



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

**EVIDÊNCIAS DE *MINGLING* NA UNIDADE GENTILEZA,  
DOMÍNIO CANINDÉ, FAIXA DE DOBRAMENTOS  
SERGIPANA**

Cássio Brener Andrade Almeida

Orientadora: Profa. Dra. Adriane Machado

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias

São Cristóvão - SE

2019

Cássio Brener Andrade Almeida

**EVIDÊNCIAS DE *MINGLING* NA UNIDADE GENTILEZA, DOMÍNIO  
CANINDÉ, FAIXA DE DOBRAMENTOS SERGIPANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias da Universidade Federal de Sergipe, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geociências.

**Orientadora:** Prof. Dra. Adriane Machado

São Cristóvão - SE

2019

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Almeida, Cássio Brener Andrade

A447e Evidências de *Mingling* na Unidade Gentileza, Domínio Canindé, faixa de dobramentos sergipana / Cássio Brener Andrade Almeida ; orientadora Adriane Machado. – São Cristóvão, SE, 2019.

65 f. : il.

Dissertação (mestrado em Geociências e Análise de Bacias) – Universidade Federal de Sergipe, 2019.

1. Geociências. 2. Petrologia. 3. Geoquímica. 4. Rochas ígneas – Sergipe. 5. Granito. 6. Geocronologia. I. Machado, Adriane, orient. II. Título.

CDU 552.3(813.7)

**EVIDÊNCIAS DE MINGLING NA UNIDADE GENTILEZA, DOMÍNIO  
CANINDÉ, FAIXA DE DOBRAMENTOS SERGIPANA**

por:

**Cássio Brener Andrade Almeida**

(Geólogo, Universidade Federal de Sergipe, 2017)

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de:

**MESTRE EM GEOCIÊNCIAS**

**BANCA EXAMINADORA:**

Profa. Dra. Adriane Machado [Orientadora – UFS]

Profa. Dra. Anelise Losangela Bertotti [Membro Externo – UFRGS]

Profa. Dra. Delia del Pilar Montecinos de Almeida [Membro Externo – UNIPAMPA]

Prof. Dr. Luiz Alberto Vedana [Membro Interno – UFS]

Data da Defesa: 19/08/2019

Dedico esta dissertação aos meus pais, Milton e Vânia, por terem me proporcionado educação suficiente para formar a pessoa que sou hoje.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me permitir fazer o mestrado e guiar meu caminho até a conclusão desse capítulo.

Aos meus pais, Milton e Vânia, pelo amor, preocupação e apoio.

A minha irmã Monique, por todo carinho e assistência.

A Marina, pela força e companhia, em todos aspectos e em todos os momentos.

Aos meus amigos Marcus Porto, Luiz Henrique e Karoline Mecenas, por toda a ajuda que me deram, de extrema importância nesse trajeto.

À minha orientadora e professora Adriane Machado, por acreditar em mim, apesar de todos os obstáculos. Muito obrigado por todo o conhecimento que adquiri nesses anos.

Aos meus professores do PGAB, por terem contribuído para a minha formação profissional.

À Universidade Federal de Sergipe e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, pela infraestrutura disponibilizada e pela oportunidade de desenvolver esta dissertação.

Ao Departamento de Geologia da UFS, pela disponibilização do laboratório de microscopia e lupas.

Aos técnicos Hélio e Iara, bem como a Wilker, por terem sido solícitos e atenciosos.

Obrigado!

## RESUMO

A Faixa de Dobramentos Sergipana (FDS) está localizada na região nordeste do Brasil e se caracteriza como um cinturão de dobramentos e cavalgamentos pré-cambriano, formado a partir da colisão continental entre o Cráton Congo-São Francisco e o Maciço Pernambuco-Alagoas, durante a Orogenia Brasiliana/Pan-Africana. A FDS apresenta complexidade geológica evidenciada por cinco domínios estruturais e litológicos denominados de Canindé, Poço Redondo-Marancó, Macururé, Vaza Barris e Estância. O Domínio Canindé (DC) está situado na região setentrional da FDS e possui forma alongada, direção NW-SE, paralelo ao Rio São Francisco (SE), com 4 a 10 km de largura, composto pelas unidades Novo Gosto-Mulungú, Gentileza e Suíte Intrusiva Gabróica, além de granitos diversos que intrudem as unidades mais antigas do domínio. O objeto de estudo deste trabalho são os afloramentos de corte de estrada, com 1,4 Km de extensão, situados ao longo da rodovia SE-200, ao norte da cidade de Canindé do São Francisco (SE). O objetivo do trabalho foi identificar e caracterizar a mineralogia, os aspectos texturais e as feições de *mingling* presentes nos afloramentos, resultantes da interação de um termo máfico (anfibolito - Unidade Gentileza) e félscico (metamonzogranito/metasienogranito - Granito Boa Esperança). As etapas de trabalho contemplaram oito trabalhos de campo, estudos macro e microscópicos e análise geoquímica de rocha total. As feições de *mingling* observadas nos afloramentos são estrutura tipo *pillow*, filtragem-prensagem e porções complexas com injeções félscicas. O anfibolito da Unidade Gentileza é maciço e granular, por vezes foliado, com textura equigranular média a fina. Microscopicamente, o anfibolito é inequigranular, hipidiomórfico, com mineralogia composta por hornblenda (28-56,7%), biotita (1,2-12,1%), plagioclásio (18,3-39,9%), quartzo (0,2-6,5%), minerais opacos (0,4-5,4%), titanita (0,8-4,5%), zircão (< 1%), apatita (0,3-1,6%), sericita (0-7,9%), clorita (0-2,3%), epidoto (< 1%) e carbonato (0-3%). O metamonzogranito (Granito Boa Esperança) é maciço, coloração que varia de bege a rosa-amarelado claro e é inequigranular. Microscopicamente, o metamonzogranito possui granulometria média a grossa, composto por quartzo (36,5-38,5%), K-feldspato (20,4-33,3%), plagioclásio (19,3-27,6%), biotita (1,6-3,8%), minerais opacos (1,5-3,2%), titanita (0,3-1,3%), apatita (0,2-0,3%), sericita (5,8-7,1%), epidoto (0,2-0,6%) e clorita (0,2-0,6%). O metasienogranito (Granito Boa Esperança) possui cristais inequigranulares e granulometria fina a média, composto por quartzo (47%), K-feldspato (34%), plagioclásio (5%), biotita (1%), minerais opacos (2%), titanita (1%), apatita (1%), sericita (8%) e epidoto (1%). Os dados geoquímicos indicam que o protólito dos anfibolitos corresponde, em sua maioria, à andesitos basálticos e andesitos. No diagrama multi-elementar de elementos-traço, as amostras de anfibolito apresentam um padrão de enriquecimento de LILE e de HFSE em relação aos ETRP, com anomalias negativas de Ta, Ti e P, e positiva de La. O padrão de ETR para o anfibolito mostra enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP. Os dados geoquímicos dos anfibolitos são compatíveis com magmas gerados em ambiente geotectônico do tipo intraplaca continental, possivelmente representado por um rifte continental, enquanto que os dados do metamonzogranito/metasienogranito sugerem um magma gerado em ambiente de granitos de arcos vulcânicos.

**Palavras-chave:** *Mingling*. Unidade Gentileza. Granito Boa Esperança. Domínio Canindé. Faixa de Dobramentos Sergipana.

## ABSTRACT

The *Sergipano* Fold Belt (SFB), characterized by Precambrian fold and thrust belt, is located in the Northeast region of Brazil and is the result of collision between *Congo-São Francisco* Craton and *Pernambuco-Alagoas* Massif, during *Brasiliano*/Pan-African Orogeny. The SFB shows geological complexity evidenced by five lithological and structural domains called *Canindé*, *Poço Redondo-Marancó*, *Macururé*, *Vaza Barris* e *Estância*. The *Canindé* Domain is located in Northern region of SFB and shows an elongated shape, with NW-SE direction, parallel to *São Francisco* River (SE), with 4-10 km wide, composed by *Novo Gosto-Mulungú*, *Gentileza* and *Canindé* Gabbroic Intrusion units, besides the several granites that intrudes the older domain units. The object of this work was the road cut outcrops, with 1.4 km extension, located along SE-200 highway, north portion of *Canindé do São Francisco* (SE) city. The objective of this work was identify and characterize the mineralogy, the textural aspects and the mingling features present in the mafic term (amphibolite - *Gentileza* Unit) and felsic (metamonzogranite/metasyenogranite - *Boa Esperança* Granite). The work stages covered eight fieldwork, macro and microscopic studies and total whole rock geochemical analysis. The observed mingling features are pillow-like structures, filter-pressing and complex portion with felsic injections. The amphibolite of *Gentileza* Unit is massive and granular, sometimes foliated with medium to fine equigranular texture. Microscopically, the amphibolite is inequigranular, hipidomorphic, with Mineralogy composed by hornblende (28-56.7%), biotite (1.2-12.1%), plagioclase (18.3-39.9%), quartz (0.2-6.5%), opaque minerals (0.4-5.4%), titanite (0.8-4.5%), zircon (<1%), apatite (0.3-1.6%), sericite (0-7.9%), chlorite (0-2.3%), epidote (<1%) and carbonate (0-3%). The metamonzogranite (*Boa Esperança* Granite) is massive, with beige to pink color and medium to fine and it is inequigranular. Microscopically, it has medium to thick granulometry, composed by quartz (36.5-38.5%), K-feldspar (20.4-33.3%), plagioclase (19.3-27.6%), biotite (1.6-3.8%), opaque minerals (1.5-3.2%), titanite (0.3-1.3%), apatite (0.2-0.3%), sericite (5.8-7.1%), epidote (0.2-0.6%) and chlorite (0.2-0.6%). The metasyenogranite (*Boa Esperança* Granite) shows inequigranular crystals, with medium to fine granulometry, composed by quartz (47%), K-feldspar (34%), plagioclase (5%), biotite (1%), opaque minerals (2%), titanite (1%), apatite (1%), sericite (8%) and epidote (1%). Geochemical data indicate that the protolith of amphibolite corresponds mostly to basaltic andesites and andesites. The trace elements multi-element diagram, the amphibolite presents a LILE and HFSE enrichment pattern in relation to HREE, with Ta, Ti and P negative anomalies and positive of La. The REE patterns for amphibolite show LREE enrichment in relation to HREE. The amphibolite geochemical data are compatible with magmas generated in geotectonic environment of continental intraplate type, possibly represented by a continental rift, while the metamonzogranite/metasyenogranite data indicate a magma generated in volcanic arc environment.

**Keywords:** Mingling. *Gentileza* Unit. *Boa Esperança* Granite. *Canindé* Domain. *Sergipano* Fold Belt.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A) Localização do Estado de Sergipe no Brasil; B) Mapa de localização e acesso à área de estudo.....	15
Figura 2: Mapa da FDS mostrando os Domínios litotectônicos, assim como, as zonas de cisalhamento regionais que separam cada Domínio. (MSZ - Zona de Cisalhamento Macururé, BMJSZ - Zona de Cisalhamento Belo Monte-Jeremoabo, SMASZ - Zona de Cisalhamento São Miguel do Aleixo, ISZ- Zona de Cisalhamento Itaporanga) (Fonte: Oliveira <i>et al.</i> 2015).....	24
Figura 3: Mapa geológico do Domínio Canindé. MNgz-Unidade Gentileza, MNmu-Unidade Mulungú, MNng-Unidade Novo Gosto, Nc-Suíte Intrusiva Canindé, Ncu-Granítóides tipo Curralinho, Ng-Granítóides tipo Garrote, Nsc1 e Nsc2-Granítóides tipo Serra do Catu, Nx-Granítóides tipo Xingó, QHa-Depósitos Aluvionares, SDt-Formação Tacaratu, mig-migmatitos, mm-mármores, qt-quartzitos/metachert (Passos, 2016)....	24
Figura 4: Mapa geológico do entorno do município de Canindé de São Francisco, com destaque para a área de estudo (em amarelo), com os pontos amostrados (em verde) (Fonte: Teixeira <i>et al.</i> , 2014).....	25
Figura 5: Processo de <i>mingling</i> entre o anfibolito e o metamonzogranito no afloramento. ....	26
Figura 6: Estrutura tipo <i>pillow</i> (tentativa do termo félscico penetrar no máfico).....	26
Figura 7: Estrutura tipo <i>pillow</i> , com filtragem-prensagem.....	27
Figura 8: Agregados de minerais máficos (biotita) orientados no metamonzogranito..	27
Figura 9: Anfibolito maciço da área de estudo, com granulometria média.....	28
Figura 10: Metamonzogranito inequigranular, de granulometria média, foliado devido à proximidade com a zona de cisalhamento. ....	28
Figura 11: A) Plagioclásio do anfibolito parcialmente sericitizados (nicóis cruzados, 4x) (Ser - sericita, Bt - biotita, Chl - clorita); B) Veio de carbonato em anfibolito (nicóis cruzados, 4x) (Hbl - hornblenda, Cb - carbonato, Ap - apatita, Bt - biotita, Pl - plagioclásio); C) Titanita formada a partir de minerais opacos (Op - opaco, Ttn - titanita); D) Titanita no anfibolito (Ttn - titanita, Op – mineral opaco); E) Titanita formada a partir de minerais opacos (Ttn - titanita, Op – mineral opaco) (imagem obtida através de uma lupa de mesa) (Abreviaturas: Siivola & Schmid, 2007).....	31
Figura 12: A) Agregado de minerais máficos, quartzo ocelar, biotita laminar e apatita acicular no metamonzogranito (luz natural, 4x) (Bt - biotita, Qtz - quartzo, Ap - apatita); B) Agregados de minerais máficos no metamonzogranito (nicóis cruzados, 4x) (Bt - biotita, Qtz - quartzo, Ap - apatita); C) Recristalização de quartzo no metamonzogranito	

(nicóis cruzados, 4x) (Qtz - quartzo, Pl - plagioclásio, Kfs - K-feldspato); (Abreviaturas: Siivola & Schmid, 2007).....	33
Figura 13: Diagrama de classificação Zr/Ti vs Nb/Y (Pearce, 1996) para os anfibolitos da Unidade Gentileza. ....	36
Figura 14: Diagrama de classificação de Jensen (1976) para os anfibolitos da Unidade Gentileza. ....	36
Figura 15: Diagramas binários de variação de elementos maiores e menores (% em peso) versus MgO (% em peso), para os anfibolitos da Unidade Gentileza. ....	37
Figura 16: Diagramas binários de variação de elementos-traço (ppm) versus MgO (% em peso), para os anfibolitos da Unidade Gentileza. ....	38
Figura 17: Diagramas multi-elementares de elementos-traço e terras raras para rochas do DC. (A) Diagrama multi-elementar dos elementos-traço normalizado pelo MP (Manto Primitivo); (B) Diagrama de ETR normalizados pelo Condrito C1 (Sun & McDonough, 1989). ....	39
Figura 18: Diagrama de classificação R1-R2 (modificado de De la Roche <i>et al.</i> , 1980) para os granitos estudados.....	40
Figura 19: Dados do metamonzogranito/metasienogranito (Granito Boa Esperança). (A) Diagrama FeOt/(FeOt+MgO) versus SiO <sub>2</sub> (Frost <i>et al.</i> , 2001); (B) Diagrama Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O-CaO versus SiO <sub>2</sub> (Frost <i>et al.</i> , 2001); (C) Diagrama de classificação de rochas ígneas com as proporções de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O (Shand, 1947).....	40
Figura 20: Diagrama de discriminação tectônica para granitos (Pearce, 1984).....	42
Figura 21: (A) Diagrama de discriminação tectônica utilizado para os anfibolitos da Un. Gentileza, Zr vs Zr/Y (Pearce and Norry, 1979); (B) Zr vs Ti (Pearce, 1996). Abreviação: MORB - Basaltos de Cordilheira Meso-Oceânica.....	42
Figura 22: Diagrama ternário Ti/V-Zr/Sm-Sr/Nd (Wang <i>et al.</i> , 2016) de discriminação tectônica aplicado aos anfibolitos da Unidade Gentileza.....	44
Figura 23: Diagrama de classificação da afinidade geoquímica (Irvine & Baragar, 1971). ....	44

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Análises químicas de rocha total dos anfibolitos (Unidade Gentileza) e metamonzogranitos (Granito Boa Esperança) da área de estudo (elementos maiores e menores em % peso; traços e terras raras em ppm).....	35
---	----

## LISTA DE SIGLAS

Ar-Ar – Argônio-Argônio  
BMJSZ – Zona de Cisalhamento Belo Monte-Jeremoabo  
Ca – Cálcio  
CIC – Complexo Intrusivo Canindé  
DC – Domínio Canindé  
ETR – Elementos Terras Raras  
ETRL – Elementos Terras Raras Leves  
ETRP – Elementos Terras Raras Pesados  
FDS – Faixa de Dobramentos Sergipana  
Fe – Ferro  
GPS – *Global Positioning System*  
HFSE – Elementos de Alto Potencial iônico  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICP – *Inductively Coupled Plasma*  
ICP-MS – *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*  
ID – Índice de Diferenciação  
ISZ – Zona de Cisalhamento Itaporanga  
K – Potássio  
LILE – *Large-Ion Lithophile Elements*  
MORB – *Mid-Ocean Ridge Basalts*  
MP – Manto Primitivo  
MSZ – Zona de Cisalhamento Macururé  
n.d. – não determinado  
NW–SE – Noroeste-Sudeste  
P.F. – Perda ao Fogo  
ppm – Partes por Milhão  
SMASZ – Zona de Cisalhamento São Miguel do Aleixo  
Sm-Nd – Samário-Neodímio  
SE – Sergipe  
Si – Silício  
UFS – Universidade Federal de Sergipe  
UNESP – Universidade Estadual Paulista  
U-Pb – Urânio-Chumbo  
UTM – Universal Transversa de *Mercator*  
ZC – Zona de Cisalhamento

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - Introdução .....</b>	11
<b>1.1. APRESENTAÇÃO .....</b>	12
<b>1.2. OBJETIVOS .....</b>	14
1.2.1. Geral .....	14
1.2.2. Específico .....	14
<b>1.3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA .....</b>	14
<b>1.4. MÉTODOS DE TRABALHO .....</b>	15
1.4.1. Levantamento Bibliográfico .....	15
1.4.2. Trabalho de Campo .....	15
1.4.3. Petrografia.....	16
1.4.4. Geoquímica.....	16
<b>1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	17
<b>CAPÍTULO 2 - Evidências de <i>Mingling</i> na Unidade Gentileza, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana.....</b>	19
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	21
<b>GEOLOGIA REGIONAL .....</b>	22
<b>GEOLOGIA LOCAL.....</b>	25
<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	28
<b>RESULTADOS.....</b>	29
<b>PETROGRAFIA .....</b>	29
Anfibolito (Unidade Gentileza) .....	29
Metamonzogranito (Granito Boa Esperança) .....	32
Metasienogranito .....	33
<b>GEOQUÍMICA .....</b>	34
<b>DISCUSSÕES .....</b>	41
<b>CONCLUSÕES .....</b>	45
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	46
<b>CAPÍTULO 3 - Conclusões .....</b>	50
<b>ANEXOS .....</b>	52

<b>ANEXO 1: Condições para submissão de artigo científico na revista Geociências da UNESP (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho) de Rio Claro.</b>	53
<b>ANEXO 2: Justificativa de coautorias do artigo científico</b>	58
<b>ANEXO 3: Comprovante de submissão de artigo científico</b>	59
<b>APÊNDICE 1</b>	60
<b>APÊNDICE 2</b>	61
<b>APÊNDICE 3</b>	62

# **CAPÍTULO 1 - Introdução**

## 1.1. INTRODUÇÃO

A Faixa de Dobramentos Sergipana (FDS) está localizada na parte nordeste do Brasil e se caracteriza como um cinturão de dobramentos e cavalgamentos pré-cambriano, que se formou a partir da colisão continental entre o Cráton Congo-São Francisco e o Maciço Pernambuco-Alagoas, durante a Orogenia Brasiliana/Pan-Africana (Van Schmus *et al.*, 1995; Brito Neves & Fuck, 2013). A complexidade geológica da FDS é evidenciada por cinco domínios estruturais e litológicos denominados de Canindé, Poço Redondo-Marancó, Macururé, Vaza Barris e Estância (Davison & Santos, 1989; Silva Filho, 1998).

