0,32	0,29	0,34	0,31	0,30	0,32	0,30	0,36	
MgO	12,94	13,01	13,13	12,26	12,84	12,37	12,38	12,13	12,19	12,19	12,15	12,05	12,31	12,53	12,81	12,85	11,93	
CaO	0,21	0,18	0,09	0,07	0,07	0,13	0,07	0,08	0,08	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,05	
Na ₂ O	0,10	0,09	0,06	0,06	0,07	0,09	0,05	0,07	0,09	0,07	0,06	0,06	0,04	0,05	0,04	0,03	0,05	
K ₂ O	9,00	9,31	9,47	9,71	9,67	9,56	9,67	9,33	9,43	9,69	9,59	9,78	9,55	9,68	9,49	9,66	9,70	
SiO										0,03	0,03	0,05	0,02	0,04	0,03	0,10	0,06	
BaO	0,10	0,14	0,06	0,06	0,15	0,16	0,10		0,19	0,22	0,21	0,28	0,44	0,08	0,02	0,06	0,36	
Cr ₂ O ₃		0,06	0,32	0,02		0,06		0,03		0,03	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02	
NiO		0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01				0,03	0,02					0,01	
Cl		0,01		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		0,01		0,01			0,01		
F	0,37	0,38	0,45	0,44	0,41	0,34	0,41	0,35	0,41	0,37	0,34	0,45	0,39	0,34	0,39	0,34	0,29	
H ₂ O*	5,40	5,26	4,38	4,91	3,23	5,23	3,89	5,20	4,55	4,33	4,48	4,89	4,37	4,25	5,31	4,91	3,91	
O=F,Cl	0,16	0,16	0,19	0,19	0,17	0,14	0,17	0,15	0,17	0,15	0,14	0,19	0,17	0,14	0,17	0,15	0,12	
Total	99,98	100,00	99,86	99,91	100,00	99,95	100,00	99,99	99,95	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios																		
Si	5,744	5,715	5,720	5,720	5,735	5,693	5,708	5,697	5,691	5,698	5,692	5,677	5,709	5,684	5,735	5,752	5,691	
Al iv	2,256	2,285	2,280	2,280	2,265	2,307	2,292	2,303	2,309	2,302	2,308	2,323	2,291	2,316	2,265	2,248	2,309	
Al vi	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	
Ti	0,521	0,539	0,536	0,499	0,529	0,470	0,468	0,478	0,492	0,440	0,454	0,457	0,511	0,482	0,518	0,524	0,440	
Fe	0,162	0,138	0,124	0,221	0,218	0,217	0,261	0,245	0,260	0,286	0,273	0,261	0,217	0,209	0,186	0,177	0,287	
Min	2,144	2,116	2,110	2,165	2,082	2,174	2,163	2,220	2,166	2,169	2,195	2,182	2,168	2,199	2,112	2,103	2,217	
Mg	0,030	0,037	0,038	0,041	0,037	0,045	0,042	0,041	0,039	0,040	0,037	0,044	0,040	0,038	0,042	0,038	0,046	
	2,924	2,940	2,945	2,774	2,837	2,810	2,767	2,749	2,745	2,742	2,736	2,735	2,771	2,816	2,896	2,893	2,680	

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	SOS-3B2	SOS-3AC	SOS-3AC	SOS-3AC	SOS-3AC	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ	SOS-3AJ
	Enclave																
Fácies																	
Análise	17	1	2	7	8	17	18	1	2	3	12	13	14	15	16	17	24
SiO ₂	39,11	39,59	39,16	39,05	39,23	39,98	39,65	38,18	38,08	39,01	38,77	38,22	37,26	38,88	37,91	38,06	37,93
TiO ₂	2,58	1,01	1,12	2,32	1,85	1,30	1,19	2,52	2,43	2,59	2,08	2,13	2,38	1,64	1,64	1,51	2,24
Al ₂ O ₃	16,10	15,75	15,86	15,51	15,97	16,13	16,08	15,72	15,53	15,86	15,67	15,37	15,58	16,04	15,84	15,80	15,31
FeO	17,23	10,52	10,43	11,37	10,95	10,66	10,57	15,95	16,24	15,74	15,99	16,54	16,13	16,09	16,12	15,90	17,15
MnO	0,32	0,12	0,12	0,13	0,12	0,13	0,15	0,30	0,29	0,25	0,34	0,31	0,29	0,31	0,27	0,29	0,29
MgO	12,63	16,95	16,87	16,30	16,52	17,19	17,17	12,74	12,54	12,84	13,31	13,08	12,54	13,36	12,87	13,18	12,41
CaO	0,01				0,01	0,03	0,04		0,01		0,04	0,11	0,06	0,03	0,05	0,08	0,03
Na ₂ O	0,06	0,05	0,06	0,07	0,07	0,05	0,05	0,06	0,05	0,02	0,05	0,08	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06
K ₂ O	9,70	9,88	9,88	9,61	9,84	10,02	10,03	9,69	9,68	9,80	9,55	9,28	9,64	9,69	9,74	9,62	9,69
SiO			0,02	0,01	0,05	0,02	0,01			0,10	0,10	0,07		0,01	0,01		
BaO	0,64	0,06	0,10	0,32	0,13	0,19		0,51	0,35	0,12	0,38	0,30	0,60	0,26	0,33	0,04	0,40
Cr ₂ O ₃	0,00	0,75	0,69	0,20	0,17	0,26	0,28				0,11						0,05
NiO	0,02	0,05	0,04	0,05	0,03	0,03	0,01	0,04	0,05	0,06	0,04	0,06	0,06	0,08	0,05	0,04	0,08
Cl	0,01			0,01		0,01	0,01	0,01			0,01	0,01		0,01			0,01
F	0,32	0,76	0,62	0,56	0,65	0,64	0,28	0,37	0,36	0,36	0,48	0,41	0,31	0,44	0,30	0,46	0,45
H ₂ O*	1,41	4,84	5,29	4,74	4,68	3,63	4,45	4,08	4,54	3,40	3,29	4,24	5,22	3,30	4,95	5,17	4,12
O=F,Cl	0,14	0,32	0,26	0,23	0,27	0,27	0,12	0,16	0,15	0,15	0,20	0,17	0,13	0,19	0,13	0,19	0,19
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,86	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios																	
Si	5,713	5,806	5,771	5,745	5,753	5,787	5,779	5,715	5,731	5,763	5,747	5,731	5,668	5,754	5,726	5,741	5,719
Aliv	2,287	2,194	2,229	2,255	2,247	2,213	2,221	2,285	2,269	2,237	2,253	2,269	2,332	2,246	2,274	2,259	2,281
Alvi	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Ti	0,485	0,528	0,526	0,434	0,513	0,539	0,542	0,487	0,485	0,526	0,484	0,447	0,461	0,551	0,545	0,551	0,438
Fe	0,283	0,111	0,124	0,256	0,203	0,141	0,131	0,284	0,275	0,288	0,232	0,240	0,272	0,182	0,186	0,171	0,254
Mn	2,105	1,290	1,286	1,399	1,343	1,290	1,288	1,996	2,043	1,945	1,982	2,073	2,052	1,991	2,036	2,006	2,162
Mg	0,039	0,015	0,015	0,016	0,015	0,016	0,018	0,038	0,037	0,031	0,043	0,039	0,037	0,039	0,035	0,037	0,037
	2,751	3,706	3,706	3,574	3,612	3,709	3,732	2,843	2,814	2,829	2,941	2,924	2,843	2,948	2,897	2,964	2,790

Anexo C.3. Análises químicas pontuais de biotita (continuação)