O Domínio Canindé (DC) situa-se na porção norte da FDS e é constituído pelas unidades Novo Gosto e Gentileza, que são intrudidas pela Suíte Gabróica Canindé e granitos diversos (Lajedinho, Boa Esperança, Serrota, Sítios Novos, Xingó) (Nascimento, 2005). A Unidade Novo Gosto-Mulungú é composta por anfibolitos intercalados com metagrauvacas, metapelitos, metassiltitos, metacherts, xistos, grafita-xistos, mármore e rochas cálciosilicáticas (Nascimento, 2005; Oliveira & Tarney 1990; Oliveira *et al.*, 2010; Oliveira, 2014). A Unidade Gentileza apresenta anfibolitos e dioritos intercalados com quartzo-monzonitos porfiríticos, doloritos e corpos gabróicos (Oliveira *et al.*, 2010; Oliveira, 2014).

Rochas com textura porfirítica, micrográfica e *rapakivi* ocorrem frequentemente na Unidade Gentileza, o que sugere a percolação de fluídos saturados em sílica por descompressão e mistura de magma de composições contrastantes (máfico-félsico) (Nascimento, 2005; Oliveira *et al.*, 2017).

O processo de mistura do tipo *mingling* é o processo em que não ocorre uma mistura efetiva entre os magmas, devido as suas diferenças de temperatura, viscosidade e densidade, e nesse caso, os dois magmas mantém parte de suas características físicas e químicas (Chappell, 1996). O processo de mistura do tipo *mixing* é um dos principais processos que geram variedades composicionais (Perugini *et al.*, 2015). Nesse processo, dois ou mais magmas diferentes se misturam, produzindo um magma híbrido de composição intermediária (Best, 2003).

A Unidade Gentileza apresenta um magmatismo bimodal caracterizado por feições de misturas de magmas tipo *mingling*, *mixing* e *co-mingling* descritas por Nascimento, 2005; Liz, 2017; Goes, 2018). Estas feições são geradas pela interação entre o magma félscico (Granito Boa Esperança) e máfico (Unidade Gentileza), em menor escala gerando o processo de *mingling* (mistura física), ou em maior proporção, produzindo o processo de *mixing* (mistura química).

O reconhecimento de rochas que apresentam processos de mistura de magmas possibilita um melhor entendimento das variações litológicas encontradas na área de estudo, além de auxiliar na compreensão da geologia do Domínio Canindé (Goes, 2018).

O presente trabalho visou o levantamento e a interpretação de dados de campo, petrográficos e químicos do anfibolito (Unidade Gentileza), metamonzogranito e metasienogranito (Granito Boa Esperança), rochas que afloram em um corte de estrada, com 1,4 km de extensão, ao longo da rodovia SE-200, ao norte da cidade de Canindé do São Francisco (SE).

O capítulo 2 desta dissertação de mestrado está organizado no formato de artigo, intitulado “Evidências de *Mingling* na Unidade Gentileza, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana”. Este artigo foi submetido à revista científica “Geociências” da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP - Rio Claro), versão eletrônica, avaliada pela CAPES com o nível B2. As normas de submissão da revista supracitada se encontram no Anexo I. A justificativa da participação dos coautores está disponível no Anexo II. O comprovante de submissão do artigo se encontra no Anexo III.

No capítulo 3 são elencadas as conclusões do trabalho de mestrado. A identificação das amostras, as coordenadas dos afloramentos descritos e amostrados, as litologias e as unidades estratigráficas dos afloramentos estão listadas no Apêndice I. Os dados modais obtidos na petrografia estão no Apêndice II. A tabela com os dados químicos das rochas encontrados na literatura está inserida no Apêndice III.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Geral

Este trabalho objetivou a identificação das feições de *mingling*, através de dados de campo e petrográficos, dos afloramentos da área de estudo, assim como estabelecer uma identidade química para o termo básico (Unidade Gentileza) e félscico (Granito Boa Esperança), com o intuito de compreender a dinâmica da interação entre os dois magmas e desta forma contribuir para o avanço no conhecimento geológico da região do Domínio Canindé.

### 1.2.2. Específico

Os objetivos específicos incluíram identificar e caracterizar a mineralogia, os aspectos texturais e as feições de *mingling* presentes no termo máfico e félscico em escala de afloramento e microscópica.

## 1.3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA

A área de estudo (cortes de estrada) se localiza no norte do município de Canindé de São Francisco, norte do Estado de Sergipe, ao longo da rodovia SE-200 (Fig. 1). O acesso a área de estudo se faz pela BR-235, partindo de Aracaju, passando pelo município de Areia Branca, em direção a cidade de Itabaiana. Posteriormente, segue-se pela SE-175, em direção a cidade de Ribeirópolis, até o município de Nossa Senhora da Glória. A partir deste município, o trajeto continua pela SE-230, que passa pelas cidades de Monte Alegre e Poço Redondo, até chegar à cidade de Canindé de São Francisco. Os afloramentos estão situados ao longo da SE-200 (Fig. 4).

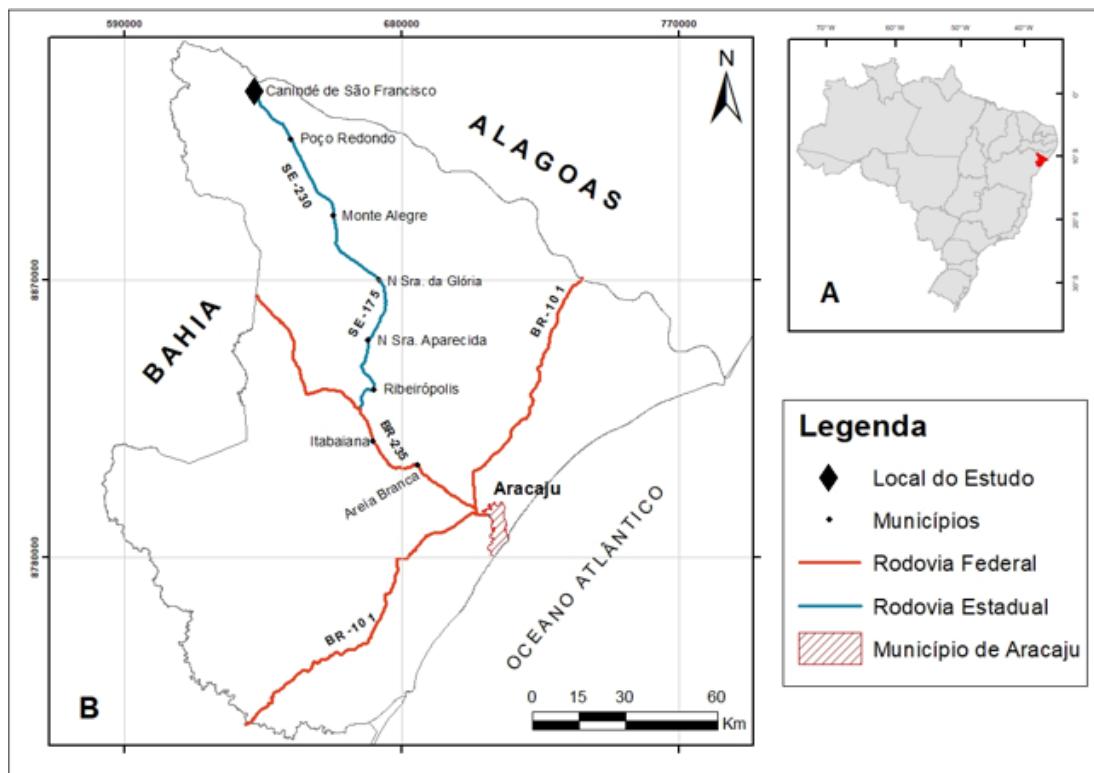


Figura 1: A) Localização do Estado de Sergipe no Brasil; B) Mapa de localização e acesso à área de estudo.

## 1.4. MÉTODOS DE TRABALHO

### 1.4.1. Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi realizado através da busca de dados referente à geologia regional e local, e sobre o tema de mistura de magmas, *mingling* e *mixing*, com o intuito de organizar um banco de dados com informações que auxiliassem o desenvolvimento deste trabalho.

A revisão bibliográfica teve como base, a consulta a artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, assim como, a utilização da *internet* como ferramenta de busca as referências bibliográficas.

### 1.4.2. Trabalho de Campo

Um total de oito trabalhos de campo foram realizados, com duração média de dois dias cada, nos meses de julho, setembro, novembro e dezembro de 2018. Os trabalhos tiveram o intuito de observar

os contatos geológicos, identificar estruturas primárias e secundárias (tectônicas), descrever as feições indicativas de *mingling* presentes nos afloramentos e coletar amostras para confecção de lâminas delgadas e análises químicas. Nos trabalhos de campo foi utilizado um GPS da marca *Garmin*, modelo *eTrex*, com coordenadas configuradas em projeção UTM, *Datum SAD 69*, para a localização dos pontos de coleta de amostras.

#### **1.4.3. Petrografia**

Um total de 12 lâminas delgadas foram confeccionadas no Laboratório PetrografiaBR (Contagem, MG, Brasil). A descrição petrográfica foi realizada com o auxílio de um microscópio petrográfico da marca *Olympus*, modelo *BX41*, do Laboratório de Microscopia e Lupa do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Sergipe (UFS). A estimativa modal foi realizada pelo método de contagem de pontos, através de uma varredura em toda a lâmina, até atingir uma média de 650 pontos.

As amostras coletadas também foram analisadas macroscopicamente com o auxílio de uma lupa de mesa da marca *Olympus*, modelo *SZ2-ILST*, do Laboratório de Microscopia e Lupa do Departamento de Geologia da UFS, com o intuito de obter informações sobre a mineralogia das rochas estudadas.

#### **1.4.4. Geoquímica**

As análises químicas de sete amostras foram obtidas na SGS Geosol - Laboratórios Ltda (Vespasiano, MG). As amostras foram britadas e moídas (< 200 mesh) no laboratório supramencionado.

A análise de elementos maiores foi realizada por ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*). Os elementos-traço e terras raras foram obtidos pela técnica ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*).

Os dados químicos das sete amostras foram tratados, através de diagramas confeccionados nos Softwares Microsoft Excel 2016 e GCDkit (*Geochemical Data Toolkit for Windows*) versão 5.0.

## 1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEST, M.G. **Igneous and metamorphic petrology**. Second Edition, Blackwell Science Ltd, 758 p. 2003.
2. BRITO NEVES, B.B. & FUCK, R.A. **Neoproterozoic evolution of the basement of the South-American platform**. *Journal of South American Earth Sciences*, 47: 72-89. 2013.
3. CHAPPELL, B.W. **Magma Mixing and the Production of Compositional Variation within Granite Suites: Evidence from the Granites of Southeastern Australia**. *Journal of Petrology*, 37(3):449 - 470. 1996.
4. DAVISON, I. & SANTOS, R.A. **Tectonic evolution of the Sergipano Fold Belt, NE Brazil, during the Brasiliano Orogeny**. *Precambrian Research*, 45: 319-342. 1989.
5. GOES, R.M. **Investigação de Misturas Mixing/Mingling e Assimilação na Suíte Intrusiva Curralinho, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE-Brasil**. São Cristóvão, SE, 61 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE. 2018.
6. LIZ, L.C.C. **Petrografia e geoquímica dos ortoanfibolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE-Brasil**. São Cristóvão, SE. 66 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Análise de Bacias) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE. 2017.
7. NASCIMENTO, R.S. **Domínio Canindé, Faixa Sergipana, Nordeste do Brasil: Um Estudo Geoquímico e Isotópico de uma Sequência de Rift Continental Neoproterozóica**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Campinas, 159p. 2005.
8. OLIVEIRA, E.P. & TARNEY, J. **The Cannoned de São Francisco Complex: a major late Proterozoic gabbroic body in the Sergipe foldbelt, NE Brazil**. *Journal of South American Earth Sciences* 3 (2/3), 125-140. 1990.
9. OLIVEIRA, E.P.; WINDLEY, B.F.; ARAÚJO, M.N.C. **The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana**. *Precambrian Research* 181: 64-84. 2010.
10. OLIVEIRA E.M. **Petrografia, litogeochímica e geocronologia das rochas granulíticas da parte norte do cinturão Salvador-Esplanada-Boquim, Bahia-Sergipe**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 220 p. 2014.
11. OLIVEIRA, E.P.; WINDLEY, B.F.; MCNAUGHTON, N.J.; BUENO, J.F.; NASCIMENTO, R.S.; CARVALHO, M.J.; ARAÚJO, M.N.C. **The Sergipano Belt**. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-01715-0\_13. 2017.

12. PERUGINI, D.; DE CAMPOS, C.P.; PETRELLI, M.; MORGAVI, D.; VETERE, F.P.; DINGWELL, D.B. **Quantifying magma mixing with the Shannon entropy: Application to simulations and experiments.** *Lithos* 236-237. 2015.
13. SILVA FILHO, M.A. **Arco vulcânico Canindé-Marancó e a Faixa Sul-Alagoana: sequências orogênicas Mesoproterozóicas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 50, Belo Horizonte. Anais...Belo horizonte, SBG, p. 16. 1998.
14. VAN SCHMUS, W.R.; BRITO NEVES, B.B.; HACKSPACHER, P.C. **U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, NE Brazil.** *Journal of South American Earth Sciences*, 8: 267-288. 1995.

## **CAPÍTULO 2 - Evidências de *Mingling* na Unidade Gentileza, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana**

# EVIDÊNCIAS DE *MINGLING* NA UNIDADE GENTILEZA, DOMÍNIO CANINDÉ, FAIXA DE DOBRAMENTOS SERGIPANA

## EVIDENCES OF *MINGLING* IN THE GENTILEZA UNIT, CANINDE DOMAIN, SERGIPANO FOLD BELT

**Cássio Brener Andrade ALMEIDA<sup>1</sup>, Adriane MACHADO<sup>1,2</sup>, Luiz Henrique PASSOS<sup>3</sup>**

(1) Programa de Pós-Graduação em Geociências e Análise de Bacias, Universidade Federal de Sergipe. Avenida Marechal Rondon, s/n - Bairro Jardim Rosa Elze. CEP 49100-000. São Cristóvão - SE, Brasil. Endereços eletrônicos: cassio\_brener@hotmail.com, adrianemachado@yahoo.com.br

(2) Departamento de Geologia, Universidade Federal de Sergipe. Avenida Marechal Rondon, s/n - Bairro Jardim Rosa Elze. CEP 49100-000. São Cristóvão - SE, Brasil.

(3) Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, ICC – Ala Central. CEP 70910-900. Brasília – DF. Endereço eletrônico: lhpassos.geologo@gmail.com

INTRODUÇÃO  
GEOLOGIA REGIONAL  
GEOLOGIA LOCAL  
MATERIAIS E MÉTODOS  
RESULTADOS  
Petrografia  
Geoquímica  
DISCUSSÕES  
CONCLUSÕES  
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**RESUMO** - O estudo de feições de mistura de magmas tem sido de grande importância para entender parte da evolução magmática das rochas. Feições de *mingling* têm sido evidenciadas nas rochas da Unidade Gentileza do Domínio Canindé, parte setentrional da Faixa de Dobramentos Sergipana, NE do Brasil. O objetivo deste trabalho foi identificar e caracterizar a mineralogia, os aspectos texturais e as feições de *mingling* presentes nos afloramentos situados ao longo da SE-200, nas proximidades da cidade de Canindé de São Francisco. As feições de *mingling* são resultantes da interação de um termo máfico (anfibolito - Unidade Gentileza) e félscico (monzogranito/sienogranito - Granito Boa Esperança). As feições de *mingling* observadas nos afloramentos são estrutura tipo *pillow*, filtragem-prensagem e porções complexas com injeções félscicas. Os dados de geoquímica sugerem que os protólitos dos anfibolitos correspondem, em maioria, à andesitos basálticos e andesitos, de afinidade cálcio-alcalina. Os dados geoquímicos dos anfibolitos são compatíveis com magmas gerados em ambiente geotectônico do tipo intraplaca continental, possivelmente representado por um rife continental, enquanto que o magma do Granito Boa Esperança teria sido gerado em ambiente de granitos de arcos vulcânicos.

**Palavras-chave:** Mistura de magmas; Unidade Gentileza; Granito Boa Esperança

**ABSTRACT** - The study of mingling features has been great importance to understand the magmatic evolution of rocks. Mingling features has evidenced in *Gentileza* Unit rocks of the *Canindé* Domain, Northern part of *Sergipano* Fold Belt, NE Brazil. The objective of this work was identify and characterize the mineralogy, the textural aspects and the mingling features present in the out crops situated along the SE-200 highway, nearby the *Canindé de São Francisco* city. The mingling features are the result of interaction of a mafic term (amphibolite - *Gentileza* Unit) and felsic (monzogranite/syenogranite - *Boa Esperança* Granite). The observed mingling features are pillow-like structures, filter-pressing and complex portion with felsic injections. Geochemical data suggest that the amphibolite protoliths mostly corresponds to basaltic andesites and andesites of calc-alkaline affinity. The amphibolite geochemical data are compatible with magmas generated in geotectonic environment of continental intraplate type, possibly represented by a continental rift, while the metamonzogranite/metasyenogranite data indicate a magma generated in volcanic arc environment.

**Keywords** - Mixing magmas; *Gentileza* Unit; *Boa Esperança* Granite

## INTRODUÇÃO

A Faixa de Dobramentos Sergipana (FDS) está localizada na região nordeste do Brasil e se caracteriza como um cinturão de dobramentos e cavalgamentos pré-cambriano. A FDS se formou a partir da colisão continental entre o Cráton Congo-São Francisco e o Maciço Pernambuco-Alagoas, durante a Orogenia Brasiliana/Pan-Africana (Van Schmus *et al.*, 1995; Brito Neves & Fuck, 2013).

O Domínio Canindé (DC) situa-se na porção norte da FDS e é constituído pelas unidades Novo Gosto e Gentileza, que são intrudidas pela Suíte Gabróica Canindé e granitos diversos (Lajedinho, Boa Esperança, Serrota, Sítios Novos, Xingó) (Nascimento, 2005).

Os processos de misturas de magmas denominados de *mixing* (mistura química entre dois magmas) e *mingling* (mistura física entre dois magmas) são de grande importância na diferenciação magmática de sistemas abertos (Platevoet *et al.*, 1998; Best, 2003; Petrelli *et al.*, 2011; Morgavi *et al.*, 2013; Perugini *et al.*, 2013).

Um dos principais processos de geração de variedades compostionais é a mistura do tipo *mixing* (Perugini *et al.*, 2015). Nesse processo, dois ou mais magmas diferentes (comagmáticos ou não) se misturam, produzindo um magma híbrido de composição intermediária (Best, 2003). No processo de *mingling* não ocorre uma mistura efetiva entre os magmas, devido as diferenças físico-químicas, e neste caso, os dois magmas mantém parte de suas características físicas e químicas (Chappell, 1996).

As feições de *mingling* e *mixing* têm sido descritas nas rochas da Unidade Gentileza (Nascimento, 2005; Liz, 2017; Goes, 2018). Entretanto, a correlação de dados de campo com dados petrográficos e químicos é limitada para a unidade, o que dificulta a identificação e o entendimento dos processos de *mingling* e *mixing*. Neste contexto, se torna relevante o levantamento de dados petrográficos e químicos dos termos máfico e félsico, com o objetivo de identificar o processo de *mingling/mixing*, bem como atribuir uma identidade química a ambos os termos.

Este trabalho visou o tratamento e a interpretação de dados de campo, petrográficos e geoquímicos do anfibolito, metasienogranito e metamonzogranito, que afloram em um corte de estrada, ao longo

da rodovia SE-200, ao norte da cidade de Canindé do São Francisco (SE), com o intuito de identificar e descrever a mineralogia, as texturas das rochas, bem como, entender os processos magmáticos e a afinidade geoquímica do magmatismo.

## **GEOLOGIA REGIONAL**

A Faixa de Dobramentos Sergipana (FDS) (Fig. 2) está situada na porção sul da Província Borborema, apresenta forma triangular com direção WNW-ESSE, e foi formada a partir da colisão continental entre o Cráton Congo-São Francisco e o Maciço Pernambuco-Alagoas, durante a Orogenia Brasiliana/Pan-Africana (Brito Neves *et al.*, 1977; Oliveira *et al.*, 2010; Brito Neves & Fuck, 2013).

A evolução da FDS tem sido alvo de diversas interpretações. Primeiramente, a evolução foi atribuída ao desenvolvimento de um geossinclinal típico (Humphrey & Allard, 1968; Brito Neves *et al.*, 1977). Nascimento (2005) e Oliveira *et al.* 2010, com base em dados de campo e estruturais, apoiados por dados isotópicos e geocronológicos de Sm-Nd, Ar-Ar e U-Pb, propuseram um ciclo completo de tectônica de placas durante o Neoproterozoico, com a convergência entre o Cráton São Francisco e o Maciço Pernambuco-Alagoas.

A FDS foi dividida em cinco domínios litotectônicos denominados, de norte a sul, Canindé, Poço Redondo-Marancó, Macururé, Vaza Barris e Estância (Fig. 2). Carvalho (2005) e Oliveira *et al.* (2010) agruparam os domínios Marancó e Poço Redondo em uma unidade e denominaram de Domínio Marancó-Poço Redondo, compartimentando a FDS em apenas cinco domínios, com base em estudos de imagens de satélite e de campo. Anteriormente, muitos autores subdividiram a FDS em seis domínios litotectônicos (Santos *et al.*, 1988; Davison & Santos, 1989; Silva Filho, 1998; Oliveira *et al.*, 2006).

O Domínio Canindé (Fig. 3) é o mais setentrional da FDS e constitui uma faixa de direção NW-SE, paralela ao Rio São Francisco (SE), com cerca de 4 a 10 km de largura e em torno de 50 km de extensão (Passos, 2016).

O DC (Domínio Canindé) é representado pelas unidades (Teixeira *et al.* 2014): Complexo Intrusivo Canindé (CIC), Suíte Intrusiva Canindé (Complexo Gabróico Canindé - Oliveira *et al.*, 2010) e Suíte Intrusiva Garrote (Unidade Garrote - Oliveira *et al.*, 2017). O CIC é composto pelas unidades Novo Gosto-Mulungú e Gentileza. A primeira unidade é constituída por anfibolitos de granulação fina, intercalados com pelitos metamorfizados, siltitos, *cherts*, rochas calcissilicáticas, xistos grafitosos e mármores, intrudidos por diques máficos e félsicos, granitos e gabros. A segunda unidade é composta por anfibolitos e dioritos intercalados com quartzo-monzonito porfirítico e em menor quantidade, corpos gabróicos e doleríticos (Oliveira *et al.*, 2017).

A Suíte Intrusiva Canindé compreende massivas camadas de olivina-gabronorito, leucogabro, anortositos, troctolito e corpos gabróicos pegmatíticos, noritos e peridotitos (Oliveira *et al.*, 2017).

O Granito Boa Esperança apresenta megacristais de K-feldspato com textura *rapakivi*. A matriz da rocha apresenta evidências de recristalização de quartzo e transformações do tipo uralitização, biotitização, cloritização e saussuritização, evidenciando características de Fácies Xisto Verde. A idade U-Pb encontrada para o Granito Boa Esperança é de  $641 \pm 5$  Ma (Nascimento, 2005).

O Domínio Canindé tem sido alvo de diversas interpretações quanto ao ambiente geotectônico e petrogenético. Silva Filho (1976) interpretou esse domínio como um complexo ofiolítico. Jardim de Sá *et al.* (1986) sugeriram um ambiente de arco de ilha. Oliveira & Tarney (1990) interpretaram o domínio como o registro de um magmatismo intracontinental. Bezerra *et al.*, (1993) sugeriu um ambiente anorogênico intracontinental para a formação do DC. Silva Filho (1998) postulou que o domínio representa uma sequência de arco intraoceânico. Nascimento (2005), com base em relações de campo, geoquímica e dados isotópicos, sugeriu que o DC foi gerado em um ambiente de rifte continental. Oliveira *et al.* (2010) sugerem um ambiente do tipo rifte continental para o desenvolvimento do DC e a formação do Granito Boa Esperança estaria relacionada aos estágios

finais de abertura do rifte. Verma & Oliveira (2015) publicou um estudo baseado em diagramas discriminantes multidimensionais, nos quais sugerem que os anfibolitos da Unidade Gentileza foram gerados em ambiente de arco a rifte continental.

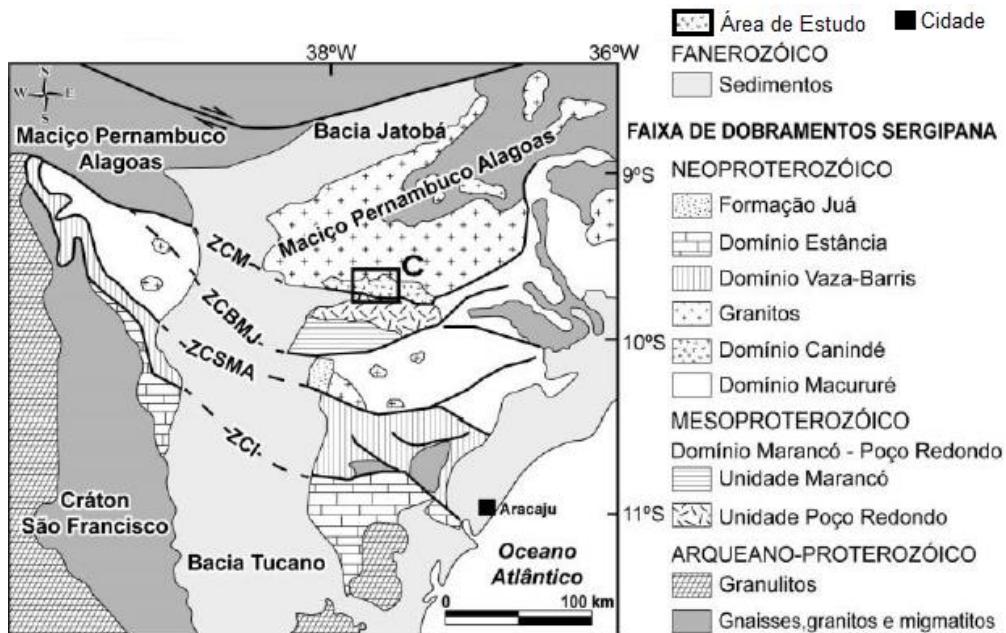


Figura 2: Mapa da FDS mostrando os Domínios litotectônicos, assim como, as zonas de cisalhamento regionais que separam cada Domínio. (ZCM - Zona de Cisalhamento Macururé, ZCBMJ - Zona de Cisalhamento Belo Monte-Jeremoabo, ZCSMA - Zona de Cisalhamento São Miguel do Aleixo, ZCI- Zona de Cisalhamento Itaporanga) (Fonte: Oliveira *et al.* 2010).

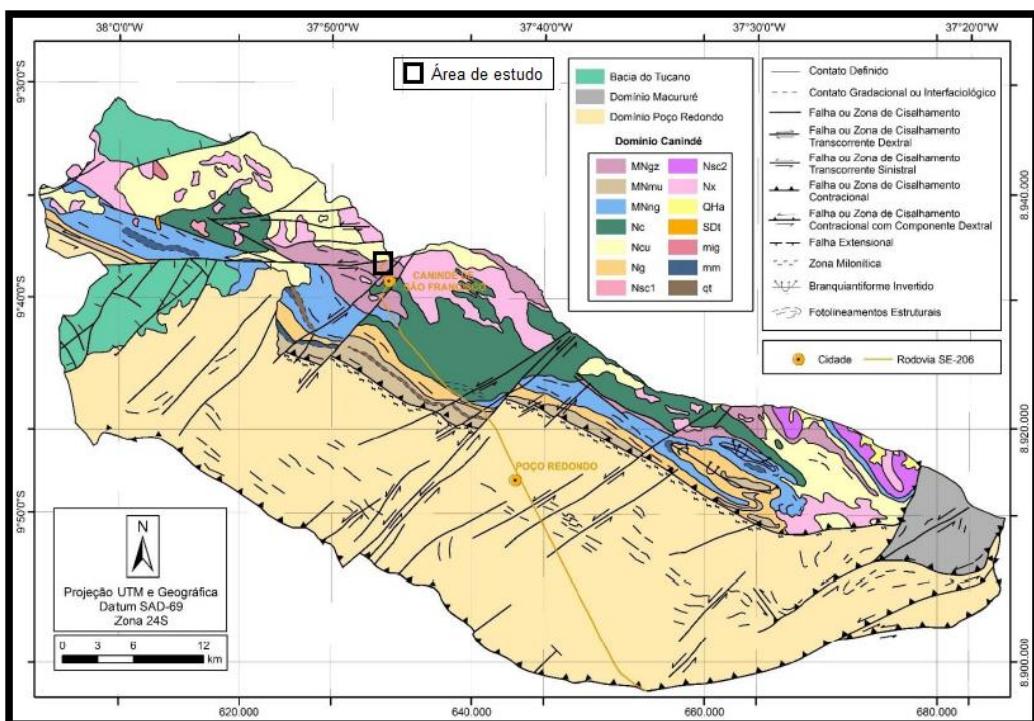


Figura 3: Mapa geológico do Domínio Canindé. MN<sub>gz</sub>-Unidade Gentileza, MN<sub>mu</sub>-Unidade Mulungú, MN<sub>ng</sub>-Unidade Novo Gosto, N<sub>ac2</sub>-Suíte Intrusiva Canindé, N<sub>x</sub>-Granitóides tipo Curralinho, N<sub>g</sub>-Granitóides tipo Garrote, N<sub>sc1</sub> e N<sub>sc2</sub>-Granitóides tipo Serra do Catu, Q<sub>ha</sub>-Depósitos Aluvionares, SD<sub>t</sub>-Formação Tacaratu, mig-migmatitos, mm-mármore, qt-quartzitos/metachert. (Passos, 2016).

## GEOLOGIA LOCAL

Os afloramentos da área de estudo situam-se em um corte de estrada (Fig. 4) ao longo da rodovia SE-200, com forte presença do domínio estrutural, sendo constante a presença de fraturas e a ocorrência da Zona Transcorrente Transpressiva Canindé, com direção NW-SE (Porto, 2019). O afloramento de corte de estrada é constituído por anfibolitos (Unidade Gentileza) e metamonzogranito/ metasienogranitos (Granito Boa Esperança), que apresentam feições indicativas de processo de *mingling* (Figura 5). Os contatos entre o termo máfico (anfibolito) e félscico (metamonzogranito/ metasienogranito) são interdigitados ou retos. As feições de *mingling*, que ocorrem de forma localizada no afloramento, são estruturas tipo *pillow* (Figuras 6 e 7), injeções do termo félscico no máfico por alívio de pressão (filtragem-prensagem - Figura 7) e ocorrência de agregados de minerais máficos no metamonzogranito (Granito Boa Esperança) (Figura 8).

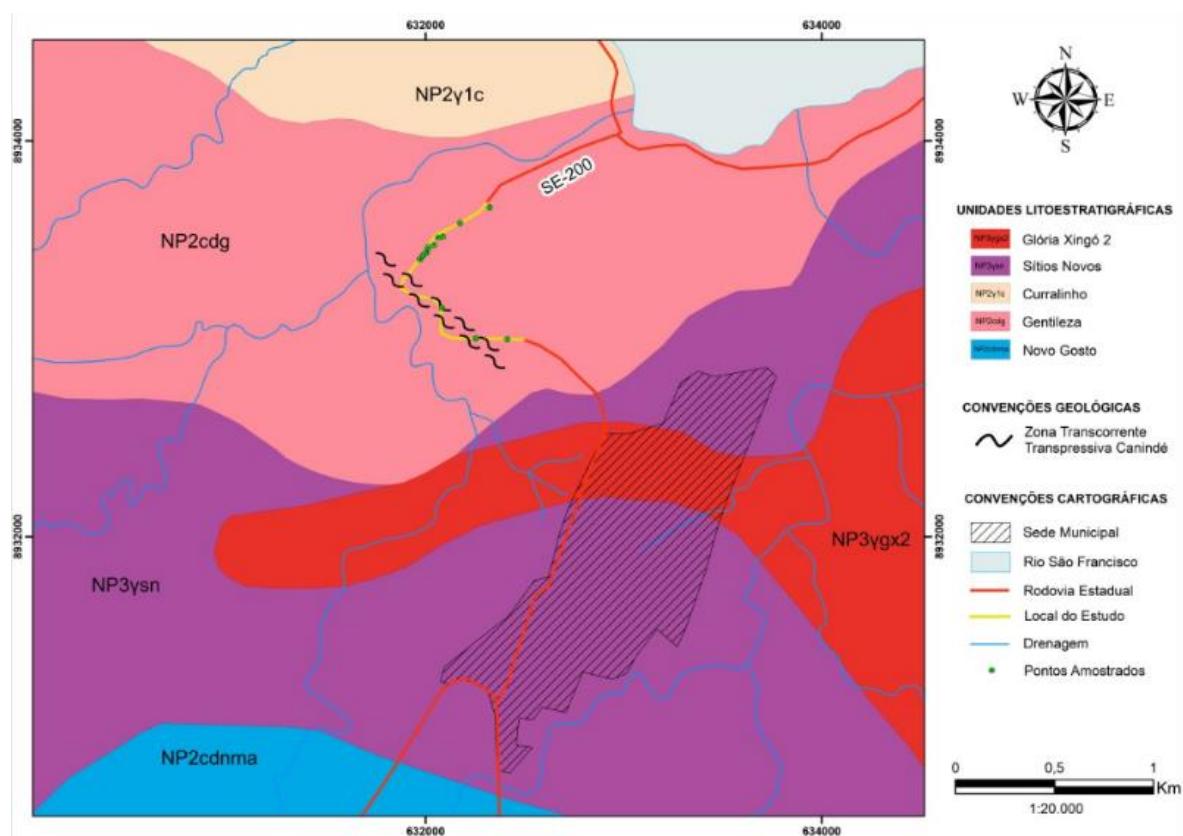


Figura 4: Mapa geológico do entorno do município de Canindé de São Francisco, com destaque para a área de estudo (em amarelo), com os pontos amostrados (em verde) (Fonte: Teixeira *et al.*, 2014).

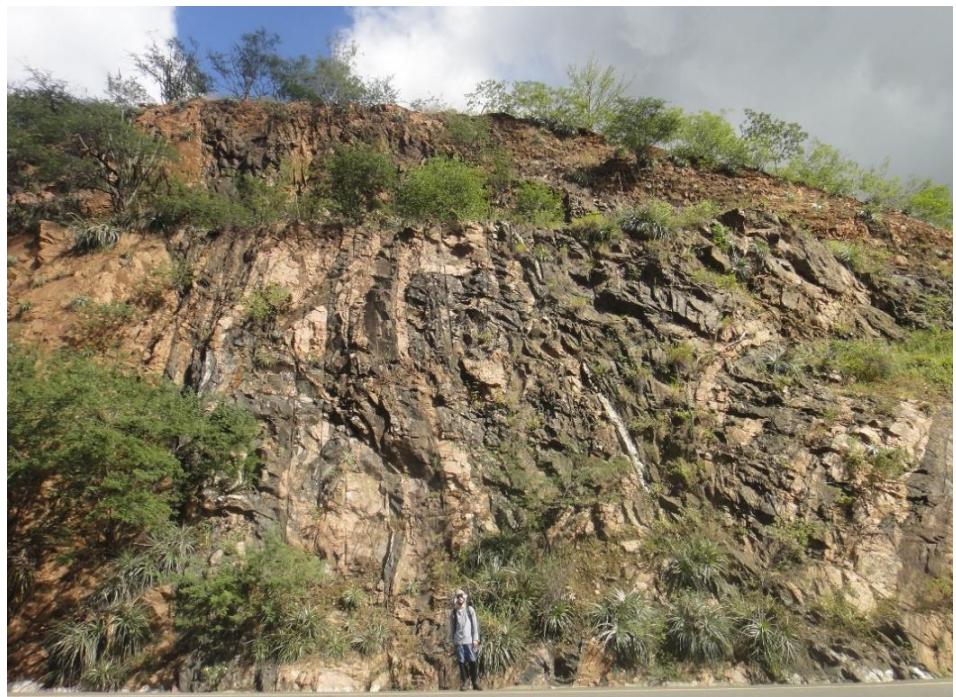


Figura 5: Processo de *mingling* entre o anfibolito e o metamonzogranito no afloramento.