Lâmina	SOS-3AJ	SOS-3AJ	FDS-12B2	FDS-12B2	FDS-12B2	FDS-12B2	FDS-12B2	FDS-12B2	FDS-12B2	FDS-12B2	FDS-12B2	FDS-12B2	FDS-12B2
	Enclave												
Fácies													
Análise	25	26	1	2	3	4	5	6	7	8	13	14	
SiO ₂	38,46	38,60	37,97	38,13	37,46	37,22	38,31	38,57	38,37	38,64	37,89	38,08	
TiO ₂	2,30	2,16	1,45	1,47	1,59	1,37	1,49	1,54	1,37	1,31	1,36	1,59	
Al ₂ O ₃	15,34	15,30	15,32	15,43	15,31	15,10	15,80	15,80	15,97	16,12	15,38	15,42	
FeO	16,58	16,99	16,92	16,83	16,58	16,66	15,96	16,10	15,59	15,33	16,58	16,63	
MnO	0,27	0,28	0,29	0,28	0,29	0,26	0,29	0,28	0,25	0,26	0,28	0,26	
MgO	12,70	12,61	13,17	13,32	12,96	13,10	13,91	13,75	13,83	13,89	13,39	13,55	
CaO	0,02	0,04	0,07	0,07	0,19	0,23	0,05	0,02	0,06	0,14	0,07	0,10	
Na ₂ O	0,04	0,07	0,09	0,07	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,11	0,09	0,12	
K ₂ O	9,73	9,75	9,51	9,58	9,16	8,89	9,63	9,61	9,58	9,71	9,44	9,47	
SrO	0,03			0,04	0,01	0,01	0,01	0,09		0,05	0,11		
BaO	0,15		0,06	0,02	0,30	0,08	0,04	0,04	0,04	0,20	0,05	0,05	
Cr ₂ O ₃				0,03	0,03	0,01	0,01		0,05	0,06	0,04	0,02	
NiO	0,04	0,08		0,01		0,02	0,01		0,04		0,02	0,01	
Cl		0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01		0,01	0,01	0,01	0,01	
F	0,50	0,37	0,43	0,49	0,37	0,45	0,40	0,47	0,40	0,43	0,40	0,40	
H ₂ O*	4,05	3,88	4,90	4,44	5,79	6,67	4,18	3,83	4,57	3,90	5,09	4,49	
O=F,Cl	0,21	0,16	0,18	0,21	0,16	0,20	0,17	0,20	0,17	0,18	0,17	0,17	
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
Fórmula estrutural calculada com base em 22 oxigênios													
Si	5,760	5,771	5,742	5,736	5,718	5,728	5,717	5,738	5,733	5,738	5,733	5,721	
Aliv	2,240	2,229	2,258	2,264	2,282	2,272	2,283	2,262	2,267	2,262	2,267	2,279	
	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	
Alvi	0,467	0,466	0,472	0,472	0,472	0,465	0,494	0,507	0,544	0,559	0,476	0,451	
Ti	0,259	0,243	0,165	0,167	0,182	0,159	0,167	0,173	0,153	0,147	0,155	0,179	
Fe	2,077	2,124	2,139	2,117	2,117	2,143	1,991	2,002	1,948	1,904	2,097	2,089	
Mn	0,035	0,035	0,038	0,035	0,037	0,034	0,037	0,035	0,031	0,032	0,036	0,033	
Mg	2,835	2,812	2,970	2,987	2,949	3,006	3,094	3,049	3,081	3,076	3,020	3,034	
Cr				0,004	0,004	0,001	0,001	0,001	0,006	0,007	0,004	0,002	

Ni	0,005	0,010	5,783	0,001	5,761	0,002	5,785	5,766	0,005	0,002	5,789	0,001
	5,677	5,690	5,783	5,783	5,761	5,810	5,785	5,766	5,769	5,727	5,789	5,789
Ca	0,004	0,006	0,012	0,010	0,031	0,037	0,008	0,003	0,010	0,022	0,011	0,015
Na	0,012	0,021	0,025	0,019	0,033	0,030	0,027	0,027	0,026	0,030	0,026	0,033
K	1,860	1,859	1,834	1,838	1,784	1,745	1,833	1,823	1,826	1,839	1,821	1,814
Ba	0,009	0,002	0,004	0,001	0,018	0,005	0,003	0,003		0,012	0,003	0,003
Sr	0,003			0,003	0,001	0,001	0,001	0,007		0,004	0,010	
Cl	1,887	1,887	1,874	1,872	1,867	1,818	1,870	1,863	1,861	1,907	1,872	1,866
F	0,239	0,173	0,203	0,003	0,002	0,008	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,004
Total	15,803	15,752	15,862	15,892	15,809	15,854	15,846	15,849	15,822	15,839	15,855	15,847

Anexo C.4. Análises químicas pontuais de piroxênio

Lâmina	SOS-3AB	SOS-3AB	SOS-3AB	SOS-3AC	SOS-3AC	SOS-3AC	SOS-3AC
Fácies	Enclave						
Análise	29	4	5	3	4	13	14
SiO ₂	53,79	54,69	54,70	54,01	53,81	54,29	54,47
TiO ₂	0,04	0,05	0,12	0,04	0,07	0,15	0,06
Al ₂ O ₃	1,18	0,74	0,98	0,69	0,82	0,98	0,84
Cr ₂ O ₃	0,21	0,00	0,18	0,06	0,14	0,55	0,17
FeO	5,65	5,04	5,10	5,21	5,12	3,74	4,75
MnO	0,39	0,27	0,32	0,26	0,25	0,16	0,26
MgO	14,14	15,44	15,34	15,24	15,04	16,22	15,35
CaO	23,46	24,06	23,27	23,51	23,49	23,39	23,52
Na ₂ O	0,68	0,38	0,44	0,37	0,46	0,40	0,48
K ₂ O	0,04	0,01	0,02		0,01	0,02	0,01
Total	99,56	100,68	100,46	99,38	99,20	99,91	99,90
Fórmula estrutural calculada com base em 06 oxigênios							
Si	1,993	1,996	1,998	1,998	1,995	1,985	2,000
Al	0,007	0,004	0,002	0,002	0,005	0,015	
Al	0,045	0,028	0,040	0,028	0,030	0,027	0,036
Fe ³⁺	0,006	0,001			0,001		
Cr	0,006		0,005	0,002	0,004	0,016	0,005
Ti	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002	0,004	0,002
Fe ²⁺	0,169	0,153	0,156	0,161	0,158	0,115	0,146
Mn	0,012	0,008	0,010	0,008	0,008	0,005	0,008
Mg	0,781	0,840	0,835	0,840	0,831	0,884	0,840
Ca	0,931	0,941	0,910	0,932	0,933	0,916	0,925
Na	0,048	0,027	0,031	0,027	0,033	0,028	0,034
K	0,002		0,001		0,001	0,001	
Total	4,002	4,000	3,992	3,999	4,000	3,996	3,996
Wo	49,028	48,418	47,620	47,998	48,326	47,726	48,201
En	41,114	43,231	43,705	43,282	43,049	46,051	43,777
Fs	9,858	8,351	8,675	8,721	8,624	6,224	8,023

En = 100 * Mg/(Mg+Fe²⁺+Ca)Fs = 100 * Fe²⁺/(Mg+Fe²⁺+Ca)Wo = 100 * Ca/(Mg+Fe²⁺+Ca)

Anexo C.5. Análises químicas pontuais de apatita

Lâmina	FDS-03A	FDS-03A	FDS-03A	FDS-03A	FDS-03A	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-197	FDS-197	FDS-200	FDS-200
Fácies	Biotita Hornblenda Quartzo-Monzonito Porfírica													Biotita Hornblenda Quartzo-Monzonito			
Análise	9	10	11	22	23	49	20	36	53	54	15	131	23	71	61	74	
P ₂ O ₅	40,2	41,3	41,7	41,1	40,7	41,6	41,0	41,2	41,4	41,1	41,5	40,8	41,2	41,2	40,6	41,0	
SiO ₂	1,1	0,4	0,3	0,2	0,5			0,4				0,5			0,4		
FeO	0,4			0,4											0,4		
CaO	54,5	55,1	54,9	54,6	54,5	55,3	55,4	54,7	55,2	54,8	55,0	54,6	54,3	54,9	54,1	55,2	
Ce ₂ O ₃	0,7		0,2		0,2	0,3								0,2	0,3		
La ₂ O ₃	0,2		0,2														
F	2,8	3,2	2,8	3,8	4,2	2,8	3,7	3,6	2,9	4,3	3,6	4,2	4,6	3,9	4,3	3,3	
Cl		0,1					0,1		0,1			0,1					
H ₂ O	1,1	1,0	1,1	0,9	0,8	1,1	0,9	0,9	1,1	0,8	0,9	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0	
Subtotal	99,6	99,5	99,8	99,0	98,7	99,7	99,2	99,0	99,2	98,7	99,2	98,8	98,4	99,0	98,6	98,8	
O=F,Cl	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,6	0,8	0,7	0,6	0,9	0,7	0,9	0,9	0,8	0,9	0,7	
Total	100,4	100,4	100,7	100,2	100,0	100,6	100,3	100,1	100,1	100,1	100,3	100,1	99,9	100,3	100,0	99,8	
Fórmula estrutural calculada com base em 25 oxigênios																	
P	5,821	5,936	5,973	5,949	5,917	5,975	5,938	5,948	5,970	5,970	5,985	5,921	5,998	5,970	5,923	5,947	
Si	0,188	0,068	0,051	0,034	0,086			0,068				0,086			0,069		
Fe	0,057			0,057											0,058		
Ca	9,987	10,023	9,953	10,002	10,028	10,053	10,155	9,994	10,074	10,074	10,038	10,027	10,005	10,068	9,988	10,133	
Ce	0,015		0,004		0,004	0,006								0,004	0,006		
La	0,004		0,004														
OH	1,269	1,142	1,277	1,008	0,899	1,275	1,005	1,063	1,217	0,874	1,064	0,872	0,793	0,981	0,869	1,137	
F	0,731	0,829	0,723	0,992	1,101	0,725	0,966	0,937	0,754	1,126	0,936	1,099	1,207	1,019	1,131	0,863	
Cl		0,029					0,029		0,029			0,029					
Total	18,072	18,028	17,985	18,042	18,036	18,034	18,093	18,010	18,045	18,045	18,023	18,033	18,003	18,043	18,044	18,080	