Figura 6: Estrutura tipo *pillow* (tentativa do termo félscico penetrar no máfico).



Figura 7: Estrutura tipo pillow, com filtragem-prensagem.



Figura 8: Agregados de minerais maficos (biotita) orientados no metamonzonogranito.

O anfibolito (Fig. 9) por vezes, se apresenta com aspecto maciço e granular, e por vezes foliado, nas proximidades da Zona Transcorrente Transpressiva Canindé. A cor varia de cinza escuro a verde escuro. A textura é equigranular média a fina. Macroscopicamente, a mineralogia principal é composta por hornblenda, plagioclásio e biotita.



Figura 9: Anfibolito maciço da área de estudo, com granulometria média.

O metamonzogranito (Fig. 10) e metasienogranito possuem aspecto maciço, apresentam coloração que varia de bege a rosa-amarelado claro. O metamonzogranito possui textura inequigranular média a grossa, e o metasienogranito possui textura inequigranular média a fina. Macroscopicamente, a mineralogia é constituída por K-feldspato, quartzo e biotita. O metamonzogranito por vezes se apresenta foliado, com direção NW-SE, devido à proximidade com a Zona Transcorrente Transpressiva Canindé.



Figura 10: Metamonzogranito inequigranular, de granulometria média, foliado devido à proximidade com a zona de cisalhamento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A partir das amostras coletadas em campo (coordenadas - Apêndice 1), doze lâminas delgadas foram confeccionadas no Laboratório PetrografiaBR (Contagem, MG, Brasil). A descrição petrográfica foi realizada com o auxílio de um microscópio petrográfico da marca *Olympus*, modelo *BX41*, do Laboratório de Microscopia e Lutas do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Sergipe (UFS). A estimativa modal foi realizada pelo método de contagem de pontos, através de uma varredura em toda a lâmina, para atingir em média 650 pontos.

As amostras coletadas foram analisadas macroscopicamente com o auxílio de uma lupa de mesa da marca *Olympus*, modelo *SZ2-ILST*, do Laboratório de Microscopia e Lutas do Departamento de Geologia da UFS.

As análises químicas de sete amostras foram obtidas na SGS Geosol - Laboratórios ltda (Vespasiano, MG), onde as amostras foram britadas e moídas (<200 mesh). A análise de elementos maiores foi realizada por ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*). Os elementos-traço e terras raras foram obtidos pela técnica ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*). Os dados químicos foram tratados através de diagramas confeccionados nos Softwares *Microsoft Excel* 2016 e *GCDkit* (*Geochemical Data Toolkit for Windows*), versão 5.0.

## **RESULTADOS**

### **PETROGRAFIA**

Um total de doze lâminas delgadas foram descritas. Os dados da análise modal dos minerais observados nas lâminas delgadas estão no Apêndice 2.

#### **Anfibolito (Unidade Gentileza)**

O anfibolito da Unidade Gentileza é inequigranular, hipidiomórfico, com granulometria média a fina. A mineralogia é composta por hornblenda (hbl) (28-56,7%), plagioclásio (pl) (18,3-39,9%), biotita (bt) (1,2-12,1%), quartzo (qtz) (0,2-6,5%), titanita (ttn) (0,8-4,5%), minerais opacos (op) (0,4-

5,4%), apatita (ap) (0,3-1,6%) e zircão (zrn) (< 1%). A sericita (ser) (0-7,9%), o carbonato (cb) (0-3%), a clorita (chl) (0-2,3%) e o epidoto (ep) (< 1%) constituem minerais secundários.

Algumas amostras de anfibolito apresentam veios finos tardios (Fig. 11b), com cristais subidioblásticos a xenoblásticos de carbonato, com tamanho médio de 0,04 mm. O carbonato é o resultado da percolação de fluidos a partir da Zona Transcorrente Transpressiva Canindé. Veio de composição félscica (amostra P.14M), com 14,6% de K-feldspato é de ocorrência restrita.

A hornblenda é subidioblástica a xenoblástica, apresenta dimensões entre 0,01 e 3 mm, possui cor verde e pleocroísmo variando de castanho claro a verde escuro. A presença de textura nematoblástica é comum. Alguns cristais de hornblenda envolvem parcialmente cristais de plagioclásio, caracterizando a textura blasto-subofítica. Por vezes, a hornblenda apresenta inclusões de biotita, plagioclásio, minerais opacos, quartzo e titanita. Raramente, a hornblenda é substituída pela biotita ou clorita, caracterizando respectivamente, retrometamorfismo e cloritização. A biotita apresenta textura lepidoblástica, ocorre geralmente na forma subidioblástica, com dimensões que variam entre 0,02 e 1,1 mm. A cor é marrom e o pleocroísmo de marrom claro a escuro. Apresenta inclusão de titanita. Alguns cristais ocorrem substituindo a hornblenda ou estão cloritizados. Os cristais de plagioclásio apresentam forma subidioblástica a xenoblástica, com dimensões entre 0,05 e 7,44 mm. É comum a presença de sericita como produto de alteração (Fig. 11a). Inclusões de hornblenda, minerais opacos, quartzo, titanita e apatita são comuns. Apresenta contatos irregulares com a hornblenda e a biotita. O quartzo ocorre na forma subidioblástica a xenoblástica, com dimensões que variam entre 0,025 e 0,58 mm. Apresenta extinção ondulante, textura mirmequítica e granoblástica. Raramente ocorrem cristais recristalizados. A titanita substitui minerais opacos e ocorre nas bordas destes minerais (Fig. 11c, 11d, 11e). Os cristais variam de subidioblásticos a xenoblásticos, com dimensões entre 0,025 e 0,5 mm. A cor é marrom claro e pleocroísmo varia de marrom claro a escuro.

Os minerais opacos ocorrem na forma idioblástica, subidioblástica ou xenoblástica, com tamanhos variando de 2,9 a 0,023 mm e contatos curvos e/ou retos com a biotita e anfibólito. A apatita possui hábito prismático e tamanho inferior a 0,1 mm. A sericita ocorre com forma xenoblástica, no centro

do plagioclásio, como produto de alteração deste mineral. A clorita ocorre na forma de uma massa irregular, de cor verde, no centro da biotita ou hornblenda. O epidoto possui forma xenoblástica, dimensões que variam entre 0,02 e 0,5 mm e ocorre em geral, substituindo parcialmente a hornblenda.

O zircão é subidioblástico e possui tamanho menor que 0,1 mm.

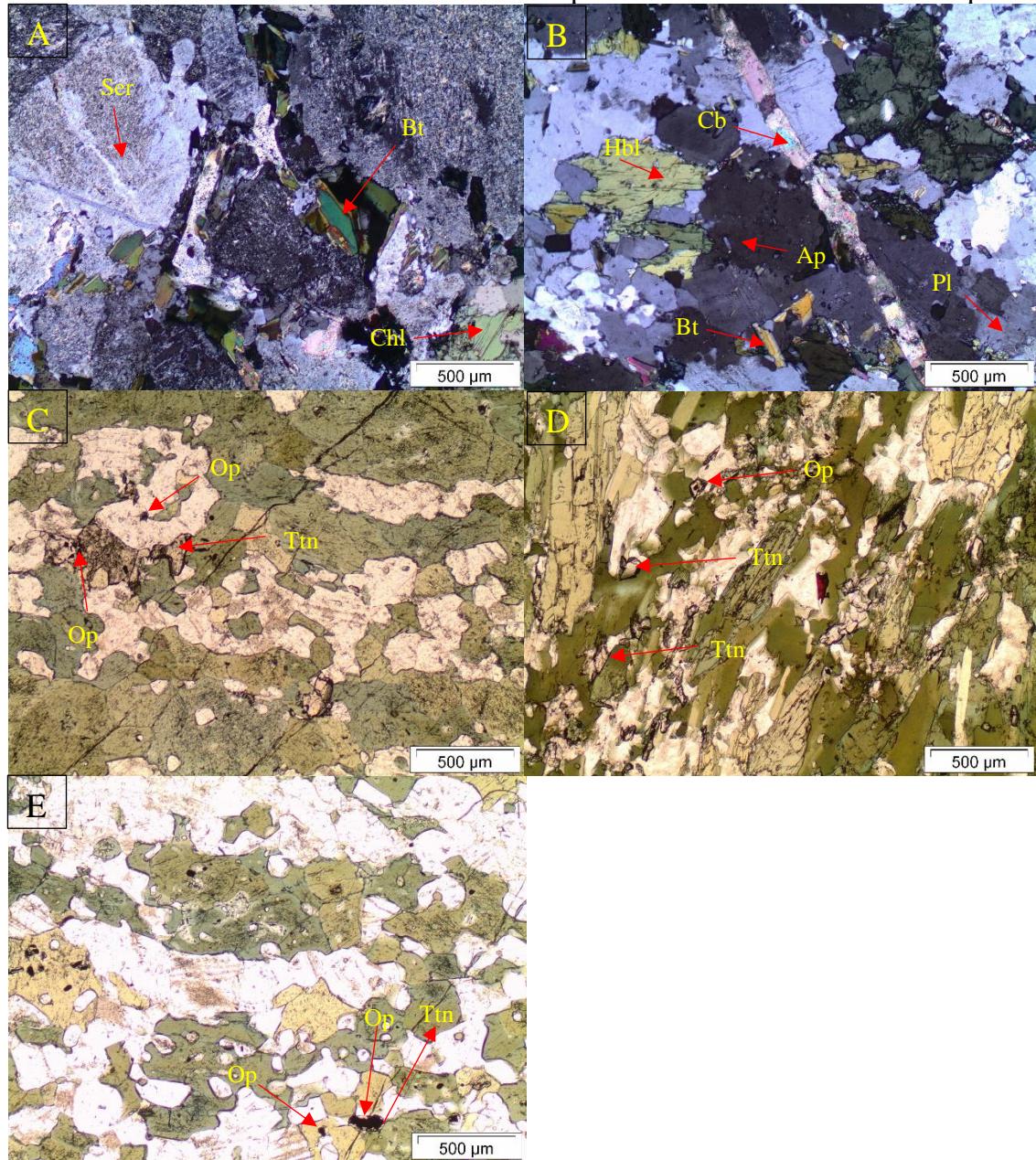


Figura 11: A) Plagioclásio do anfibolito parcialmente sericitizado (nicóis cruzados, 4x) (Ser - sericita, Bt - biotita, Chl - clorita); B) Veio de carbonato em anfibolito (nicóis cruzados, 4x) (Hbl - hornblenda, Cb - carbonato, Ap - apatita, Bt - biotita, Pl - plagioclásio); C) Titanita formada a partir de minerais opacos (luz natural, 4x) (Op – mineral opaco, Ttn - titanita); D) Titanita no anfibolito (luz natural, 4x) (Ttn - titanita, Op – mineral opaco); E) Titanita formada a partir de minerais opacos (luz natural, 4x) (Ttn - titanita, Op – mineral opaco); (Abreviaturas: Siivola & Schmid, 2007).

A assembleia mineral do anfibolito é marcada pela transição da Fácie Anfibolito (hornblenda + plagioclásio ± epidoto ± titanita ± biotita ± clorita ± quartzo) para a Fácie Xisto Verde (plagioclásio + clorita + epidoto + titanita ± quartzo ± carbonato) devido ao metamorfismo regional.

### **Metamonzogranito (Granito Boa Esperança)**

O metamonzogranito é inequigranular, leucocrático, apresenta granulometria média a grossa. A mineralogia é constituída por quartzo (qtz) (36,5-38,5%), K-feldspato (kfs) (20,4-33,3%), plagioclásio (pl) (19,3-27,6%), biotita (bt) (1,6-3,8%), minerais opacos (op) (1,5-3,2%), titanita (ttn) (0,3-1,3%), apatita (ap) (0,2-0,3%), sericita (ser) (5,8-7,1%), epidoto (ep) (0,2-0,6%) e clorita (chl) (0,2-0,6%), e sua ordem de cristalização mineralógica é representada por: opacos, titanita, apatita, plagioclásio, biotita, K-feldspato e quartzo. Agregados maficos (biotita e hornblenda) ocorrem nas amostras (Fig. 12a, 12b), além da presença de quartzo ocelar, resultante da desestabilização físico-química do mineral na rocha. Essas feições são típicas do processo de *mingling*.

O quartzo ocorre na forma subédrica a anédrica, com dimensões que variam entre 0,02 e 2,39 mm (Fig. 12c). Apresenta extinção ondulante, textura mirmequítica e inclusões de titanita e minerais opacos. Cristais recristalizados são de ocorrência comum. O K-feldspato é subédrico a anédrico, com tamanho variável de 0,05 a 7 mm, parcialmente sericitizado. Apresenta inclusões de apatita, quartzo e minerais opacos. O plagioclásio ocorre nas formas subédrica a anédrica, com dimensões entre 0,03 e 3,72 mm e se apresenta, com frequência, com porções sericitizadas. Apresenta contatos irregulares com a biotita, quartzo e K-feldspato. A biotita se apresenta orientada com forma subédrica a anédrica e dimensões entre 0,05 e 0,7 mm. A cor é marrom e o pleocroísmo de marrom claro a escuro. Alguns cristais estão cloritizados. Os minerais opacos ocorrem nas formas euédrica, subédrica ou anédrica e com dimensões que variam entre 0,02 e 1,14 mm. A titanita ocorre substituindo as bordas dos minerais opacos. Apresenta forma subédrica a anédrica, com tamanho que varia de 0,025 a 0,4565 mm. A sericita ocorre com forma anédrica no centro K-feldspato e plagioclásio. O epidoto possui

forma subédrica a anédrica, dimensões que variam entre 0,023 a 0,348 mm e ocorre associado a biotita e clorita. A clorita ocorre no centro e/ou nas bordas dos cristais de biotita, como produto de alteração.

A apatita ocorre com hábito prismático e granulometria inferior a 0,2 mm.

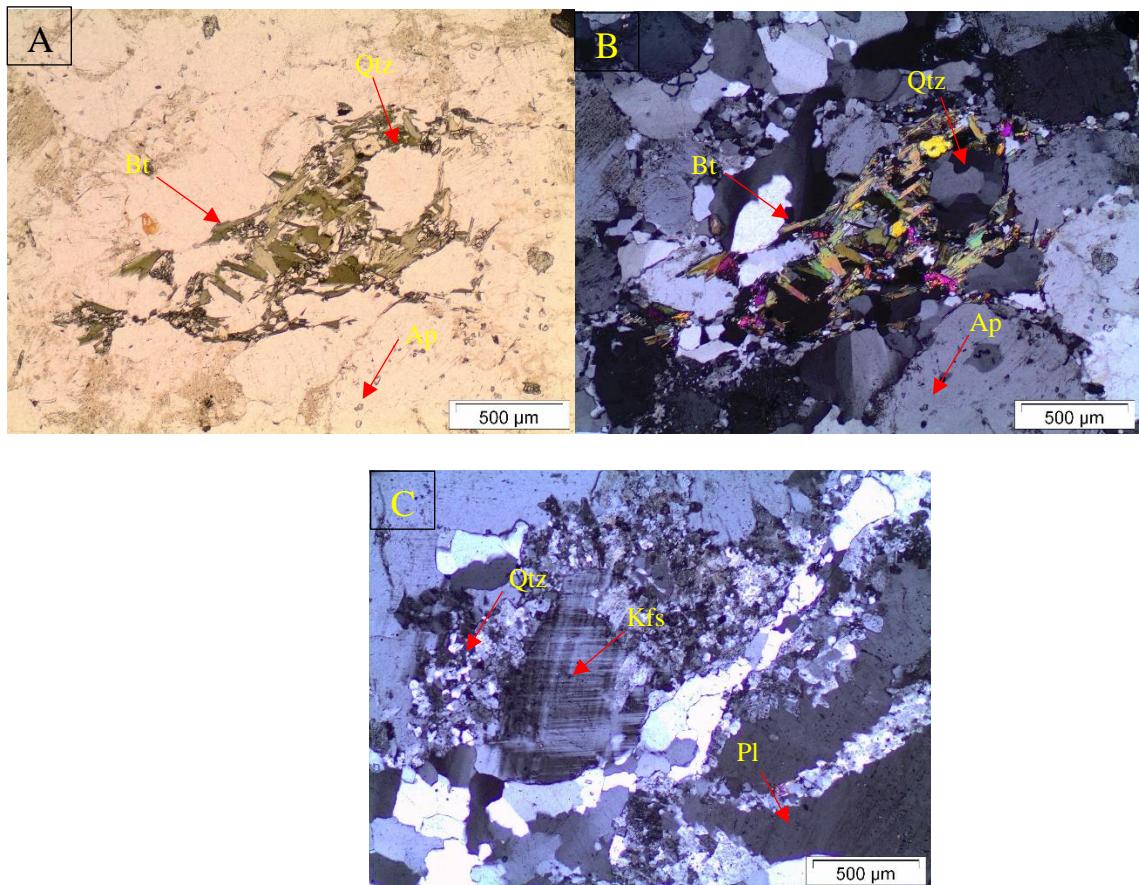


Figura 12: A) Agregado de minerais máficos, quartzo ocelar, biotita laminar e apatita acicular no metamonzogranito (luz natural, 4x) (Bt - biotita, Qtz - quartzo, Ap - apatita); B) Agregado de minerais máficos no metamonzogranito (níveis cruzados, 4x) (Bt - biotita, Qtz - quartzo, Ap - apatita); C) Recristalização de quartzo no metamonzogranito (níveis cruzados, 4x) (Qtz - quartzo, Pl - plagioclásio, Kfs - K-feldspato); (Abreviaturas: Siivola & Schmid, 2007).

## Metasienogranito

O metasienogranito é inequigranular, leucocrático, com granulometria média a fina, composto por quartzo (qtz) (47%), K-feldspato (kfs) (34%), plagioclásio (pl) (5%), biotita (bt) (1%), minerais opacos (op) (2%), titanita (ttn) (1%), apatita (ap) (1%), sericita (ser) (8%), epidoto (ep) (1 abreviatura dos minerais estão conforme Siivola & Schmid, 2007).

O quartzo ocorre na forma subédrica a anédrica, com dimensões que variam entre 0,03 e 3,52 mm.

Apresenta extinção ondulante, textura mirmequítica e comumente ocorre recristalizado. Apresenta

raras inclusões de minerais opacos. O K-feldspato ocorre na forma subédrica a anédrica, por vezes como fenocristal, variando de 0,05 a 10,5 mm, parcialmente sericitizado. Apresenta inclusões de apatita, quartzo e minerais opacos. O plagioclásio varia de subédrico a anédrico, possui dimensões entre 0,03 e 3,24 mm e está frequentemente sericitizado. Inclusões de quartzo e apatita ocorrem de forma rara. Apresenta contatos irregulares com o quartzo e o K-feldspato. A biotita se apresenta orientada, ocorre nas formas subédrica a anédrica, com dimensões de 0,02 a 0,5 mm, possui cor marrom e pleocroísmo de marrom claro a escuro. A maioria dos cristais estão cloritizados. Os minerais opacos ocorrem nas formas euédrica, subédrica ou anédrica, com dimensões entre 0,01 e 0,6 mm. A titanita ocorre substituindo as bordas dos minerais opacos. Apresenta forma subédrica a anédrica, com dimensões que variam entre 0,02 e 0,1 mm. A apatita ocorre com hábito prismático e granulometria inferior a 0,1 mm. A sericita possui forma anédrica e ocorre no centro ou substituindo quase que totalmente o K-feldspato e o plagioclásio. O epidoto apresenta forma anédrica, dimensões que variam entre 0,01 a 0,1 mm e ocorre associado a biotita. A clorita ocorre na forma de uma massa irregular, como produto de alteração da biotita.

## **GEOQUÍMICA**

Na interpretação geoquímica foram utilizadas dezoito análises químicas de rocha total, que são representativas do termo máfico e félscico, sendo sete obtidas neste trabalho (Tabela 1), cinco obtidas por Nascimento (2005) para metamonzogranitos e seis obtidas por Liz (2017) para os anfibolitos (Apêndice 3).

Os dados geoquímicos foram utilizados com o intuito de identificar o protólito do anfibolito, caracterizar quimicamente as rochas das unidades Gentileza (anfibolito) e Granito Boa Esperança (metamonzogranito/metasienogranito), além de estabelecer a afinidade geoquímica e o ambiente geotectônico de ambas.

Tabela 1: Análises químicas de rocha total (elementos maiores e menores em % peso; traços e terras raras em ppm) das amostras de anfibolito (Unidade Gentileza) e de metamonzogranito (Granito Boa Esperança) da área de estudo.

Unidade Gentileza			Granito Boa Esperança				
Amostra	P.01	Px13	P13B	Px19	Px20	P13F.1	P13F.2
SiO <sub>2</sub>	51,92	48,91	57,84	76,16	75,59	72,04	71,63
TiO <sub>2</sub>	2,06	2,44	1,01	0,13	0,05	0,38	0,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,91	15,73	15,34	13,49	13,94	13,85	13,44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,37	12,08	10,4	1,71	1,11	4,71	3,56
MnO	0,24	0,19	0,19	0,02	0,02	0,13	0,11
MgO	5,39	6,11	4,26	0,22	0,12	0,33	0,28
CaO	10,13	7,95	4,09	0,53	0,61	1,94	1,48
Na <sub>2</sub> O	3,4	2,8	2,8	3,43	3,36	4,24	3,48
K <sub>2</sub> O	0,56	1,51	3,19	5,29	5,9	3,84	4,98
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,75	0,27	0,03	0,01	0,1	0,1
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P.F.	0,63	1,06	1,22	0,29	0,22	0,11	0,38
Total	101,82	99,53	100,61	101,2	100,91	101,67	99,72
Ba	116	420	544	929	550	851	1177
Rb	11,2	64,8	125,9	119,6	152,1	68	87,9
Sr	247	655	184	242	135	135	135
Th	1,1	1,9	9,4	7,2	5,3	5,9	4
U	0,3	0,56	1,24	1,21	2,66	2,1	1,57
Zr	130	270	512	76	58	598	430
Hf	3,12	6,33	13,68	3,02	2,9	15,63	10,82
Nb	9,28	21,7	14,94	13,87	5,06	9,27	7,1
Y	44,51	36,39	43,57	11,53	5,87	50,15	41,48
Ta	0,48	0,98	0,55	0,89	0,84	0,34	0,17
Ni	56	77	31	5	5	5	11
V	321	175	87	7	5	5	20
Zn	119	116	151	25	35	82	65
Co	42,6	40,5	25,4	1,7	1,2	1,8	1,6
Cs	2,49	6,19	4,29	1,86	1,63	2,5	2,72
Cu	349	60	38	5	21	29	43
Mo	2	2	2	2	2	2	2
Sn	2,3	3,3	1,1	1,2	0,7	3,1	1,9
Tl	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5
W	0,1	1,3	0,1	0,3	1,6	0,3	0,5
Ga	22,7	22,6	27,5	19,8	20,7	23,5	20,5
La	12,7	33,7	42,9	27,1	2,3	38,2	30,7
Ce	29,2	72,6	97,9	55,1	3,5	88,8	66
Pr	4,38	9,95	13,22	6,36	0,4	11,34	8,46
Nd	20,6	45,8	56,5	24,7	1,4	47,4	36,4
Sm	6,3	8,7	12	3,9	0,4	10,6	8,5
Eu	1,82	2,81	2,69	0,95	0,52	3,25	3,04
Gd	7,73	7,97	11,69	2,92	0,54	11,02	8,87
Tb	1,35	1,16	1,73	0,4	0,12	1,76	1,4
Dy	8,81	6,76	9,57	2,14	0,8	10,67	8,76
Ho	1,74	1,26	1,77	0,36	0,17	2,03	1,66
Er	5,22	3,49	5,38	1,08	0,67	5,93	5,02
Tm	0,73	0,47	0,69	0,16	0,1	0,8	0,67
Yb	4,7	3,1	4,4	1,2	0,8	5,3	4,2
Lu	0,67	0,45	0,69	0,18	0,12	0,81	0,64

O diagrama de classificação de rochas vulcânicas Nb/Y *versus* Zr/Ti (Pearce, 1996) foi utilizado para identificar o protólito do anfibolito (Unidade Gentileza), que corresponde na maioria, a andesito basáltico e andesito, com menor variação para basalto, álcali-basalto e dacito/riolito (Fig. 13).

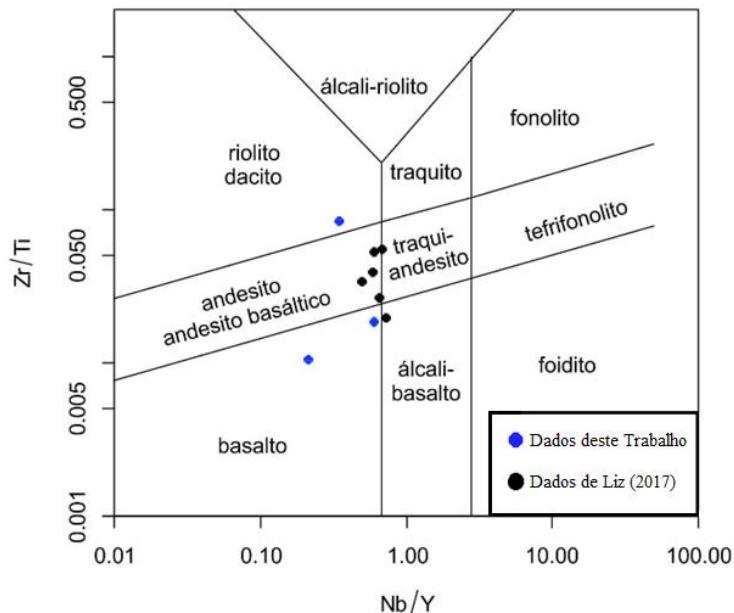


Figura 13: Diagrama de classificação Zr/Ti *versus* Nb/Y (Pearce, 1996) para o anfibolito da Unidade Gentileza.

No diagrama ternário de Jensen (1976), que relaciona os elementos Fe, Ti, Al e Mg, as amostras ocupam o campo do basalto toleítico alto-Fe e basalto cálcio-alcalino, com exceção de duas amostras, que plotam no campo do andesito cálcio-alcalino (Fig. 14).

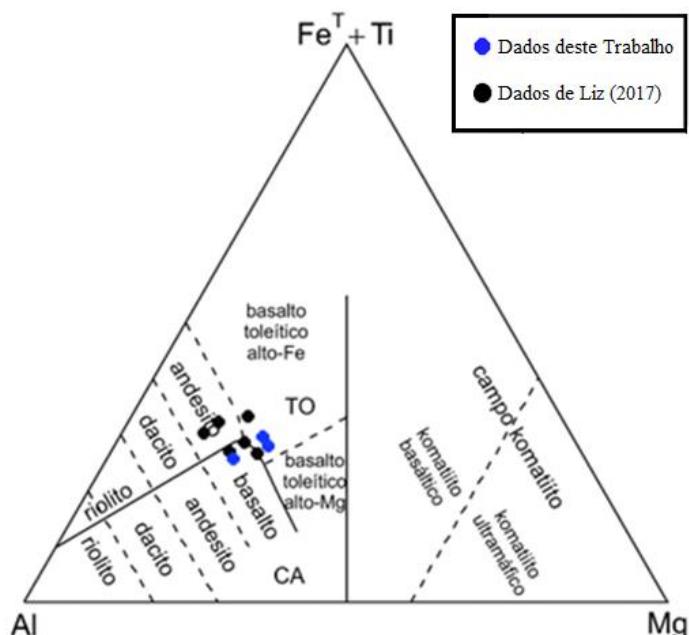


Figura 14: Diagrama de classificação de Jensen (1976) para o anfibolito da Unidade Gentileza.

Para avaliar o comportamento dos elementos maiores e traço do anfibolito, diagramas binários (Fig. 15 e 16) foram confeccionados, utilizando o MgO como índice de diferenciação, por ser o óxido com maior variação. Nos diagramas se observa que os teores de SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> crescem com a diferenciação e em contrapartida, o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e CaO apresentam tendência ao empobrecimento (Fig. 15). O óxido de Ti possui um padrão constante, com exceção de duas amostras, uma com teor mais elevado e outra com valor mais baixo. O FeOt apresenta dois padrões, um grupo de amostras com aumento no teor de FeOt e outro com decréscimo. Os padrões observados nos diagramas binários refletem o fracionamento de minerais como olivina, clinopiroxênio, plagioclásio e minerais opacos durante a evolução magmática (protólito), com fracionamento mais efetivo de FeOt nas rochas mais diferenciadas.

Nos diagramas binários de elementos traço *versus* o MgO (Fig. 16), o padrão do Sr está relacionado ao fracionamento de plagioclásio. O Ni apresenta correlação positiva com o MgO. Os demais elementos-traço apresentam comportamentos similares, com padrão de enriquecimento, padrão típico de elementos incompatíveis.

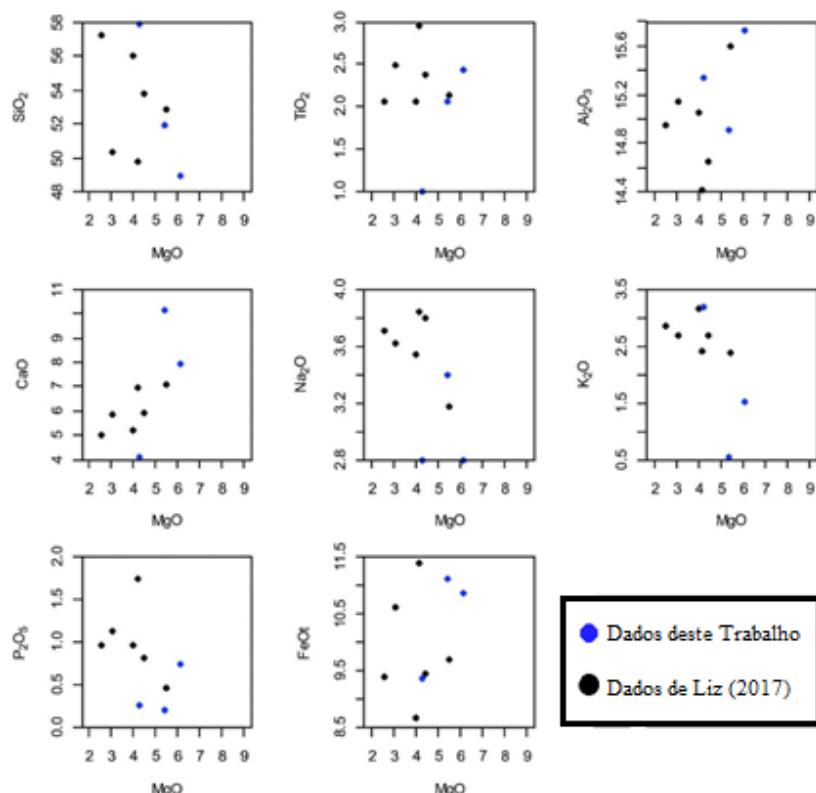


Figura 15: Diagramas binários de variação de elementos maiores e menores (% em peso) *versus* MgO (% em peso), para os anfibolitos da Unidade Gentileza.

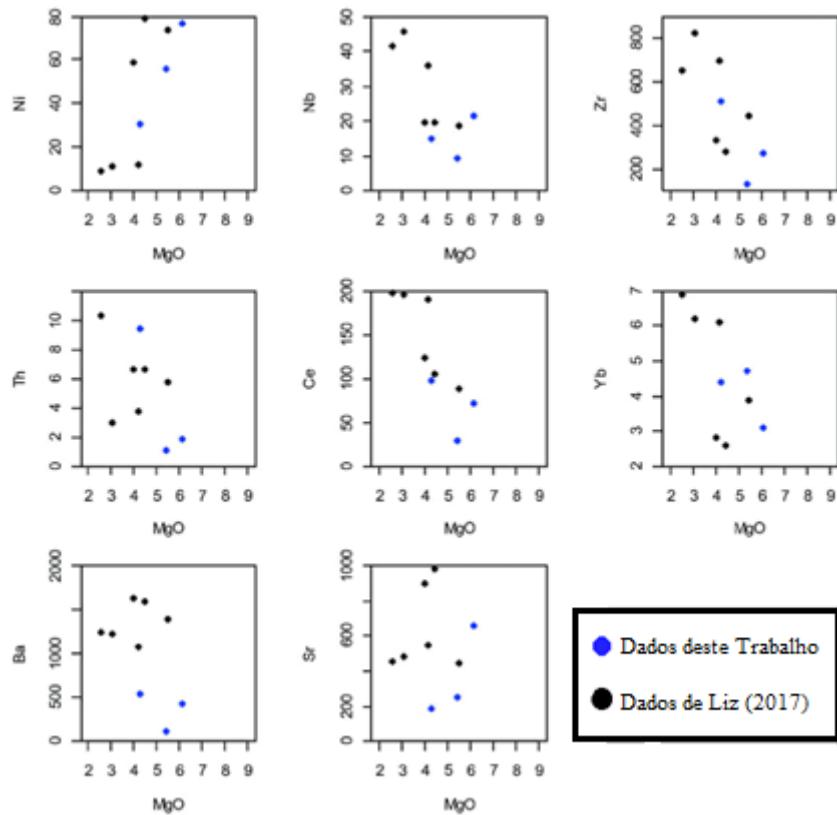


Figura 16: Diagramas binários de variação de elementos-traço (ppm) *versus* MgO (% em peso), para as amostras de anfibolito da Unidade Gentileza.

No diagrama multi-elementar de elementos-traço normalizado pelo manto primitivo (Sun & McDonough, 1989) (Fig. 17A), as amostras estudadas apresentam um padrão de enriquecimento de LILEs e HFSEs em relação aos ETRPs, com anomalias negativas de Ta, Ti, P e positiva de La.

No diagrama multi-elementar de elementos terras raras (ETR) (Sun & McDonough, 1989) (Fig. 17B), o padrão dos ETR é bem similar para todas as amostras estudadas. As rochas estudadas apresentam altas concentrações de ETR ( $\Sigma$ ETR = 105,22 - 490,01 ppm), com leve a elevado enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP ( $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  = 2,7 - 22,5), além de leve a moderado fracionamento em ETRL ( $\text{La}_N/\text{Sm}_N$  = 2,01 - 6,9) e em ETRP ( $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N$  = 1,64 - 2,65). Observa-se anomalia positiva de Eu, o que sugere fracionamento de plagioclásio ao longo da evolução magmática e leve anomalia negativa de Y, que está associada a fonte.

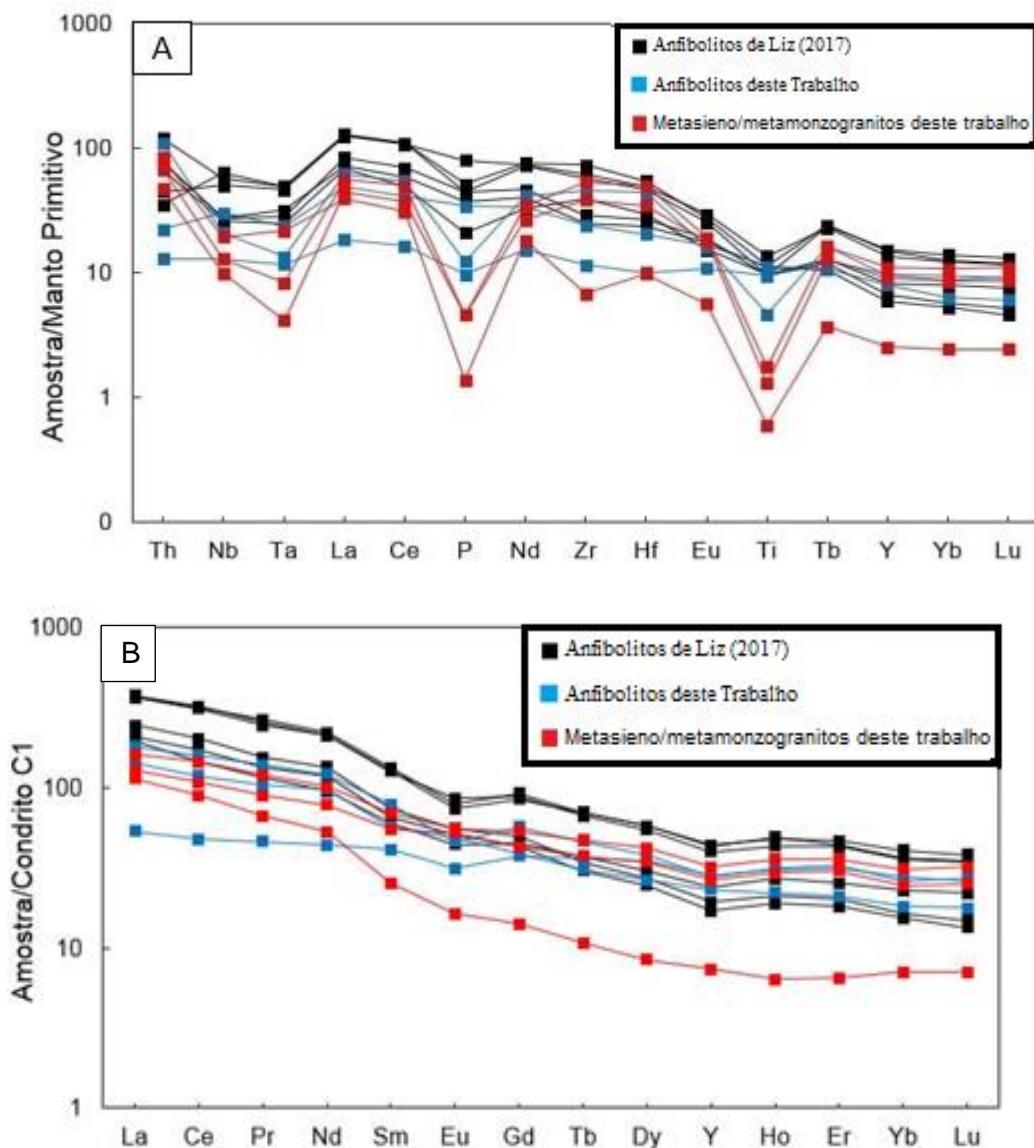


Figura 17: Diagramas multi-elementares de elementos traço e terras raras para rochas do DC. (A) Diagrama multi-elementar dos elementos-traço normalizado pelo MP (Manto Primitivo); (B) Diagrama de ETR normalizados pelo Condritio C1 (Sun & McDonough, 1989).