Anexo C.5. Análises químicas pontuais de apatita

Lâmina	FDS-03F	FDS-03U	FDS-12B3	FDS-12B4
Fácies	Enclave			
Análise	7	82	66	27
P₂O₅	41,1	41,2	40,9	41,4
SiO₂				
FeO				
CaO	55,0	55,6	55,5	54,5
Ce₂O₃				
La₂O₃				
F	3,6	3,3	3,6	4,1
Cl				
H₂O	0,9	1,0	0,9	0,8
Subtotal	98,8	99,4	99,1	98,7
O=F,Cl	0,7	0,7	0,7	0,8
Total	98,0	98,7	98,3	97,9
Fórmula estrutural calculada com base em 25 oxigênios				
P	5,961	5,941	5,928	6,001
Si				
Fe				
Ca	10,096	10,147	10,180	9,998
Ce				
La				
OH	1,059	1,142	1,059	0,929
F	0,941	0,858	0,941	1,071
Cl				
Total	18,058	18,088	18,108	17,999

Anexo C.6. Análises químicas pontuais de epidoto

Lâmina	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-192	FDS-03U	FDS-03U	FDS-12B4	FDS-12B4
Fácies	Biotita Hornblenda Quartzo-Monzonio Porfírico						Enclave			
Análise	39	40	69	70	89	117	25	65	7	61
SiO ₂	39,2	39,2	39,1	39,4	39,3	39,3	39,5	39,5	39,2	39,1
Al ₂ O ₃	24,7	25,4	24,8	25,6	24,7	24,8	25,2	24,7	25,4	24,3
FeO	12,1	11,3	12,0	11,1	12,1	11,8	11,5	11,9	11,4	12,7
CaO	24,1	24,0	24,1	24,0	23,9	24,1	23,8	23,9	24,0	23,8
Total	100,1	99,9	100,0	100,1	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9
Si	6,010	6,005	6,000	6,017	6,026	6,025	6,041	6,051	6,001	6,012
Al	4,463	4,586	4,485	4,608	4,463	4,481	4,542	4,459	4,582	4,404
Fe ³⁺	1,551	1,448	1,540	1,418	1,552	1,513	1,471	1,524	1,459	1,633
Ca	3,959	3,939	3,962	3,927	3,926	3,959	3,900	3,923	3,936	3,921
H ₂ O	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Total	16,983	16,978	16,987	16,970	16,967	16,978	16,953	16,957	16,979	16,970
%Ps	25,794	23,994	25,559	23,528	25,794	25,241	24,461	25,477	24,155	27,053

Anexo C.7. Análises químicas pontuais de titanita

Lâmina	192	192	192	192	192	192	192	192	200
Fácies	Biotita Hornblenda Quartzo-Monzonito Porfírico								
Análise	33	34	35	55	91	104	108	112	19
SiO₂	30,9	30,6	30,9	30,7	30,8	31,0	31,1	30,6	31,7
TiO₂	37,4	38,2	37,1	37,2	38,0	37,0	37,7	37,5	34,3
Al₂O₃	1,7	1,4	2,2	1,8	1,4	1,9	1,4	1,7	3,3
FeO	0,9	0,9	1,3	0,8	1,2	0,7	1,1	1,1	1,4
CaO	27,9	28,1	28,0	27,8	27,8	28,4	27,9	28,1	27,8
Ce₂O₅	0,5	0,7		0,8	0,5		0,5	0,3	
F	0,6	0,2	0,7	0,2	0,3	0,6	0,1	0,6	1,4
Total	99,9	100,1	100,2	99,3	100,0	99,6	99,8	99,9	99,9
Fórmula estrutural calculada com base em 05 oxigênios									
Si	4,022	4,007	3,992	4,047	4,025	4,028	4,077	3,985	4,059
Al	0,261	0,216	0,335	0,280	0,216	0,291	0,216	0,261	0,498
Ti	3,661	3,763	3,605	3,688	3,735	3,616	3,717	3,673	3,303
Fe	0,098	0,099	0,140	0,088	0,131	0,076	0,121	0,120	0,150
Ca	3,890	3,942	3,876	3,926	3,892	3,953	3,918	3,920	3,813
Ce	0,006	0,008		0,010	0,006		0,006	0,004	
F	0,247	0,083	0,286	0,083	0,124	0,247	0,041	0,247	0,567
Soma	12,184	12,118	12,235	12,121	12,129	12,211	12,096	12,210	12,389

Anexo C.8. Análises químicas pontuais de zircão

Lâmina	03A	192	192	192
Fácies	Biotita	Hornblenda	Quartzo-Monzonito	Porfirítico
Análise	38	48	49	111
ZrO₂	65,2	65,1	65,9	65,5
SiO₂	33,3	33,2	32,8	32,8
UO₂		0,6		
HfO₂	1,5	1,2	1,3	1,7
Total	100,0	100,1	100,0	100,0
Fórmula estrutural calculada com base em 04 oxigênios				
Zr	0,970	0,970	0,984	0,979
Si	1,016	1,014	1,005	1,006
U		0,004		
Hf	0,013	0,010	0,011	0,015
Total	2,000	1,999	2,000	2,000

APÊNDICE D – Análises geoquímicas de rocha total

Anexo D.1. Análises geoquímicas de rocha total. Fácies Biotita Hornblenda Quartzo-monzonito Porfírico (FP);
Fácies Biotita Hornblenda Quartzo-monzonito (FM)

Amostra	70A	195A	80	79	192	193	13	12A	3A	197	200
Fácies	FP									FM	
SiO ₂	60,77	61,35	61,97	62,30	62,44	62,52	62,58	63,34	63,59	68,68	68,97
Al ₂ O ₃	15,36	14,86	14,94	14,84	14,78	14,85	14,63	14,84	14,67	15,34	15,17
CaO	4,45	4,58	4,25	4,02	4,48	4,12	4,18	4,06	3,70	2,14	1,88
Na ₂ O	3,17	3,19	3,12	3,15	3,20	2,97	3,20	3,44	3,23	3,97	4,02
K ₂ O	4,39	3,90	4,24	4,25	4,03	4,55	4,25	4,25	4,43	5,01	5,03
TiO ₂	0,81	0,84	0,74	0,75	0,75	0,73	0,77	0,67	0,63	0,33	0,30
Fe ₂ O ₃	5,85	6,00	5,54	5,40	5,49	5,35	5,59	5,12	5,21	2,42	2,23
MnO	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,04	0,04
MgO	3,54	3,81	3,51	3,40	3,22	3,41	3,19	2,94	2,82	1,26	1,08
P ₂ O ₅	0,35	0,35	0,38	0,35	0,30	0,34	0,33	0,29	0,27	0,16	0,15
LOI	0,70	0,60	0,80	1,00	0,9	0,70	0,80	0,60	1,00	0,40	0,9
Total	98,78	98,97	98,78	98,55	98,78	98,93	98,81	99,03	98,63	99,35	98,87
V	11	119	110	104	110	108	107	97	91	37	35
Co	16,7	16,7	15,7	15,5	14,6	15,7	15,8	13,4	13,3	5,7	4,6
Zn	61	64	64	-	53	61	53	52	51	55	51
Ni	24	26,1	29,8	26,2	21	25	19,3	22	21,4	<20	<20
Cu	18,7	21,2	17,8	13,9	18,0	22,4	19,6	16,6	17,2	9,9	11,2
Ba	631	1286	1648	1538	1284	1535	1232	1194	1281	1171	1078
Rb	142,0	122,8	127,8	137,2	145,3	126,2	158,9	151,5	159,4	142,5	171,4
Sr	772,7	751,4	760,8	735,0	625,0	747,0	609,2	682,9	649,1	733,6	683,4
Y	2,5	19,0	18,0	17,3	18,5	19,8	19,0	15,9	15,5	8,2	7,7
Zr	108,1	221,4	213,2	225,9	192,6	219,5	204,9	198,5	197,1	151,9	141,0
Nb	9,7	9,5	8,0	9,4	9,6	9,2	10,9	9,4	8,9	5,6	7,2
Th	11,3	14,4	11,9	13,7	16,0	18,0	14,9	13,0	13,8	12,5	18,2
U	3,0	2,8	2,4	2,2	3,6	3,3	3,2	3,1	2,7	2,0	3,6
Ga	22,5	21,2	20,8	20,8	19,1	19,8	20,9	21,2	20,6	20,0	20,7
Sc	14,0	13,0	13,0	12,0	13,0	13,0	14,0	13,0	12,0	4,0	4,0
Sn	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Ta	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,5	0,5	0,7
Hf	5,9	6,4	5,8	6,2	5,7	6,1	6,2	5,7	5,3	4,9	4,5
Be	4,0	3,0	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	5,0
Cs	4,4	3,2	4,6	4,4	5,3	3,2	4,4	4,6	5,5	3,7	8,8
La	38,7	49,6	41,3	44,9	40,7	58,4	41,0	35,7	37,7	33,1	32,9
Ce	81,1	102,1	86,6	88,8	83,6	119,4	87,9	76,6	78,4	64,1	63,9
Pr	9,95	11,90	10,41	10,62	9,92	13,68	10,29	8,97	9,11	7,4	7,24
Nd	39,50	45,70	43,20	42,20	38,50	49,60	39,30	36,50	37,1	27,1	26,9
Sm	8,27	8,63	8,55	8,19	7,27	9,17	6,92	6,50	6,27	5,02	5,06
Eu	1,86	2,15	1,90	1,82	1,75	2,14	1,66	1,58	1,54	1,23	1,17
Gd	6,12	6,38	6,28	5,92	5,47	6,64	5,22	4,78	4,72	3,40	3,28
Tb	0,79	0,84	0,80	0,76	0,77	0,86	0,77	0,67	0,66	0,41	0,39
Dy	3,97	4,17	3,96	3,80	3,94	4,23	3,75	3,17	2,87	1,81	1,75
Ho	0,67	0,71	0,68	0,65	0,69	0,72	0,66	0,54	0,53	0,29	0,26
Er	1,65	1,91	1,82	1,66	1,88	1,89	1,75	1,60	1,42	0,80	0,73
Tm	0,24	0,28	0,26	0,25	0,28	0,27	0,25	0,21	0,21	0,12	0,10
Yb	1,49	1,70	1,69	1,61	1,66	1,61	1,59	1,36	1,33	0,73	0,68
Lu	0,21	0,24	0,22	0,21	0,24	0,23	0,22	0,19	0,19	0,11	0,09

Anexo D.2. Análises geoquímicas de rocha total. Enclaves máficos microgranulares (MME).

Amostra	3B	12B ₂	12B ₁	3F	3J	3N	3U	12B ₄	77G	3C
Fácies	MME								Minette	
SiO ₂	45,14	45,22	47,84	50,01	53,25	58,27	60,84	63,69	55,23	56,94
Al ₂ O ₃	13,25	12,35	13,68	12,58	12,11	13,71	14,21	13,83	12,60	12,89
CaO	7,51	7,00	6,47	7,30	6,77	5,55	2,67	2,43	5,22	4,54
Na ₂ O	2,10	1,32	2,36	1,78	1,06	3,12	1,63	3,80	1,28	1,70
K ₂ O	4,50	5,34	4,49	5,94	7,28	4,09	8,79	3,26	7,66	6,96
TiO ₂	1,51	1,38	1,47	0,86	1,03	0,93	0,62	0,95	0,80	0,76
Fe ₂ O ₃	14,12	14,53	13,17	12,15	10,69	8,45	6,19	7,05	7,73	7,01
MnO	0,23	0,24	0,21	0,19	0,17	0,12	0,07	0,08	0,15	0,13
MgO	8,56	9,91	7,96	6,80	6,96	4,97	3,43	3,43	7,04	6,63
P ₂ O ₅	1,10	0,98	0,60	0,81	1,30	0,53	0,57	0,19	0,65	0,59
LOI	1,50	1,20	1,20	1,16	-	0,89	0,74	1,29	1,10	1,30
Total	98,02	98,27	98,25	98,41	100,63	99,75	99,03	98,71	98,36	98,15
V	274	247	249	201	163	155	93	138	139	129,9
Ni	37,7	48,3	48,3	-	-	-	-	64,7	27,4	29,5
Cr	510	950	640	510	600	370	310	220	87	78
Ba	724	856	705	1450	1505	1010	2190	388	105,4	116,9
Rb	251,2	320,6	262,9	201,0	259,0	168,5	312,0	388,0	125,90	108,20
Sr	244,5	176,5	273,3	346,0	313,0	444,0	518,0	367,7	1523,00	1381,00
Y	34,6	19,0	30,0	19,1	22,0	23,9	10,1	22,3	332,80	326,60
Zr	424,8	321,2	307,8	233,0	307,0	246,0	239,0	203,0	377,50	399,90
Nb	20,1	8,8	15,3	14,9	9,5	16,9	7,4	7,8	16,20	13,00
Th	15,1	26,5	23,4	16,3	28,7	18,1	13,2	6,2	237,50	221,80
U	4,90	2,50	3,80	3,10	3,51	3,03	2,67	1,90	6,00	6,00
Ga	30,7	29,7	28,1	27,6	21,1	23,8	21,8	16,0	20,9	16,2
Sn	7,0	5,0	6,0	7,0	4,0	6,0	3,0	2,0	2,9	2,9
Ta	1,1	0,3	0,8	0,8	0,5	1,0	0,5	0,5	19,0	20,5
Hf	12,6	9,9	9,4	7,1	9,8	7,2	6,8	5,9	21,0	18,0
Pb	3,7	2,9	4,3					3,2	1,0	2,0
Cs	9,80	12,90	11,00	6,71	8,08	7,08	9,72	9,20	0,10	<0,10
La	35,6	51,8	53,5	34,9	71,2	56,7	36,7	23,9	7,0	6,7
Ce	95,8	102,7	115,6	80,0	145,0	114,0	69,6	51,7	-	2,0
Pr	13,60	11,60	13,74	8,88	15,75	12,35	6,99	6,09	10,20	7,90
Nd	60,8	44,40	56,80	37,70	62,20	50,90	26,40	25,50	49,10	43,50
Sm	12,41	7,42	10,66	7,96	12,00	9,97	4,21	4,23	95,10	89,20
Eu	2,54	1,40	2,06	1,51	1,71	1,85	0,72	0,76	10,21	9,86
Gd	9,84	5,79	8,25	5,35	8,27	7,10	2,78	4,39	40,30	37,20
Tb	1,41	0,77	1,21	0,66	1,03	0,81	0,30	0,75	7,31	6,26
Dy	6,69	3,35	5,97	3,68	5,42	4,82	1,72	4,10	0,90	0,99
Ho	1,18	0,63	1,04	0,67	0,90	0,81	0,29	0,81	5,66	4,54
Er	3,12	1,75	2,89	1,81	2,58	1,93	0,96	2,27	0,71	0,62
Tm	0,44	0,24	0,42	0,28	0,31	0,32	0,16	0,34	3,24	2,78
Yb	3,03	1,58	2,68	1,76	1,92	1,92	0,86	2,08	0,68	0,44
Lu	0,42	0,25	0,39	0,27	0,32	0,28	0,15	0,30	1,79	1,18

ANEXO A – Regras de formatação da revista “Journal of South American Earth Sciences”



JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES

Including Mexico, Central America, The Caribbean and The Antarctic Peninsula

AUTHOR INFORMATION PACK

TABLE OF CONTENTS

•	Description	p.1
•	Audience	p.1
•	Impact Factor	p.1
•	Abstracting and Indexing	p.2
•	Editorial Board	p.2
•	Guide for Authors	p.3



ISSN: 0895-9811

DESCRIPTION

Papers must have a regional appeal and should present work of more than local significance. Research papers dealing with the **regional geology** of South American cratons and mobile belts, within the following research fields: Economic geology, metallogenesis and hydrocarbon genesis and reservoirs Geophysics, geochemistry, volcanology, igneous and metamorphic petrology Tectonics, neo- and seismotectonics and geodynamic modeling Geomorphology, geological hazards, environmental geology, climate change in America and Antarctica, and soil research Stratigraphy, sedimentology, structure and basin evolution Paleontology, paleoecology, paleoclimatology and Quaternary geology

New developments in already established regional projects and new initiatives dealing with the geology of the continent will be summarized and presented on a regular basis. Short notes, discussions, book reviews and conference and workshop reports will also be included when relevant.