As amostras félsicas (Unidade Granito Boa Esperança) foram plotadas no diagrama geoquímico de classificação R1-R2 (De la Roche *et al.*, 1980) e correspondem monzogranitos e sienogranitos, com exceção de uma amostra, que ocupa o limite entre os campos do granito e quartzo monzonito (Fig. 18).

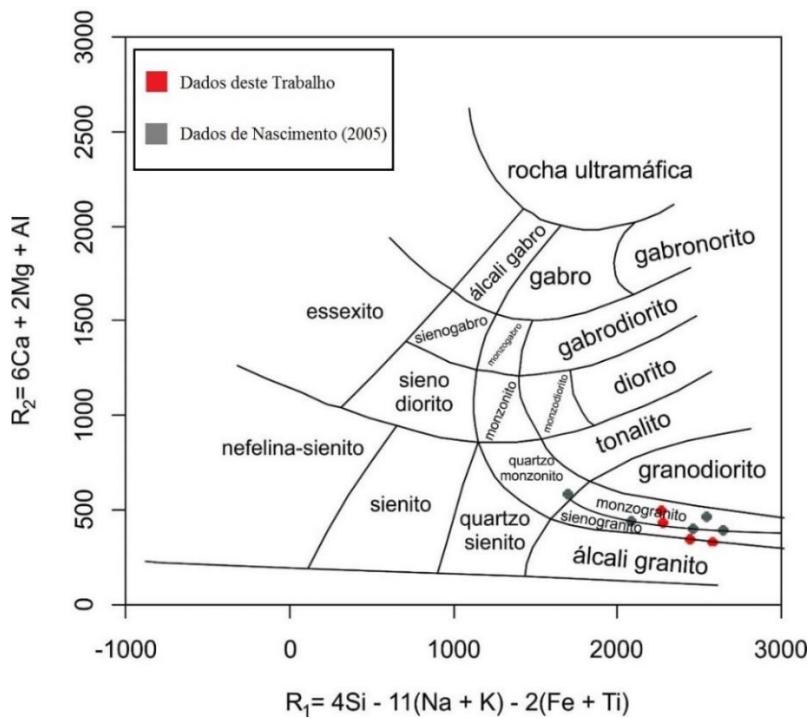
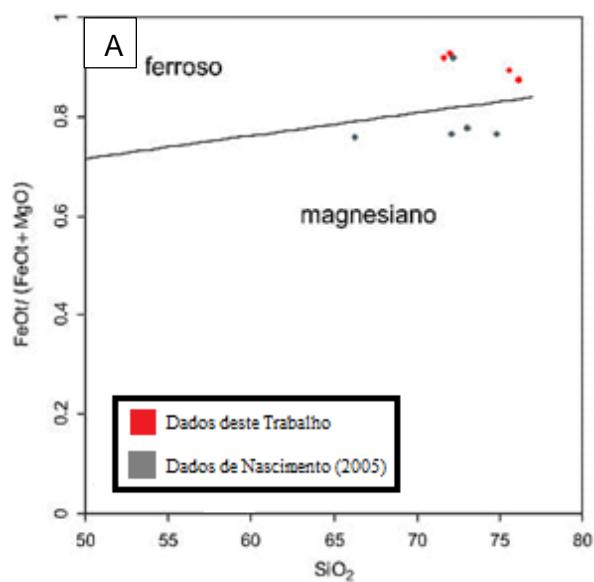


Figura 18: Diagrama de classificação R1-R2 (modificado de De la Roche *et al.*, 1980) para os granitos estudados.

O metamonzogranito (Granito Boa Esperança) estudado se caracteriza como ferroso (Fig. 19A).

As amostras obtidas por Liz (2017) se classificam como magnesianas.

No diagrama  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$  versus  $\text{SiO}_2$  (Frost *et al.*, 2001) (Fig. 19B), a maior parte das amostras deste trabalho e de Liz (2017) se distribuem entre os campos cálcio-alcalino e álcali-cálcico. No diagrama de Shand (1947), as amostras são predominantemente peraluminosas (Fig. 19C) com exceção de quatro amostras que são metaluminosas.



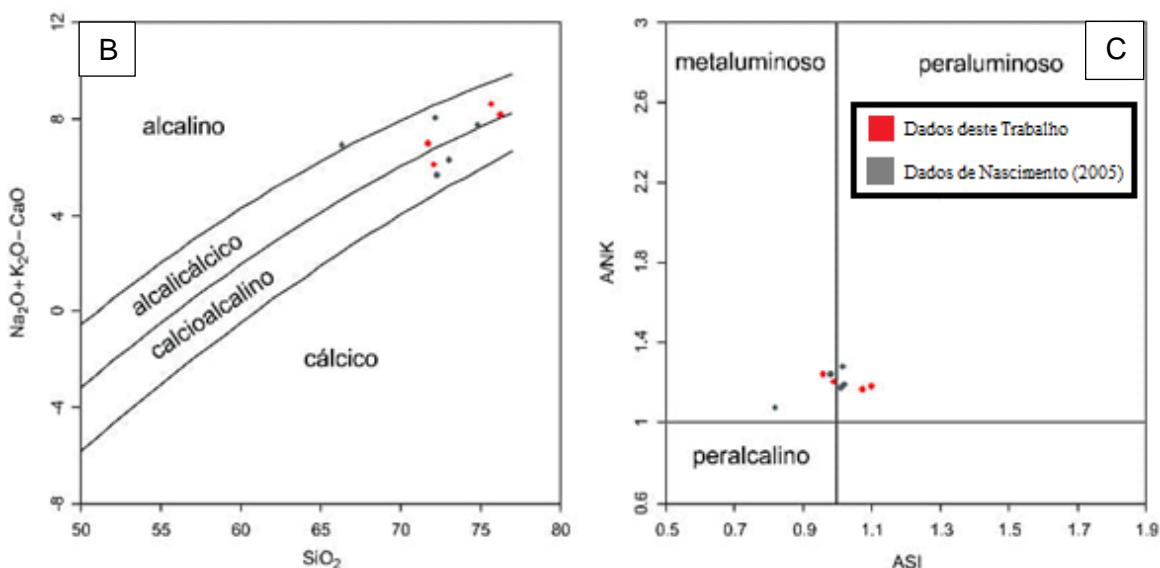


Figura 19: Dados do metamonzogranito/metasienogranito (Granito Boa Esperança). (A) Diagrama FeOt/(FeOt+MgO) versus SiO<sub>2</sub> (Frost *et al.*, 2001); (B) Diagrama Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-CaO versus SiO<sub>2</sub> (Frost *et al.*, 2001); (C) Diagrama de classificação de rochas ígneas com as proporções de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O (Shand, 1947).

## DISCUSSÕES

A presença de metasienogranito porfirítico na área de estudo, de granulometria fina a média, não é relatada na literatura. Esta rocha ocorre, de forma restrita, em associação com o anfibolito da Unidade Gentileza nos afloramentos de corte de estrada e se apresenta bastante intemperizado, com intensos processos de cloritização, sericitização e epidotização. O metasienogranito pode representar uma fase tardia do Granito Boa Esperança, considerando que a rocha possui cristais de K-feldspato bem desenvolvidos. A realização de estudos mais aprofundados se faz necessária, para definir a origem e evolução do membro sienogranítico.

A atribuição do metamonzogranito como pertencente ao Granito Boa Esperança foi definida por comparação de dados petrográficos e geoquímicos de Nascimento (2005).

O metamonzogranito apresenta feições de interação com o anfibolito da Unidade Gentileza, como contatos retos e interdigitados, e feições de *mingling* (estruturas tipo *pillow* e filtragem-prensagem), além de possuir padrões geoquímicos muito similares aos padrões obtidos por Nascimento (2005) e Oliveira *et al.* (2010) para o Granito Boa Esperança.

As amostras do metamonzogranito (Granito Boa Esperança) ocupam, em sua maioria, o campo de granitos de arcos vulcânicos (Fig. 20). O enriquecimento em Fe dos monzogranitos e o posicionamento da maior parte das amostras no campo álcali-cálcicos, sugerem um ambiente intracontinental, o que corrobora com a assinatura geoquímica continental para os anfibolitos da Unidade Gentileza (Fig. 21).

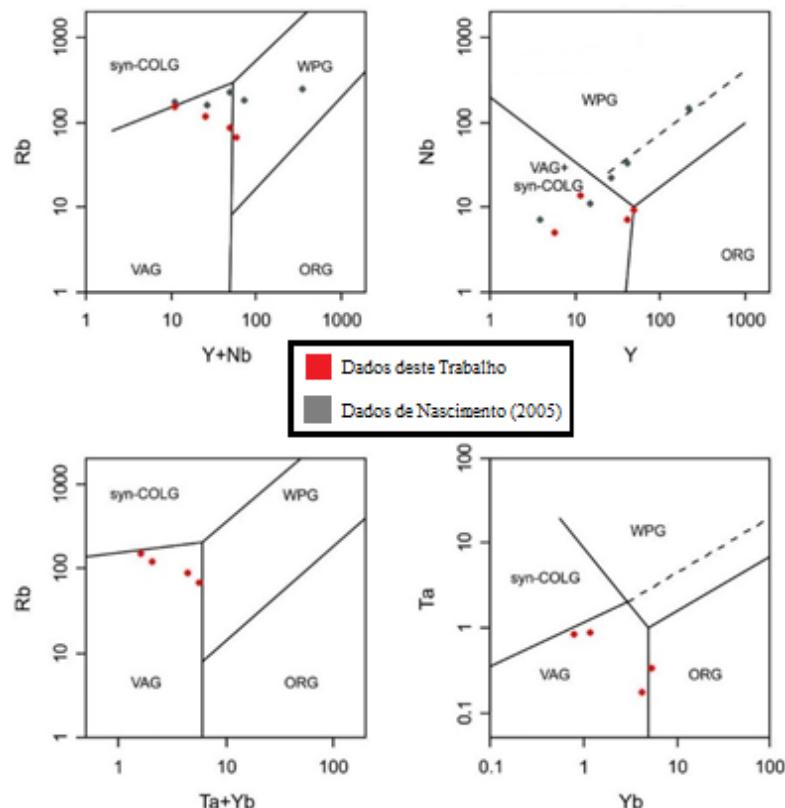


Figura 20: Diagrama de discriminação tectônica para granitos (Pearce, 1984).

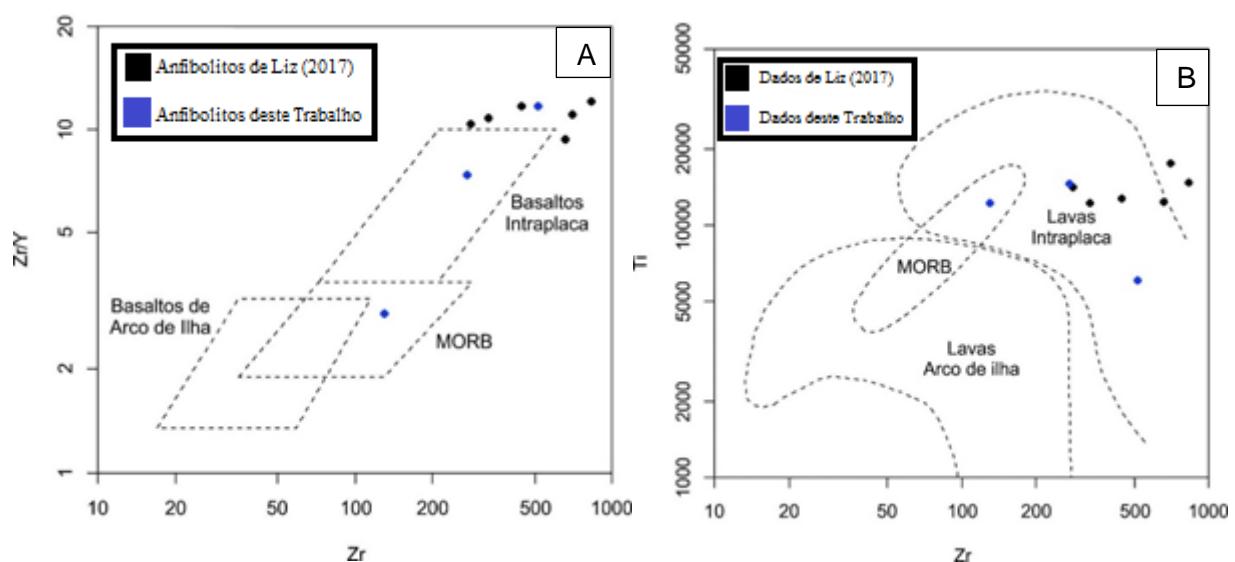


Figura 21: (A) Diagrama de discriminação tectônica utilizado para os anfibolitos da Unidade Gentileza, Zr vs Zr/Y (Pearce e Norry, 1979); (B) Zr vs Ti (Pearce, 1996). Abreviação: MORB - Basaltos de Cordilheira Meso-Oceânica.

Em relação ao posicionamento geotectônico dos anfibolitos estudados, no diagrama Zr vs Zr/Y (Pearce e Norry, 1979) (Fig. 21A), as rochas se posicionam principalmente nos limites do campo dos basaltos intraplaca, com uma amostra no campo do MORB. Quando plotados no diagrama Zr vs Ti (Pearce, 1996), as amostras se situam no campo das rochas intraplaca ou ocupam as proximidades dos limites deste campo.

O diagrama ternário Ti/V, Zr/Sm e Sr/Nd (Wang *et al.*, 2016) (Fig. 22) foi utilizado para os anfibolitos da Unidade Gentileza, para distinção entre basaltos com *trends* de ambiente continental e de arco. Os anfibolitos se situam ao longo do limite (Ti/V - Zr/Sm), padrão típico de basaltos continentais, diferente do padrão de basaltos de arco, que possui enriquecimento em Sr, e é perpendicular ao *trend* de basaltos continentais.

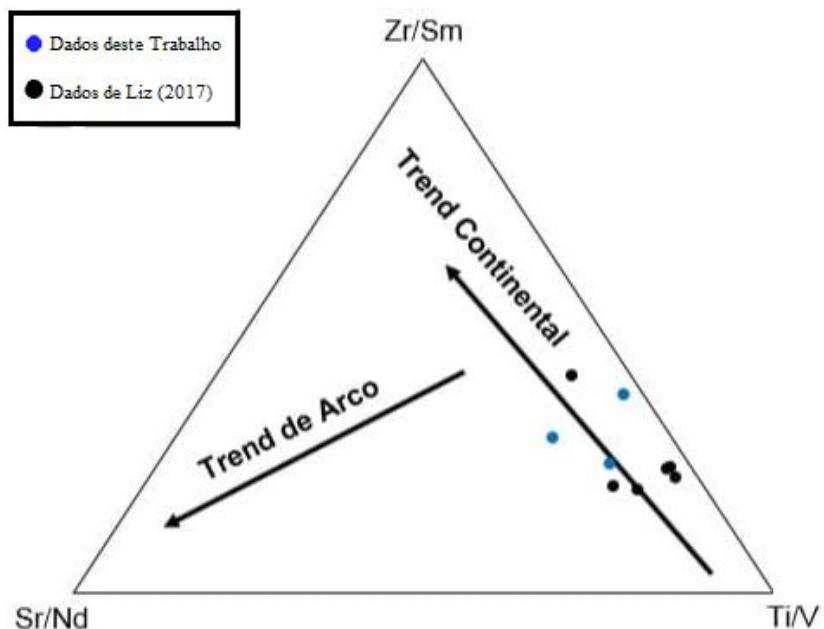


Figura 22: Diagrama ternário Ti/V-Zr/Sm-Sr/Nd (Wang *et al.*, 2016) de discriminação tectônica aplicado aos anfibolitos da Unidade Gentileza.

No diagrama ternário AFM (Irvine & Baragar, 1971) (Fig. 23) se observa uma afinidade cálcio-alcalina para o anfibolito e monzogranito. Os teores médios de Rb e Sr, os teores baixos de Nb e Zr, e o fracionamento moderado de ETR também sugerem uma afinidade cálcio-alcalina.

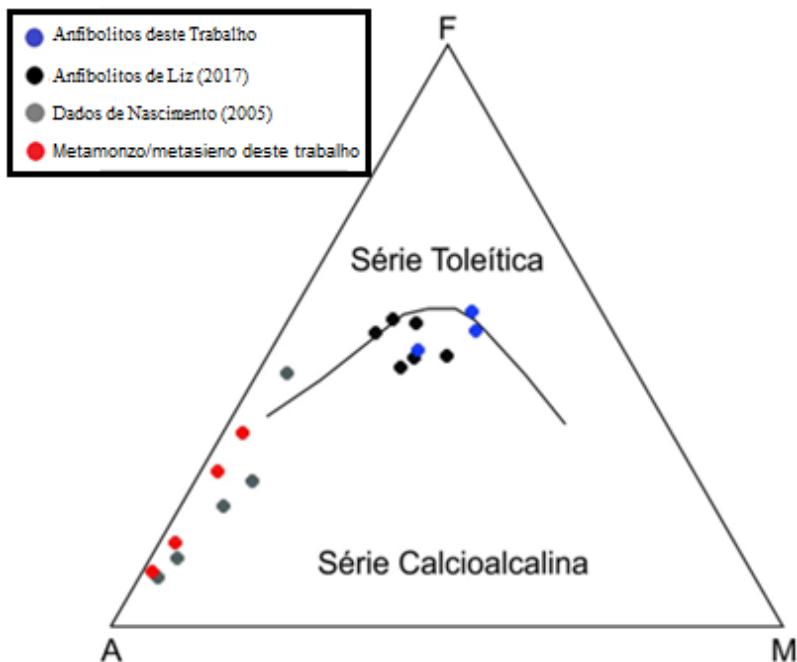


Figura 22: Diagrama de classificação da afinidade geoquímica (Irvine & Baragar, 1971).

Nos contatos interdigitados entre o anfibolito e o metamonzogranito ocorre a transferência de cristais, evidenciada pela presença de agregados máficos (biotita e hornblenda) no metamonzogranito, sendo esta feição relacionada ao processo de *mingling* (Chappell, 1996).

Importante ressaltar que, para ocorrer uma mistura efetiva, a densidade, temperatura e viscosidade entre os magmas devem ser bem similares, sendo estas propriedades de extrema relevância. A existência de agregados de minerais, que caracteriza a transferência de cristais, aumenta a eficiência do *mixing*. Portanto, a transferência de cristais é o primeiro passo, após o *mingling*, para um *mixing* efetivo (Ubide *et al.*, 2014).

A substituição parcial ou total da hornblenda, biotita, plagioclásio e K-feldspato por clorita, epidoto e sericita, respectivamente, sugere que o anfibolito e o metamonzogranito foram afetados por hidrotermalismo, considerando as equações de Best (2003): 1 - Biotita + fluidos (ex: H<sub>2</sub>O) = clorita + rutilo (ou titanita) + K + Si; 2 - Hornblenda + fluidos = clorita + rutilo (ou titanita) + Si + Ca; 3 - Plagioclásio + Ca + Fe + fluidos = epidoto; 4 - Feldspatos + fluidos = sericita + Si + K.

Os dados petrográficos indicam que o anfibolito da Unidade Gentileza atingiu a Fácie Anfibolito (metamorfismo regional), com assembleia mineralógica marcada pelos minerais hornblenda +

plagioclásio ± epidoto ± titanita ± biotita ± clorita ± quartzo. As transformações para a Fácies Xisto Verde são evidenciadas pela paragênese plagioclásio + clorita + epidoto + titanita ± quartzo ± carbonato. A presença de uma paragênese mineral com graus metamórficos médio e baixo sugere que o anfibolito sofreu retrometamorfismo (Best 2003). A substituição da hornblenda pela biotita no anfibolito também é uma evidência de retrometamorfismo. No metamonzogranito e metasienogranito, as principais evidências do processo de metamorfismo regional são a recristalização do quartzo e a presença de biotita orientada.

A formação da titanita a partir de minerais opacos pode refletir uma substituição ainda na fase intramagmática e/ou um processo de reequilíbrio metamórfico. Este segundo processo seria o resultado de evento metamórfico, que gerou biotita, hornblenda e titanita (Harlov *et al.* 2006, Pandit 2018). O mineral ocorre na forma de uma auréola ao redor dos minerais opacos, sendo esta a forma mais frequente, e como grãos irregulares e anédricos, associados à biotita e menos frequentemente, à hornblenda.

## CONCLUSÕES

Na área de estudo foram observadas somente feições do tipo *mingling*, que são o resultado da interação entre o termo máfico (anfibolito - Unidade Gentileza) e o termo félscico (metamonzogranito/metasienogranito - Granito Boa Esperança).

Macroscopicamente, as feições mineralógicas observadas e associadas ao processo de *mingling* foram as estruturas tipo *pillow* e o processo de filtragem-prensagem. Microscopicamente, foi observada mineralogia característica do processo de *mingling*, como a presença de apatita acicular, quartzo ocelar e biotita laminar, resultantes da desestabilização gerada pelas diferenças físico-químicas entre o termo máfico (anfibolito) e félscico (metamonzogranito/metasienogranito). Macro e microscopicamente foram observados agregados de biotita e hornblenda, sendo estes resultantes da remobilização devido a coexistência dos magmas.

Os dados químicos mostram que os protólitos dos anfibolitos da Unidade Gentileza correspondem, em geral, a basaltos, andesitos basálticos e andesitos. O termo félscico foi classificado quimicamente como monzogranito e sienogranito.

Os dados químicos plotados em diagramas de ambiência tectônica apontam para um ambiente intraplaca, para a geração do protólito do anfibolito, com *trend* continental, possivelmente representado por um rifte continental, o que corrobora com os trabalhos de Oliveira & Tarney (1990), Nascimento (2005), Oliveira *et al.*, (2010) e Liz (2017). O metamonzogranito/metasienogranito teriam sido formados em um ambiente intracontinental (campo dos granitos de arco vulcânico), o que está de acordo com a hipótese de Nascimento (2005).

No anfibolito ocorre uma variação da Fácie Anfibolito (hornblenda + plagioclásio ± epidoto ± titanita ± biotita ± clorita ± quartzo) para a Fácie Xisto Verde (plagioclásio + clorita + epidoto + titanita ± quartzo ± carbonato). No metamonzogranito ocorre o processo de recristalização do quartzo.

A presença no anfibolito de veios tardios preenchidos por carbonato, epidoto e de forma rara K-feldspato, sugere a ocorrência de processo hidrotermal, como resultado da percolação de fluidos, a partir das zonas de cisalhamento, o que não ocorre no metamonzogranito/metasienogranito.

Trabalhos futuros, com a obtenção de dados de química mineral auxiliarão na identificação de alterações composticionais nos minerais relacionados à desestabilização provocada pelo retrometamorfismo e hidrotermalismo. O estudo isotópico auxiliará na interpretação da evolução petrogenética do anfibolito (Unidade Gentileza) e do metamonzogranito/metasienogranito (Granito Boa Esperança).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEST, M.G. **Igneous and metamorphic petrology**. Second Edition, Blackwell Science Ltd, 758 p. 2003.
2. BEZERRA, F.H.R.; JARDIM DE SÁ, E.F.; NILSON, A.A.; BLAIS, S. **O ambiente tectônico do complexo Canindé do São Francisco e rochas encaixantes da Faixa Sergipana, NE do Brasil**. Anais do 1º Simpósio sobre o Cráton São Francisco, v.2, Salvador, SBG, pp. 117-120. 1993.

3. BRITO NEVES, B.B.; SIAL, A.N.; ALBUQUERQUE, J.P.T. **Vergência centrífuga residual no Sistema de Dobramentos Sergipano**. Revista Brasileira de Geociências, 7:102-114. 1977.
4. BRITO NEVES, B.B. & FUCK, R.A. **Neoproterozoic evolution of the basement of the South-American platform**. *Journal of South American Earth Sciences*, 47: 72-89. 2013.
5. CARVALHO, M.J. **Evolução tectônica do Domínio Marancó - Poço Redondo: registro das orogêneses Cariris Velhos e Brasiliana na Faixa Sergipana, NE Brasil**. Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 175p. 2005.
6. CHAPPELL, B.W. **Magma Mixing and the Production of Compositional Variation within Granite Suites: Evidence from the Granites of Southeastern Australia**. *Jornal of Petrology*, 37(3):449 - 470. 1996.
7. DAVISON, I. & SANTOS, R.A. **Tectonic evolution of the Sergipano Fold Belt, NE Brazil, during the Brasiliano Orogeny**. *Precambrian Research*, 45: 319-342. 1989.
8. DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P.; MARCHAL, M. **A Classification of Volcanic and Plutonic Rocks Using R1-R2 Diagrams and Major Element Analyses - Its Relationships with Current Nomenclature**. *Chemical Geology*, 29, 183-210. 1980.
9. FROST, B.R.; BARNES, C.G.; COLLINS, W.J.; ARCUS, R.J.; ELLIS, D.J.; FROST, C.D. **A Geochemical Classification for Granite Rocks**. *Journal of Petrology*, 32:2033-2048. 2001.
10. GOES, R.M. **Investigação de Misturas Mixing/Mingling e Assimilação na Suíte Intrusiva Curralinho, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE-Brasil**. São Cristóvão, SE, 61 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE. 2018.
11. HARLOV, D.; TROPPER, P.; SEIFERT, W.; NIJLAND, T.; FÖRSTER, H. **Formation of Al-rich titanite (CaTiSiO<sub>4</sub>O-CaAlSiO<sub>4</sub>OH) reaction rims on ilmenite in metamorphic rocks as a function of fH<sub>2</sub>O and fO<sub>2</sub>**. *Lithos*, 88: 72-84. 2006.
12. HUMPHREY, F.L. & ALLARD, G.O. **The Propriá Geosyncline, a newly recognized Precambrian tectonic province in the Brazilian shield**. In: XXIII INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, Prague. *Anais*, v.4, p.123-139. 1968.
13. IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. **A guide to the chemical classification of common rocks**. *Can. Journal Earth Science*, 8: 523-548. 1971.
14. JARDIM DE SÁ, E.F.; MORAES, J.A.C.; SILVA, L.J.H.D. **Tectônica tangencial na Faixa Sergipana**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34. Goiânia. *Anais...Goiânia*, SBG, v.3, p.1246. 1986.
15. JENSEN L.S. **A New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks**. Ontario Division Mines Misclaneous, Paper 66: 22p. 1976.
16. LIZ, L.C.C. **Petrografia e geoquímica dos ortoanfíbolitos das unidades Novo Gosto e Gentileza, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana, NE-Brasil**. São Cristóvão, SE, 66 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Análise de Bacias) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE. 2017.

17. MORGAVI, D.; PERUGINI, D.; DE CAMPOS, C.P.; ERTL-INGRISCH, W.; LAVALLÉE, Y.; MORGAN, L.; DINGWELL, D.B. **Magma Mixing Interaction Between Rhyolitic and Basaltic Melt.** 2013.
18. NASCIMENTO, R.S. **Domínio Canindé, Faixa Sergipana, Nordeste do Brasil: Um Estudo Geoquímico e Isotópico de uma Sequência de Rifte Continental Neoproterozóica.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Campinas, 159p. 2005.
19. OLIVEIRA, E.P. & TARNEY, J. **The Cannoned de São Francisco Complex: a major late Proterozoic gabbroic body in the Sergipe foldbelt, NE Brazil.** Journal of South American Earth Sciences 3 (2/3), 125-140. 1990.
20. OLIVEIRA, E.P.; TOTÉU, S.F.; ARAÚJO, M.N.C.; CARVALHO, M.J.; NASCIMENTO, R.S.; BUENO, J.F.; MCNAUGHTON, N.J.; BASILICI, G. **Geologic correlation between the Neoproterozoic Sergipano belt (NE Brazil) and the Yaounde belt (Cameroon, Africa).** Journal of African Earth Sciences, 44: 470-478. 2006.
21. OLIVEIRA, E.P.; WINDLEY, B.F.; ARAÚJO, M.N.C. **The Neoproterozoic Sergipano orogenic belt, NE Brazil: a complete plate tectonic cycle in western Gondwana.** Precambrian Research 181: 64-84. 2010.
22. OLIVEIRA, E.P.; WINDLEY, B.F.; MCNAUGHTON, N.J.; BUENO, J.F.; NASCIMENTO, R.S.; CARVALHO, M.J.; ARAÚJO, M.N.C. **The Sergipano Belt.** Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-319-01715-0\_13. 2017.
23. PANDIT, D. **Crystallization evolution of accessory minerals in paleoproterozoic granites of Bastar Craton, India.** CURRENT SCIENCE, VOL. 114, NO. 11. 2018.
24. PASSOS, L.H. **Caraterização petrográfica, química mineral e geotermobarometria de rochas da Unidade Novo Gosto, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 225p. 2016.
25. PEARCE, J.A. & NORRY, M.J. **Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks.** Contributions to Mineralogy and Petrology, 69: 38-47. 1979.
26. PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B.W.; TINDLE, A.G. **Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks.** Journal of Petrology, 25: 956-983. 1984.
27. PEARCE, J.A. **A user's guide to basalt discrimination diagrams.** Geological Association of Canada Special Publication, 12: 79-113. 1996.
28. PERUGINI, D.; DE CAMPOS, C.P.; DINGWELL, D.B.; DORFMAN, A. **Relaxation of concentration variance: a new tool to measure chemical element mobility during mixing of magmas.** Chemical Geology 335, 8–23. 2013.
29. PERUGINI, D.; DE CAMPOS, C.P.; PETRELLI, M.; MORGAVI, D.; VETERE, F.P.; DINGWELL, D.B. **Quantifying magma mixing with the Shannon entropy: Application to simulations and experiments.** Lithos 236-237. 2015.

30. PETRELLI, M.; PERUGINI, D.; POLI, G. **Transition to chaos and implications for timescales of magma hybridization during mixing processes in magma chambers.** *Lithos* 125, 211–220. 2011.
31. PLATEVOET, B.; BEBIEN, J.; GOMES, E. **Commingling of Contrasted Magmas in Various Geodynamic Settings.** *Tr. J. of Earth Sciences*, 7: 119–132. 1998.
32. PORTO, M.V.G. DE A. **Caracterização Estrutural do Afloramento, Km 2, SE-200, Domínio Canindé, Faixa de Dobramentos Sergipana, Sergipe.** São Cristóvão, SE, 56 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE. 2019.
33. SANTOS, R.A.; MENEZES FILHO, N.R.; SOUZA, J.D. **Programa de levantamentos geológicos Básicos do Brasil; carta metalogenética/previsional- escala 1:100.000 (Folha CS.24-XC-VI Piranhas).** DNPMICPRM, 4 volumes. 1988.
34. SHAND, S.J. **The Eruptive Rocks.** New York: John Wiley. 144 pp. 1947.
35. SIVOLA, J. & SCHMID, R. **List of Mineral Abbreviations.** Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks. 2007.
36. SILVA FILHO, M.A. **A suíte ofiolítica da Geossinclinal de Propriá.** In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto. Anais...Ouro Preto, SBG, p. 51. 1976.
37. SILVA FILHO, M.A. **Arco vulcânico Canindé-Marancó e a Faixa Sul-Alagoana: sequências orogênicas Mesoproterozóicas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 50, Belo Horizonte. Anais...Belo horizonte, SBG, p. 16. 1998.
38. SUN, S.S. & McDONOUGH, W.F. **Chemical and Isotopic systematics of oceanic basalts, implications for mantle composition and processes.** Geological Society of London Special Publication, 42: 313-345. 1989.
39. TEIXEIRA, L.R.; LIMA, E.S.; NEVES, J.P.; SANTOS, R.A.; SANTIAGO, R.C.; MELO, R.C. **Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Sergipe, Salvador, CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Escala 1:250.000.** 2014.
40. UBIDE, T.; GALÉ, C.; LARREA, P.; ARRANZ, E.; LAGO, M.; TIERZ, P. **The Relevance of Crystal Transfer to Magma Mixing: a Case Study in Composite Dykes from the Central Pyrenees.** *Journal of Petrology*. 2014.
41. VAN SCHMUS, W.R.; BRITO NEVES, B.B.; HACKSPACHER, P.C. **U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, NE Brazil.** *Journal of South American Earth Sciences*, 8: 267-288. 1995.
42. VERMA, S.K. & OLIVEIRA, E.P. **Tectonic setting of basic igneous and metaigneous rocks of Borborema Province, Brazil using multi-dimensional geochemical discrimination diagrams.** *Journal of South American Earth Sciences*, 58: 309-317. 2015.
43. WANG, X.C.; WILDE, S.A.; XU, B.; PANG, C.J. **Origin of arc-like continental basalts: Implications for deep-Earth fluid cycling and tectonic discrimination.** *Lithos*, 261: 5-45. 2016.

## **CAPÍTULO 3 - Conclusões**

O protólito do anfibolito da Unidade Gentileza é, em grande maioria, um andesito ou andesito basáltico. O termo félscico foi classificado quimicamente como monzogranito/sienogranito, e como metamonzogranito segundo a estimativa modal.

Os dados de campo e petrográficos evidenciam feições de *mingling* resultantes da interação entre o termo máfico (anfibolito - Unidade Gentileza) e o termo félscico (metamonzogranito/metasienogranito - Granito Boa Esperança). Nos afloramentos da área de estudo foi observado o processo de filtragem-prensagem, a presença de estruturas do tipo *pillow* e agregados máficos no metamonzogranito. Microscopicamente, a mineralogia típica de processo de mistura foi observada, como apatita acicular, quartzo ocelar, biotita laminar e presença de agregados máficos no metamonzogranito/metasienogranito.

Os dados petrográficos indicam condições metamórficas de Fácies Anfibolito para o anfibolito, com assembleia mineral de hornblenda + plagioclásio  $\pm$  epidoto  $\pm$  titanita  $\pm$  biotita  $\pm$  clorita  $\pm$  quartzo. Posteriormente, um evento retrometamórfico de Fácies Xisto Verde ocorreu, com paragênese de plagioclásio + clorita + epidoto + titanita  $\pm$  quartzo  $\pm$  carbonato. A principal evidência de metamorfismo encontrada no metamonzogranito/metasienogranito é a recristalização de quartzo.

No diagrama multi-elementar de elementos-traço, as rochas do Domínio Canindé estudadas apresentam padrão de enriquecimento de LILE e de HFSE em relação aos ETRP, com anomalias negativas de Ta, Ti e P, e anomalia positiva de La. No diagrama multi-elementar de ETR, o anfibolito da Unidade Gentileza possui enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP e fracionamento leve a moderado de ETRL e ETRP.

De acordo com diagramas de discriminação de ambiência tectônica, o protólito do anfibolito foi gerado em ambiente intraplaca, com *trend* continental, possivelmente representado por um rifte continental, o que corrobora com os trabalhos de Oliveira & Tarney (1990), Nascimento (2005), Oliveira *et al.*, (2010) e Liz (2017). As rochas félscicas teriam sido formados em ambiente intracontinental (campo dos granitos de arco vulcânico), o que concorda com a hipótese de Nascimento (2005).

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: Condições para submissão de artigo científico na revista Geociências da UNESP (Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho) de Rio Claro.**

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

### **TIPO DE TRABALHO PUBLICADO**

A revista publica artigos com dados e resultados originais e inéditos de pesquisas científicas e técnicas, redigidos em português, inglês ou espanhol.