AUDIENCE

All Geoscientists interested in this area.

IMPACT FACTOR

2018: 1.655 © Clarivate Analytics Journal Citation Reports 2019

ABSTRACTING AND INDEXING

Research Alert
 Web of Science
 Current Contents - Physical, Chemical & Earth Sciences
 Scopus
 Petroleum Abstracts
 GeoRef
 CAB International
 Academic Search (EBSCO)
 Current Abstracts (EBSCO)
 TOC Premier
 Engineering Village - GEOBASE
 OCLC Contents Alert
 Personal Alert
 Arts & Humanities Search
 Current Contents
 Science Citation Index Expanded
 Web of Science
 Zoological Record

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

Francisco J Vega, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Mexico City, Mexico
Andrés Folguera, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

Managing Editor

Kerry McCarney-Castle, HDR Engineering, Inc., Charlotte, North Carolina, USA

Regional Editors:

Franck Audemard M., Venezuelan Foundation for, Caracas, Venezuela
Reinhardt Fuck, Universidade de Brasília, Brasília, Brazil
Camilo Montes, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia
Verónica Oliveros, University of Concepción, Concepcion, Chile
Pablo Samaniego, Université Clermont Auvergne - CNRS - IRD, Clermont-Ferrand, France
Martín Valencia Moreno, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Mexico

Associate Editors:

Susan Beck, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA
Mark Brandon, Yale University, New Haven, USA
Cesar Casquet, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain
Graham Evans
Suzanne Mahlburg Kay, Cornell University, Ithaca, New York, USA
James Kellogg, University of South Carolina, Columbia, South Carolina, USA
Michelangelo Martini, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Mexico
Joseph Martinod, Université de Savoie, Chambéry, Chambéry, France
Hubert Miller, Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), München, Germany
Constantino Mpodozis, Antofagasta Minerals, Chile
Victor Ramos, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina
Wouter Pieter Schellart, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, Netherlands
Norman J. Snelling
Anthony Tankard, Tankard Enterprises Ltd., Calgary, Alberta, Canada
Stuart Thomson, University of Arizona, AZ, USA

Founding Editors:

Macellari
Norman J. Snelling

Technical Support

Journal Manager of Journal of South American Earth Sciences

GUIDE FOR AUTHORS

Your Paper Your Way

We now differentiate between the requirements for new and revised submissions. You may choose to submit your manuscript as a single Word or PDF file to be used in the refereeing process. Only when your paper is at the revision stage, will you be requested to put your paper in to a 'correct format' for acceptance and provide the items required for the publication of your article.

To find out more, please visit the Preparation section below.

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print

Graphical Abstracts / Highlights files (where applicable)

Supplemental files (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)
- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

Please see our information pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

Declaration of interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential competing interests include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. Authors must disclose any interests in two places: 1. A summary declaration of interest statement in the title page file (if double-blind) or the manuscript file (if single-blind). If there are no interests to declare then please state this: 'Declarations of interest: none'. This summary statement will be ultimately published if the article is accepted. 2. Detailed disclosures as part of a separate Declaration of Interest form, which forms part of the journal's official records. It is important for potential interests to be declared in both places and that the information matches. [More information](#).

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract, a published lecture or academic thesis, see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that

its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service [Crossref Similarity Check](#).

Preprints

Please note that [preprints](#) can be shared anywhere at any time, in line with Elsevier's [sharing policy](#). Sharing your preprints e.g. on a preprint server will not count as prior publication (see '[Multiple, redundant or concurrent publication](#)' for more information).

Use of inclusive language

Inclusive language acknowledges diversity, conveys respect to all people, is sensitive to differences, and promotes equal opportunities. Articles should make no assumptions about the beliefs or commitments of any reader, should contain nothing which might imply that one individual is superior to another on the grounds of race, sex, culture or any other characteristic, and should use inclusive language throughout. Authors should ensure that writing is free from bias, for instance by using 'he or she', 'his/her' instead of 'he' or 'his', and by making use of job titles that are free of stereotyping (e.g. 'chairperson' instead of 'chairman' and 'flight attendant' instead of 'stewardess').

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Article transfer service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable in one of our other participating journals, then you may be asked to consider transferring the article to one of those. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. Please note that your article will be reviewed again by the new journal. [More information](#).

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For gold open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of gold open access articles is determined by the author's choice of [user license](#).

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information](#).

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some funding bodies will reimburse the author for the gold open access publication fee. Details of [existing agreements](#) are available online.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our [universal access programs](#).
- No open access publication fee payable by authors.
- The Author is entitled to post the [accepted manuscript](#) in their institution's repository and make this public after an embargo period (known as green Open Access). The [published journal article](#) cannot be shared publicly, for example on ResearchGate or Academia.edu, to ensure the sustainability of peer-reviewed research in journal publications. The embargo period for this journal can be found below.

Gold open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse.
- A gold open access publication fee is payable by authors or on their behalf, e.g. by their research funder or institution.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For gold open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following [Creative Commons user licenses](#):

Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The gold open access publication fee for this journal is **USD 2500**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <https://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our [open access page](#) for further information. Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form. [Find out more](#).

This journal has an embargo period of 24 months.

Elsevier Researcher Academy

[Researcher Academy](#) is a free e-learning platform designed to support early and mid-career researchers throughout their research journey. The "Learn" environment at Researcher Academy offers several interactive modules, webinars, downloadable guides and resources to guide you through the process of writing for research and going through peer review. Feel free to use these free resources to improve your submission and navigate the publication process with ease.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's Author Services.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Submit your article

Please submit your article via <https://www.evise.com/profile/api/navigate/SAMES>

PREPARATION

Paper length

The maximum number of words per article is 19,000.

NEW SUBMISSIONS

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts your files to a single PDF file, which is used in the peer-review process.

As part of the Your Paper Your Way service, you may choose to submit your manuscript as a single file to be used in the refereeing process. This can be a PDF file or a Word document, in any format or layout that can be used by referees to evaluate your manuscript. It should contain high enough quality figures for refereeing. If you prefer to do so, you may still provide all or some of the source files at the initial submission. Please note that individual figure files larger than 10 MB must be uploaded separately.

References

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the article number or pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Formatting requirements

There are no strict formatting requirements but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for example Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Artwork and Tables with Captions.

If your article includes any Videos and/or other Supplementary material, this should be included in your initial submission for peer review purposes.

Divide the article into clearly defined sections.

Figures and tables embedded in text

Please ensure the figures and the tables included in the single file are placed next to the relevant text in the manuscript, rather than at the bottom or the top of the file. The corresponding caption should be placed directly below the figure or table.

Peer review

This journal operates a single blind review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. [More information on types of peer review.](#)

REVISED SUBMISSIONS

Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the [Guide to Publishing with Elsevier](#)). See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

LaTeX

You are recommended to use the Elsevier article class [elsarticle.cls](#) to prepare your manuscript and [BibTeX](#) to generate your bibliography.

Our [LaTeX site](#) has detailed submission instructions, templates and other information.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient details to allow the work to be reproduced by an independent researcher. Methods that are already published should be summarized, and indicated by a reference. If quoting directly from a previously published method, use quotation marks and also cite the source. Any modifications to existing methods should also be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Data Availability

Authors are encouraged to include a 'Data Availability' section in their manuscript which is visible in ALL reading formats and may refer to data hosted in ANY repository. It should be placed before the references to provide readers with information about where they can obtain the research data required to reproduce the work reported in the manuscript, and typically consists of a simple sentence giving the URL(s) of and citation(s) to the dataset(s). Full information can be found [here](#).

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. You can add your name between parentheses in your own script behind the English transliteration. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. This responsibility includes answering any future queries about Methodology and Materials. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal as they help increase the discoverability of your article via search engines. They consist of a short collection of bullet points that capture the novel results of your research as well as new methods that were used during the study (if any). Please have a look at the examples here: [example Highlights](#).

Highlights should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point).

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

Although a graphical abstract is optional, its use is encouraged as it draws more attention to the online article. The graphical abstract should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. You can view [Example Graphical Abstracts](#) on our information site.

Authors can make use of Elsevier's [Illustration Services](#) to ensure the best presentation of their images and in accordance with all technical requirements.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxxx, yyyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other units are mentioned, please give their equivalent in SI.