### **APRESENTAÇÃO DO TRABALHO**

a) O trabalho deve ter:

- 1) Título, coerente com o conteúdo.
  - 2) A versão do artigo deve ser “cega”, ou seja, sem identificação dos autores, para os trâmites de avaliação.
  - 3) O nome dos autores, bem com as Instituições/empresa(s) a que se vincula(m), com endereço(s) (logradouro, CEP, cidade, estado, endereço eletrônico), completos e sem abreviaturas ou siglas, devem constar no Passo 3. Inclusão de Metadados.
  - 4) Sumário dos itens e subitens, mostrando a hierarquia deles.
  - 5) Resumo de até 200 palavras, em parágrafo único, sem incluir citações bibliográficas, seguido de até cinco palavras-chave que refletem a natureza e conteúdo do trabalho e escritos na língua utilizada no artigo.
  - 6) Título, resumo e palavras-chave vertidos para outra língua dentre as indicadas acima.
- b) A estrutura do artigo deve ter, ressalvada a natureza do trabalho que exija explanação diferente e mais adequada à boa exposição das informações:
- 1) Introdução, contextualizando o trabalho e definindo o objetivo do artigo.
  - 2) Materiais, métodos e técnicas.
  - 3) Apresentação de dados.
  - 4) Discussões, interpretações e resultados.
  - 5) Conclusões ou considerações finais.

6) Agradecimentos.

7) Lista das referências bibliográficas citadas.

c) A hierarquia de itens e subitens deve ser feita em até 5 níveis:

1) Nível 1: negritado, em maiúsculas, centrado. Ex.: **INTRODUÇÃO**.

2) Nível 2: negritado, caixa alta, alinhado à esquerda. Ex.: **LITOLOGIA**.

3) Nível 3: negritado, primeiras letras em maiúsculas e as demais em minúsculas, alinhado à esquerda.

Ex.: **Aspectos do Relevo**.

4) Nível 4: itálico, negritado, primeiras letras em maiúsculas e as demais em minúsculas, alinhado à esquerda. Ex.: *Xistos do Grupo São Roque*.

5) Nível 5: itálico, não-negritado, primeiras letras em maiúsculas e as demais em minúsculas, alinhado à esquerda.

Ex.: *Características Texturais dos Sedimentos*.

## ENTREGA DO ARTIGO

a) O texto deve ser elaborado em folhas A4, margens de 2 cm, espaço duplo, recuos (parágrafos) de 0,5 cm, fonte *Times New Roman* de 12 pontos, sem formatação, sem hifenização, utilizando o *Microsoft Word*. Extensão: até 30 páginas, incluindo texto, ilustrações e referências bibliográficas. Não são aceitos textos escaneados.

1) Unidades e símbolos de medidas devem seguir o sistema de padronização internacional (exs.: M para milhão, G para bilhão, m, cm, km, kb, MPa). Símbolos não-usuais e abreviaturas, quando utilizados, devem ter os significados explicitados quando da primeira citação no texto.

2) Equações e fórmulas devem ser inseridas no texto em formato JPG. Todos os símbolos e abreviaturas utilizados devem ter seus significados explicitados. Se forem citadas no texto podem ser numeradas com algarismos arábicos sucessivos, colocados à direita.

3) Palavras estrangeiras e citações, se usadas, devem aparecer em itálico.

4) Notas de rodapé não são aceitas (inclusive para indicação dos nomes de instituições ou empresas). Eventuais notas complementares podem ser inseridas no fim do texto, referidas como APÊNDICES, limitados à exposição de detalhes imprescindíveis à compreensão do texto (p. ex., minúcias de ensaios, deduções de equações).

5) A redação deve ser impersonal (terceira pessoa).

## ILUSTRAÇÕES

- a) As ilustrações e suas legendas devem ser apresentadas em separado do texto, com as respectivas legendas.
- b) São ilustrações:
  - 1) TABELAS (sem molduras verticais das células) e QUADROS (com molduras horizontais e verticais das células) elaboradas no *Word* ou *Excel*, dispostas em formato Retrato.
  - 2) FIGURAS, que são mapas, perfis, diagramas e assemelhados, em Preto & Branco ou coloridas, numeradas sequencialmente com algarismos arábicos, na ordem de inserção no texto. As figuras devem ser apresentadas apenas em formato .jpg ou .tif, que permita elaboração para o padrão da revista. No texto devem ser apontados os locais de inserção em uma linha logo após o parágrafo em que é feita a primeira citação.
  - 3) FOTOS, FOTOMICROGRAFIAS, IMAGENS e assemelhados, e PRANCHAS, que são quadros de tais documentos. Devem ser apresentadas em tons de cinza ou coloridas, em originais ou escaneadas em formato .jpg, com resolução mínima de 300 dpi. Não são aceitas cópias xerográficas. Inserir escala gráfica, se necessário. Indicações devem ter tamanhos ou espessuras que comporte redução e visibilidade no tamanho de largura máxima entre 8 a 17 cm (largura útil da página impressa).

## CITAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

### a) Citações no texto

- 1) de um autor – ex.: Adams (1989), (Adams, 1996);
- 2) de dois autores – exs.: Cox & Singer (1986), (Cox & Singer, 1986);
- 3) de trabalhos de mais de 2 autores – exs.: Lopes et al. (1992), (Lopes et al., 1992);
- 4) de mais de um trabalho do mesmo autor e do mesmo ano ou de anos distintos – exs.: Johnson (1995a, b, c); Roberts (1996, 1997); (Johnson, 1995a, b; Roberts, 1996a, b, 1997);
- 5) Para citações indiretas, usar segundo em vez de apud – ex.: Lucas (1975, segundo Silva, 1993).
- 6) Evitar o uso de op. cit. – ex.: Martins (1998) em vez de Martins (op. cit.).

### b) Lista de REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- 1) Seguir a ordem alfabética dos nomes dos autores e numerar consecutivamente. Se houver mais de um trabalho do(s) mesmo(s) autor(es) num ano, indicar no final (a), (b), (c)...
- 2) Entrada de um autor – ex.: SILVA, A.L. DA.
- 3) Entrada de dois autores – ex.: SILVA, J.L. & RUIZ, A. DA S.
- 4) Entrada de três ou mais autores – citar todos. Ex.: LIMA, E.S.; MARQUES, J.S.; CAMPOS, A.

5) Exemplos de citação de publicações:

Livros, monografias, relatórios:

COSTA, M.C. da & ANGÉLICA, R.S. (Coordenadores). Contribuições à Geologia da Amazônia. Belém: Financiadora de Estudos e Projetos e Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo Norte, 446 p., 1997.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Jacupiranga-Guaraú - geologia, levantamento geoquímico, processamento aerogeofísico e metalogenia das folhas SG22-X-8-VI-2 (Jacupiranga) e SG22-X-B-VI- 4 (Rio Guaraú), Estado de São Paulo, Escala 1 :50.000. São Paulo: Convênio Secretaria de Estado de Energia / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 245 p., 1999.

Capítulos de livros:

ROOSEVELT, A.C. The influence of geology on soils, biota and the human occupation of Amazonia. In: COSTA, M.C. da & ANGÉLICA, R.S. (Coordenadores), Contribuições à Geologia da Amazônia. Belém: Financiadora de Estudos e Projetos e Sociedade Brasileira de Geologia/Núcleo Norte, p. 1-14, 1997.

Dissertações e Teses:

SANTOS, M. DOS. Serra da Mantiqueira e Planalto do Alto Rio Grande: a bacia terciária de Aiuruoca e evolução morfotectônica. Rio Claro, 1999. 134 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

Artigos de periódicos:

FERREIRA, M.C. Análise espacial da densidade de drenagem em Sistema de Informação Geográfica através de um modelo digital de distâncias interfluviais. Geociências, v. 18, n. 1, p. 7-22, 1999.

Resumos (estendidos ou não) publicados em eventos técnico-científicos:

ROY, P. *Estuaries and coastal valley-fills in Southeast Australia*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 6, 1997, Curitiba. Resumos Expandidos... São Paulo: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 1997, p. 12-13.

**c) Outros**

1) Programas de computação (softwares) citados no texto devem ser referenciados como trabalhos, com dados de autoria, versão, local, data.

2) Documentos consultados na Internet: citar a URL e data de acesso. Ex.: C.M.L. da Cunha & I.A. Mendes. Proposta de análise integrada dos elementos físicos da paisagem: uma abordagem geomorfológica. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista/Sumario0301.htm>. Acessado em: 25jan2006.

3) Trabalhos aceitos para publicação ou no prelo: citar, com indicação da situação.

- 4) Comunicações pessoais e trabalhos em preparação ou submetidos para publicação não devem ser citados na listagem bibliográfica, mas apenas no texto.
- 5) Não devem ser citados documentos (relatórios e outros) confidenciais ou inacessíveis aos leitores.

## ANÁLISE DOS TRABALHOS E PROCEDIMENTOS DA EDITORIA

- 1) O autor ou primeiro autor será comunicado da recepção do trabalho, dos resultados das avaliações pelos Consultores e aceitação para publicação.
- 2) Os trabalhos receberão avaliação crítica do mérito por dois membros do Conselho Editorial e/ou Corpo Consultivo tendo em vista a publicação na revista. O prazo para avaliação é de 30 dias.
- 3) Trabalhos não recomendados serão devolvidos. Aqueles cuja aceitação dependa de modificações ou ajustes serão devolvidos ao(s) autor (es) para adequação.
- 4) Revisões de aspectos formais dos trabalhos, antes da impressão final, serão efetuadas pelo Conselho Editorial.
- 5) Os autores receberão uma cópia do volume em que o trabalho for publicado e 20 separatas, que serão remetidas ao primeiro autor.
- 6) Os dados, informações e conceitos emitidos nos trabalhos são de inteira responsabilidade dos autores. O autor ou primeiro autor do trabalho responde pela autorização de sua publicação e cessão de direitos autorais à revista.

## INTERNET

A revista está disponível na Internet, podendo ser acessada no portal <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/>

## **ANEXO 2: Justificativa de coautorias do artigo científico**

**Adriane Machado:** a coautora colaborou nos trabalhos de campo e contribuiu com discussões relativas à interpretação dos dados de campo, petrográficos e geoquímicos.

**Luiz Henrique Passos:** o coautor auxiliou na edição dos diagramas geoquímicos e participou da interpretação/discussão dos dados geoquímicos.

## ANEXO 3: Comprovante de submissão de artigo científico

### [Geociencias] Agradecimento pela Submissão



Prof. Dr. Norberto Morales <revigeoc.rc@unesp.br>  
Ter, 29/10/2019 17:47

Você ▾

↶ ↷ → ...

Cássio Brener Andrade Almeida,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "EVIDÊNCIAS DE MINGLING NA UNIDADE GENTILEZA, DOMÍNIO CANINDÉ, FAIXA DE DOBRAMENTOS SERGIPANA" para Geosciences = Geociências. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/authorDashboard/submit/14530>  
Login: cassio\_brener

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Prof. Dr. Norberto Morales

Geosciences = Geociências <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias>

**APÊNDICE 1:** Identificação dos pontos amostrados, com coordenadas (UTM), litologia e unidade estratigráfica.

Ponto	Unidade	Litologia	Coordenadas	Lâmina	Geoquímica
<b>P.13(1)</b>	Gentileza	Anfibolito	0631973/8933402	X	
<b>P.13A(1)</b>	Gentileza	Anfibolito	0632065/8933512	X	
<b>P.13.F.1</b>	Boa Esperança	Metamonzogranito	0632008/8933440	X	X
<b>P.13.F.2</b>	Boa Esperança	Metamonzogranito	0632012/8933460	X	X
<b>P.14M</b>	Gentileza	Anfibolito	0632042/8933474	X	
<b>P.13/P.15</b>	Gentileza	Anfibolito	0632174/8933584	X	
<b>P.15</b>	Boa Esperança	Metamonzogranito	0631975/8933402	X	
<b>P.01</b>	Gentileza	Anfibolito	0632413/8932998	X	X
<b>P.13(2)</b>	Gentileza	Anfibolito	0631986/8933420	X	
<b>P.13A(2)</b>	Gentileza	Anfibolito	0632087/8933516	X	
<b>P.13B</b>	Gentileza	Anfibolito	0631998/8933430	X	X
<b>P.13Félsico</b>	Boa Esperança	Metasienogranito	0632324/8933664	X	
<b>Px13</b>	Gentileza	Anfibolito	0631890/8933242		X
<b>Px19</b>	Boa Esperança	Metasienogranito	0632392/8933750		X
<b>Px20</b>	Boa Esperança	Metasienogranito	0632035/8933498		X

**APÊNDICE 2:** Dados da contagem modal baseada na porcentagem (%) de minerais das rochas estudadas do Domínio Canindé (Abreviaturas: Siivola & Schmid, 2007).

Amostra	Litologia	Hbl	Pl	Bt	Kfs	Qtz	Ser	Ttn	Op	Ap	Chl	Ep	Cb	Zrn
<b>P.13(1)</b>	Anfibolito	42,6	37,2	6	-	1,3	1,4	3,1	5,4	0,3	1,7	0,9	-	-
<b>P.13A(1)</b>	Anfibolito	48,8	26,4	11,9	-	2	-	1	5,9	0,8	1,1	-	0,9	0,1
<b>P.14M</b>	Anfibolito	28	18,3	6	14,6	6,5	7,9	3,8	0,4	1	2,3	0,6	0,8	-
<b>P.13/P.15</b>	Anfibolito	49,9	23,5	12,1	-	0,2	-	2,5	5,2	0,9	1,2	-	3	-
<b>P.01</b>	Anfibolito	56,7	32,7	1,2	-	4,5	0,7	0,9	2	0,3	0,4	0,6	-	-
<b>P.13(2)</b>	Anfibolito	38,9	39,9	5,6	-	5,5	0,6	2,9	5,9	0,3	0,3	0,1	-	-
<b>P.13A(2)</b>	Anfibolito	53	23,5	9,6	-	1,7	0,3	3,9	3,5	0,9	2,1	0,3	1,2	-
<b>P.13B</b>	Anfibolito	49,1	24	10,5	-	1	0,3	4,5	4,1	1,1	2,3	0,7	1,9	0,1
<b>P.13Félsico</b>	Metasienogra nito	-	5	1	34,3	47,2	8,1	0,5	2	0,3	0,3	0,6	-	-
<b>P.13.F.1</b>	Metamonzogr anito	-	27,6	3,8	20,4	36,8	5,8	0,8	2,6	0,3	0,6	0,6	-	-
<b>P.13.F.2</b>	Metamonzogr anito	-	19,3	1,6	33,3	36,5	7	0,3	1,5	0,2	0,2	0,2	-	-
<b>P.15</b>	Metamonzogr anito	-	22,1	3,7	25,9	38,5	4,7	1,3	3,2	0,1	0,2	0,3	-	-

**APÊNDICE 3:** Dados geoquímicos obtidos de Liz (2017) e Nascimento (2005), para o anfibolito e Granito Boa Esperança, respectivamente.

Amostra	Liz (2017) (Anfibolito)						Nascimento (2005) (Granito Boa Esperança)				
	CS-01	CS-03	CS-018	PLJ-022B	PLJ-022C	CS-11	CRN-255a	CRN-279	CRN-254b	CRN-258	CRN-247
SiO <sub>2</sub> (%)	53,77	56,04	52,82	57,19	50,32	49,79	72,21	72,14	66,3	74,82	73,02
TiO <sub>2</sub>	2,38	2,06	2,14	2,07	2,49	2,95	0,494	0,246	0,663	0,121	0,387
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,65	15,05	15,6	14,95	15,14	14,42	9,91	14,58	15,03	13,82	13,34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,51	9,65	10,78	10,45	11,8	12,66	6,81	1,48	3,87	0,95	2,55
MnO	0,15	0,15	0,19	0,18	0,21	0,24	0,133	0,019	0,068	0,039	0,045
MgO	4,44	3,99	5,47	2,54	3,07	4,15	0,55	0,41	1,11	0,26	0,65
CaO	5,91	5,22	7,07	5,04	5,86	6,98	1,63	1,26	2,18	1,13	1,64
Na <sub>2</sub> O	3,8	3,54	3,17	3,71	3,62	3,84	2,37	4,09	3,91	3,55	3,25
K <sub>2</sub> O	2,7	3,17	2,39	2,86	2,69	2,41	4,9	5,25	5,22	5,3	4,69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,81	0,96	0,46	0,97	1,13	1,75	0,027	0,108	0,31	0,043	0,122
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
P.F.	0,88	2,23	1,93	0,64	0,4	0,62	0,54	0,56	1	0,29	0,48
Total	100,02	102,06	102,01	100,58	96,72	99,81	99,574	100,143	99,661	100,323	100,174
Ba(ppm)	1604	1627	1386	1254	1218	1079	320	838	1585	1165	738
Rb	57,3	81,8	89,6	87,7	84,3	71,5	250	178	179	161	223
Sr	981	903	442	456	487	550	33	345	474	256	141
Th	6,6	6,7	5,7	10,3	3	3,8	30	10	15,9	4,8	23,9
U	1,31	1,46	1,65	2,3	0,99	1,3	12,8	4	6,9	2	4,9
Zr	280	329	440	651	822	695	353	159	563	114	225
Hf	7,29	8,32	9,24	14,47	16,9	15,15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nb	19,43	19,73	18,48	41,2	45,8	35,94	144	7,2	33	11,1	21,9
Y	26,83	30,27	37,56	69,27	67,51	62,4	215	3,9	42	15,4	27
Ta	1,3	1,16	1,02	2,04	2	1,91	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ni	79	59	74	9	11	12	9	2,6	6,3	1,6	2,8
V	152	116	213	107	118	155	7	17,6	51	5,4	32
Zn	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	264	43	49	25	60
Cs	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<11	<11	<11	<11	<11
Cu	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	13	4,7	9,5	3,9	5,7
Sn	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	21	8	9	7	9
Ga	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	54	27,3	27	15,9	20,7
La	49,9	58,1	46,8	89,8	86,7	86,6	253	50	64	27	66
Ce	104,6	123,8	88,6	197,1	195,2	191,4	579	87	122	48	110
Pr	12,84	14,74	11,08	24,51	25,22	23,21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nd	54,7	62,8	44,5	98,5	103,5	99,3	496	39	58	20	47
Sm	10,1	11,5	9,2	19,6	20,3	19,4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Eu	2,96	3,19	2,57	4,28	4,6	4,98	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Gd	8,92	10,31	9,33	17,46	18,95	18,09	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Tb	1,14	1,29	1,4	2,59	2,62	2,48	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dy	6,26	6,89	7,63	14,59	14,68	13,93	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ho	1,07	1,2	1,53	2,73	2,78	2,45	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Er	3	3,34	4,21	7,76	7,35	7,14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Yb	2,6	2,8	3,9	6,9	6,2	6,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Lu	0,34	0,38	0,56	0,97	0,89	0,87	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.