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article.

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image.
- For Word submissions only, you may still provide figures and their captions, and tables within a single file at the revision stage.
- Please note that individual figure files larger than 10 MB must be provided in separate source files. A detailed [guide on electronic artwork](#) is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.

TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi is required.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
- Supply files that are too low in resolution.

- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support [Citation Style Language styles](#), such as [Mendeley](#). Using citation plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide. If you use reference management software, please ensure that you remove all field codes before submitting the electronic manuscript. [More information on how to remove field codes from different reference management software.](#)

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/journal-of-south-american-earth-sciences>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plugins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference Formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

[dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. Mendeley Data, v1. <http://dx.doi.org/10.17632/xwj98nb39r.1>.

Reference style

All publications cited in the text should be presented in a list of references following the text of the manuscript. In the text refer to the author's name (without initials) and year of publication (e.g. "Since Condie (2001) has shown that..." or "This is in agreement with results obtained later (Meert, 2003; Burrett and Berry, 2000)."

For three or more authors use the first author followed by "et al.", in the text. The list of references should be arranged alphabetically by authors' names. The manuscript should be carefully checked to ensure that the spelling of authors' names and dates are exactly the same in the text as in the reference list.

References should be given in the following form:

Kusky, T.M., Stern, R.J., Tucker, R.D., 2003. Evolution of East African and related orogens, and the assembly of Gondwana. *Precambrian Research*, 123, 81–85.

Pili, E., Sheppard, S.M.F., Lardeaux, J.M., 1999. Fluid–rock interaction in the granulites of Madagascar and lithospheric transfer of fluids. *Gondwana Research*, 2, 341–350.

Suzuki, K., Adachi, M., 1992. Middle Precambrian detrital monazite and zircon from Hida gneiss in Oki-Dogo island, Japan: their origin and implications for the correlation of basement gneiss of Southwest Japan and Korea. *Tectonophysics*, 235, 277–292.

Touret, J.L.R., 1985. Fluid regime in southern Norway, the record of fluid inclusions. In: Tobi, A.C., Touret, J.L.R. (Eds.), *The Deep Proterozoic Crust in the North Atlantic Provinces*. Reidel, Dordrecht, 517–549.

Kinny, P. D., Collins, A. S., Razakamanana, T., 2004. Provenance hints and age constraints of metasedimentary gneisses of Southern Madagascar from SHRIMP U–Pb zircon data. In: Chetty, T.R.K. and Bhaskar Rao, Y.J. (Eds.), *International Field Workshop on the Southern Granulite Terrane*. National Geophysical Research Institute, Hyderabad, India, 97–98.

Rogers, J.J.W. and Santosh, M., 2004. *Continents and Supercontinents*. Oxford University Press, New York. Li, Z.X., Metcalfe, I., Powell, C.M. (Eds.), 1996. Breakup of Rodinia and Gondwanaland and Assembly of Asia. *Australian Journal of Earth Sciences* 43.

Albee, H.F., Cullins, H.L., 1975. Geologic map of the Alpine Quadrangle, Bonneville County, Idaho, and Lincoln County Wyoming. United States Geological Survey Geologic Quadrangle Map GQ–1259, scale 1:24,000.

Sajeev, K., 2003. Evolution and metamorphic zoning of Highland Complex, Sri Lanka: a comparison with Madurai Block, southern India. Ph.D. thesis, Okayama University.

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the file in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB per file, 1 GB in total. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com). Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For

more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Data visualization

Include interactive data visualizations in your publication and let your readers interact and engage more closely with your research. Follow the instructions [here](#) to find out about available data visualization options and how to include them with your article.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

Research data

This journal requires and enables you to share data that supports your research publication where appropriate, and enables you to interlink the data with your published articles. Research data refers to the results of observations or experimentation that validate research findings. To facilitate reproducibility and data reuse, this journal also encourages you to share your software, code, models, algorithms, protocols, methods and other useful materials related to the project.

Below are a number of ways in which you can associate data with your article or make a statement about the availability of your data when submitting your manuscript. When sharing data in one of these ways, you are expected to cite the data in your manuscript and reference list. Please refer to the "References" section for more information about data citation. For more information on depositing, sharing and using research data and other relevant research materials, visit the [research data page](#).

Data linking

If you have made your research data available in a data repository, you can link your article directly to the dataset. Elsevier collaborates with a number of repositories to link articles on ScienceDirect with relevant repositories, giving readers access to underlying data that gives them a better understanding of the research described.

There are different ways to link your datasets to your article. When available, you can directly link your dataset to your article by providing the relevant information in the submission system. For more information, visit the [database linking page](#).

For [supported data repositories](#) a repository banner will automatically appear next to your published article on ScienceDirect.

In addition, you can link to relevant data or entities through identifiers within the text of your manuscript, using the following format: Database: xxxx (e.g., TAIR: AT1G01020; CCDC: 734053; PDB: 1XFN).

Mendeley Data

This journal supports Mendeley Data, enabling you to deposit any research data (including raw and processed data, video, code, software, algorithms, protocols, and methods) associated with your manuscript in a free-to-use, open access repository. During the submission process, after uploading your manuscript, you will have the opportunity to upload your relevant datasets directly to *Mendeley Data*. The datasets will be listed and directly accessible to readers next to your published article online.

For more information, visit the [Mendeley Data for journals page](#).

To maximise the visibility of your data, authors are invited to add a citation to their datasets by including a data reference in their Reference List as per the 'Data References' instructions elsewhere on this page.

Data in Brief

You have the option of converting any or all parts of your supplementary or additional raw data into one or multiple data articles, a new kind of article that houses and describes your data. Data articles ensure that your data is actively reviewed, curated, formatted, indexed, given a DOI and publicly available to all upon publication. You are encouraged to submit your article for *Data in Brief* as an additional item directly alongside the revised version of your manuscript. If your research article is accepted, your data article will automatically be transferred over to *Data in Brief* where it will be editorially reviewed and published in the open access data journal, *Data in Brief*. Please note an open access fee of 600 USD is payable for publication in *Data in Brief*. Full details can be found on the [Data in Brief website](#). Please use [this template](#) to write your Data in Brief.

MethodsX

You have the option of converting relevant protocols and methods into one or multiple MethodsX articles, a new kind of article that describes the details of customized research methods. Many researchers spend a significant amount of time on developing methods to fit their specific needs or setting, but often without getting credit for this part of their work. MethodsX, an open access journal, now publishes this information in order to make it searchable, peer reviewed, citable and reproducible. Authors are encouraged to submit their MethodsX article as an additional item directly alongside the revised version of their manuscript. If your research article is accepted, your methods article will automatically be transferred over to MethodsX where it will be editorially reviewed. Please note an open access fee is payable for publication in MethodsX. Full details can be found on the [MethodsX website](#). Please use [this template](#) to prepare your MethodsX article.

Data statement

To foster transparency, we require you to state the availability of your data in your submission if your data is unavailable to access or unsuitable to post. This may also be a requirement of your funding body or institution. You will have the opportunity to provide a data statement during the submission process. The statement will appear with your published article on ScienceDirect. For more information, visit the [Data Statement page](#).

AFTER ACCEPTANCE

Online proof correction

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Author Services](#). Corresponding authors who have published their article gold open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.

AUTHOR INQUIRIES

Visit the [Elsevier Support Center](#) to find the answers you need. Here you will find everything from Frequently Asked Questions to ways to get in touch.

You can also [check the status of your submitted article](#) or find out [when your accepted article will be published](#).

ANEXO B – Regras de formatação da revista “Brazilian Journal of Geology”

28/09/2019

Brazil. J. Geol. - Instructions to authors

BRAZILIAN
JOURNAL
OF GEOLOGY

ISSN 2317-4889 printed version
ISSN 2317-4692 on-line version

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

- [Scope and Policy](#)
- [Form and preparation of manuscripts](#)
- [Manuscript submission](#)

Scope and Policy

AIMS AND SCOPE

The Brazilian Journal of Geology (BJG) is a quarterly journal published by the Brazilian Geological Society with an electronic open access version that provides an international medium for the publication of original scientific work of broad interest concerned with all aspects of the earth sciences in Brazil, South America, and Antarctica, including oceanic regions adjacent to these regions. The BJG publishes papers with a regional appeal and more than local significance in the fields of mineralogy, petrology, geochemistry, paleontology, sedimentology, stratigraphy, structural geology, tectonics, neotectonics, geophysics applied to geology, volcanology, metallogeny and mineral deposits, marine geology, glaciology, paleoclimatology, geochronology, biostratigraphy, engineering geology, hydrogeology, geological hazards and remote sensing, providing a niche for interdisciplinary work on regional geology and Earth history.

The BJG publishes articles (including review articles), rapid communications, articles with accelerated review processes, editorials, and discussions (brief, objective and concise comments on recent papers published in BJG with replies by authors).

Manuscripts must be written in English. Companion papers will not be accepted.

ETHICS IN PUBLISHING

The BJG follows the Code of Good Scientific Practice published by the São Paulo State Research Foundation – FAPESP, see http://www.fapesp.br/bonaspeticas/FAPESP-Code_of_Good_Scientific_Practice_2014.pdf.

FUNDING SOURCES

Authors should identify the sources of financial support for the research and/or preparation of the article and briefly describe the role of sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication.

COPYRIGHT AND OPEN ACCESS

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a "BJG publishing agreement" transferring the copyright to the Brazilian Geological Society.

The BJG is an open access journal which means that all articles will be freely available to the wider public and that reuse will be permitted.

CONFLICTS OF INTERESTS

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work.

SUBMISSION DECLARATION AND VERIFICATION

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a

published lecture or academic thesis), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors as well as tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically, without the written consent of the copyright-holder. Authors should verify the originality of the article by checking for plagiarism with any available software.

In addition, the corresponding author must state that:

- The article has not been partitioned and that its contents are fully and independently understandable;
- The article, edited in Microsoft Word, A4 format, does not exceed 12,000 words;
- Each illustration or table is being sent in a separate file (.tif for figures);
- No text or illustration file exceeds 10 Mb;
- The authors are aware that submissions that do not comply with the "Instructions to authors" for BJG will be returned to the corresponding author;
- The authors are aware that if reviewers indicate the need for major or minor revision, they will have 30 days to make the corrections suggested by the editors;
- The authors are aware that they should carefully check and correct print proofs and return them to publishers within 48 hours to ensure the publication of the article without errors;
- The authors are aware that, should the article be accepted for publication, copyright will be transferred to the Brazilian Geological Society by sending a letter signed by all authors ("BJG publishing agreement").

SUBMISSION

Our online submission system (ScholarOne – SciELO) will guide you stepwise through the process of entering details on your article and uploading your files. The system will convert your article files to a single PDF file for use in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, will be sent by e-mail.

EVALUATION

Peer review: Articles will be submitted to critical analysis by least two reviewers.

Type of evaluation: Authors will be identified in the manuscripts received by the Reviewers.

Form and preparation of manuscripts

Use of word processing software

Regardless of the file format of the original submission, at revision you must provide us with an editable file of the entire article. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts.

To avoid errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Article structure

There are no strict formatting requirements, but all manuscripts must contain the essential elements needed to convey your manuscript, for

example, Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, References, Artwork and Tables with Captions.

Divide the article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be re-produced. Methods already published should be indicated by a reference. Only relevant modifications should be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. This also applies to tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

Title. Concise, informative, and interesting. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

Author names and affiliations. Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript number immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

Corresponding author. Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing, publication, and post-publication. Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.

Present/permanent address. If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of '). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.), as well as institutions and funding agencies.

Units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other units are mentioned, please give their equivalent in SI.

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Preferred fonts: Arial (or Helvetica), Times New Roman (or Times), Symbol, Courier.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- For Word submissions only, you may provide figures, their captions, and tables within a single file at the revision stage.

Formats

Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please 'save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

- EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as 'graphics'.
- TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (half- tones): always use a minimum of 300 dpi.
- TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1000 dpi.
- TIFF (or JPG): Combined bitmapped line/half-tone (color or grayscale) images: a minimum of 500 dpi is required. **Please do not:**
 - Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low.
 - Supply files that are too low in resolution.
 - Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format — TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files — and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures, these will appear in color online.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations to a minimum, but be sure to explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules.

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, name(s) of author(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI

is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by SCIELO at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct.

Reference style

All publications cited in the text should be presented in a list of references following the text of the manuscript. In the text refer to the author's name (without initials) and year of publication (e.g. "Since Almeida (1986) has shown that..." or "This is in agreement with results obtained later (Trompette 1994; Heilbron and Machado 2003).". For three or more authors use the first author followed by "et al.", in the text. The list of references should be arranged alphabetically by authors' names. The manuscript should be carefully checked to ensure that the spelling of authors' names and dates are exactly the same in the text as in the reference list.

References should be given in the following form:

Papers in scientific journals

Almeida F.F.M. 1986. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**:325-349.

Costa I.P., Bueno G.V., Milhomem P.S., Silva H.S.R.L., Kosin M.D. 2007. Sub-bacia de Tucano Norte e Bacia de Jatobá. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15**:445-453.

Escayola M.P., Pimentel M.M., Armstrong R. 2007. Neoproterozoic backarc basin: sensitive high-resolution ion microprobe U-Pb and Sm-Nd isotopic evidence from the eastern Pampean Ranges, Argentina. *Geology*, **35**:495-498.

Heilbron, M. and Machado, N. 2003, Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, **125**:87-112.

Books and book chapters

Bedell R., Crósta A.P., Grunsky E. (eds.). 2009. *Remote Sensing and Spectral Geology*. Littleton, Society of Economic Geologists, 270 p.

Kaufman A.J., Sial A.N., Frimmel H.E., Misi A. 2009. Neoproterozoic to Cambrian palaeoclimatic events in southwestern Gondwana In: Gaucher C., Sial A.N., Frimmel H.E., Helverson G.P. (eds.). Neoproterozoic- Cambrian tectonics, global change and evolution: a focus on southwestern Gondwana. *Developments in Precambrian Geology*, 16, Amsterdam, Elsevier, p. 369-388.

Pankhurst R.J. & Rapela C.W. (eds.). 1998. *The Proto- Andean margin of Gondwana*. London, Geological Society of London Special Publication, **142**, 382 p.

Trompette R. 1994. *Geology of western Gondwana (2000–500 Ma)*. Rotterdam, Balkema, 350 p.

Papers in scientific meetings

Astini R., Ramos V.A., Benedetto J.L., Vaccari N.E., Cañas F.L. 1996. La Precordillera: un terreno exótico a Gondwana. In: 13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso Exploración de Hidrocarburos. Buenos Aires, *Actas*, v. 5, p. 293-324.

Leite-Junior W.B, Bettencourt J.S., Payolla B.L. 2003. Evidence for multiple sources inferred from Sr and Nd isotopic data from felsic rocks in the Santa Clara Intrusive Suite, Rondonia, Brazil. In: SSAGI, South American Symposium on Isotope Geology. Salvador, *Short Papers*, p. 583-585.

Milani E.J. & Thomaz-Filho A. 2000. Sedimentary basins of South América. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz-Filho A., Campos D.A. (eds.). Tectonic evolution of South America. *31st International Geological Congress*. Rio de Janeiro, p. 389-452.

Thesis and dissertations

Paes V.J.C. 1999. *Geologia da quadrícula Alvarenga, MG, e a geoquímica: implicações geotectônicas e metalogenéticas*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 144 p.

Ávila C.A. 2000. *Geologia, petrografia e geocronologia de corpos plutônicos paleoproterozóicos da borda meridional do Cráton São Francisco, região de São João Del Rei, Minas Gerais*. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 401 p.

Printed maps

Inda H.A.V. & Barbosa J.F. 1978. *Mapa geológico do Estado da Bahia, escala 1:1.000.000*. Salvador, Secretaria das Minas e Energia, Coordenação da Produção Mineral. Mascarenhas J.F. & Garcia T.M. 1989. *Mapa geocronológico do Estado da Bahia, escala 1:1.000.000*. Texto explicativo. Salvador, Secretaria das Minas e Energia, Coordenação da Produção Mineral, 186 p.

Schobbenhaus C. (coord.). 1975. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – Folha Goiás (SD 22)*. Texto explicativo. Brasília, Departamento Nacional da Produção Mineral, 114 p.

Internal reports

Internal reports will not be accepted, unless of open access for the scientific community and authorized by ad hoc consultants.

Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations:

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'.
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa.
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet).

Rapid communications

Rapid communications are limited to 2000 words, including references. Summary and abstract are limited to 100 words. At the discretion of the editors, these communications may be scheduled for the first available edition.

Articles with accelerated review process

An accelerated review process may be requested for complete original

studies, for which urgency of publication is adequately justified. At the discretion of the editors, these can be programmed for the first available edition. They must follow the same format described for original articles.

Editorials

Editorials should cover some aspect of the broad spectrum of the Geological Sciences. They will be authored by the editors of BJG, by people linked to the Brazilian Geological Society or by industry personalities. These documents will not be submitted to peer review and will be published at the discretion of the editors.

Review articles

Review articles should cover relevant topics of Geology. These articles may be requested by the editors, but recognized experts may spontaneously submit review articles in their field of expertise. In this case, potential authors should contact the editors to ascertain their interest prior to submitting the article

Manuscript submission

The submission of manuscripts must only be performed online at <http://mc04.manuscriptcentral.com/bjgeo-scielo>

There are no fees for submission and evaluation of articles.

[\[Home\]](#) [\[About the journal\]](#) [\[Editorial board\]](#) [\[Subscriptions\]](#)



All the content of the journal, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons License](#)

Sociedade Brasileira de Geologia - SBG
R. do Lago, 562 - Cidade Universitária,
CEP 05508-080, São Paulo, SP - Brasil.
Tel.: 11 3812-6166



sbgeol@uol.com.br

ANEXO C – Regras de formatação da revista “Geologia USP - Série Científica”

Diretrizes para Autores

1. PÁGINA DE ROSTO – deverá conter: três títulos, em português, em inglês e título curto no idioma principal do manuscrito com no máximo 50 caracteres, contando os espaços; nome completo e instituição de origem dos autores; endereço completo **do autor principal** (logradouro, CEP, cidade, estado, país, caixa postal e telefone para contato), e-mail de todos os autores; número de palavras; total de figuras e de tabelas.

2. RESUMO E ABSTRACT – em um único parágrafo, devem ser concisos, com no máximo 270 palavras. Textos mais longos devem vir acompanhados de justificativa circunstanciada.

3. PALAVRAS-CHAVE E KEYWORDS – máximo seis, separadas por ponto e vírgula, com a primeira letra em maiúscula. Ex.: Bacia do Araripe; Quaternário; Fácies; Depósitos magmáticos.

4. TEXTO PRINCIPAL – poderá ser redigido em português ou inglês. Elaborar em Word, fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. **O tamanho máximo aceito para publicação é de 25 páginas, incluindo texto, resumo, abstract, tabelas, figuras e referências bibliográficas.** Trabalhos mais longos podem ser aceitos desde que argumentos científicos que os justifiquem sejam apresentados e aceitos.

a) Na fase de submissão, inserir numeração de páginas, bem como as figuras, tabelas, legendas e referências.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras, tabelas e legendas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras e tabelas.

5. TÍTULOS

a) Título do artigo:

Título principal – **Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.**

Título em inglês – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Título curto - Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito /sem itálico).

b) Títulos e subtítulos no interior do artigo:

NÍVEL 1 – **NEGRITO, CAIXA ALTA.**

Nível 2 – **Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.**

Nível 3 – *Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).*

Nível 4 – Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

6. TABELAS E QUADROS – considerar quadro como tabela. Elaborar em Word, no modo “tabela”, com formato aberto, fonte Arial, tamanho 8. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Tabelas muito extensas deverão ser divididas.

a) Na fase de submissão, inserir as tabelas no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as tabelas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das tabelas.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

7. ILUSTRAÇÕES – mapas, fotos, figuras, gráficos, pranchas, fotomicrografias etc., considerar como figuras. Utilizar fonte Arial, tamanho 9. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda.

a) Na fase de submissão, inserir as figuras no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. **Deverão estar em formato JPEG, TIFF ou EPS, com resolução mínima de 300 dpi.** As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

8. CITAÇÕES NO TEXTO – exemplos de citação direta / citação indireta:

a) Um autor

Santos (1980) / (Santos, 1980)

b) Dois autores

Norton e Long (1995) / (Norton e Long, 1980)

c) Mais de dois autores

Moorbath et al. (1992) / (Moorbath et al., 1992)

d) Congressos, conferências, seminários etc.

... no Congresso Brasileiro de Geologia (1984) / (Congresso Brasileiro de Geologia, 1984)

e) Vários trabalhos de diferentes autores

Smith (1985), Rose e Turner (1986) e Johnson et al. (1990) / (Smith, 1985; Rose e Turner, 1986; Johnson et al., 1990)

f) Citação de vários trabalhos de um mesmo autor

Smith (1979a, 1979b, 1981) / (Smith, 1979a, 1979b, 1981)

9. REFERÊNCIAS – listar no final do texto, em ordem alfabética de autores e, dentro dessa sequência, em ordem cronológica. **A exatidão das referências bibliográficas é de inteira responsabilidade dos autores.**

EXEMPLOS DE REFERÊNCIAS:

a) Livro com um autor

Middlemost, E. A. K. (1997). *Magma, rocks and planetary development: A Survey of Magma/Igneous Rock Systems*. Harlow: Longman.

b) Livro com dois autores

Anderson, M. P., Woessner, W. W. (1992). *Applied groundwater modeling. Simulation of low and advective transport*. San Diego: Academic Press.

c) Livro com três ou mais autores

Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. L. V., Craig, L. E., Smith, A., Smith, D. (1989). *A geologic time scale* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

d) Capítulo de livro

Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, U. G., Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazonas River. In: A. E. Nairn, F. G. Stille (Eds.), *The ocean basin and margins*, 1, 411-446. New York: Plenum.

(Exemplo de Publicação seriada)

L. Harris, N., Pearce, J., Tindle, A. (1986). Geochemical collision-zone magmatism. In: Coward M. P., Ries A. C. (ed.) *Collision tectonics*. 67-81. London: Geological Society. (Geological Society Special Publication, 19).

e) Artigo de periódico

Caffe, P. J., Soler, M. M., Coira, B. L., Cordani, U. G., Onoe, A. T. (2008). The granada ignimbrite: a compound pyroclastic unit and its relationship with upper miocene caldera

volcanism in the northern Puna. *Journal of South American Earth Science*, 25(4), 464-484.

f) Trabalho apresentado em evento

Danni, J. C. M., Ribeiro, C. C. (1978). Caracterização estratigráfica da sequência vulcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás. *XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, 2, 582-596. Recife: SBG.

g) Mapa

Inda, H. A. W., Barbosa, J. F. (1978). *Mapa Geológico do Estado da Bahia*. Escala 1:1.000.000. Salvador: Secretaria de Minas e Energia do Estado da Bahia/ CBPM.

h) Teses e Dissertações

Petta, A. R. (1995). *Estudo geoquímico e relações petrogenéticas do batólito múltiplo composto São Vicente/ Caicó (RN-Brasil)*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

i) Documentos em meio eletrônico

Livro

Sharkov, E. (2012). *Tectonics: Recent Advances*. Croatia: InTech, <<http://www.intechopen.com/books/tectonics-recent-advances>>.

Artigo de periódico

Soares, E. A., Tatumi, S. H. (2010). OSL age determinations of pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 82(3), 691-699. Acesso em 14 de fevereiro de 2011, <<http://www.scielo.br/pdf/aabc/v82n3/17.pdf>>.

Trabalho apresentado em evento

Souza-Lima, W., Farias, R. M. (2007). A flora quaternária dos travertinos de Itabaiana, Sergipe. *PALEO 2007* (p. 7). Itabaiana: SBP. Acesso em 18 de dezembro de 2008, <http://www.phoenix.org.br/Paleo2007_Boletim.pdf>.

j) Com numeração DOI

Livro

Zavattini, J. A. (2009). *As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática*.

<https://doi.org/10.7476/9788579830020>.

Artigo de periódico

Evandro, L., Kleina, E. L., Rodrigues, J. B., Lopesa, E. C. S., Gilvana, L. Soledade, G. L. (2012). Diversity of Rhyacian granitoids in the basement of the Neoproterozoic-Early Cambrian Gurupi Belt, northern Brazil: Geochemistry, U–Pb zircon geochronology, and

Nd isotope constraints on the Paleoproterozoic magmatic and crustal evolution. *Precambrian Research*, 220-221, 192-216.

<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.08.007>.

ANEXO D – Comprovante de submissão do artigo

28/09/2019

ScholarOne Manuscripts

 Brazilian Journal of Geology[Home](#)[Author](#)

Submission Confirmation

 Print

Thank you for your submission

Submitted to

Brazilian Journal of Geology

Manuscript ID

BJGEO-2019-0101

Title

Amphibole crystallization conditions as record of interaction between ultrapotassic enclaves and mozonitic magmas in the Glória Norte Stock, South of Borborema Province

Authors

Lisboa, Vinícius

Conceição, Herbert

Rosa, Maíra

Marques, Gisele

Lamarão, Claudio

Lima, André

Date Submitted

28-Sep-2019

[Author Dashboard](#)
