

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**MAGMATISMO MÁFICO ASSOCIADO AO GRANITO ENCRUZILHADA DO SUL,
RS: SIGNIFICADO TECTÔNICO E IMPORTÂNCIA PARA A GERAÇÃO
DO MAGMATISMO GRANÍTICO**

MACIEL GILMAR JACOBS

ORIENTADOR - Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

Volume I

Porto Alegre - 2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**MAGMATISMO MÁFICO ASSOCIADO AO GRANITO ENCRUZILHADA DO SUL,
RS: SIGNIFICADO TECTÔNICO E IMPORTÂNCIA PARA A GERAÇÃO
DO MAGMATISMO GRANÍTICO**

MACIEL GILMAR JACOBS

ORIENTADOR - Prof. Dr. Ruy Paulo Philipp

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcus Vinicius Dorneles Remus - Instituto de Geociências UFRGS

Prof. Dr. Romulo Machado - Instituto de Geociências USP

Prof. Dr. Evandro Fernandes de Lima - Instituto de Geociências UFRGS

Dissertação de Mestrado apresentada como
requisito parcial para a obtenção do Título de
Mestre em Geociências

Porto Alegre - 2017

CIP - Catalogação na Publicação

Jacobs, Maciel Gilmar
Magmatismo máfico associado ao Granito Encruzilhada do Sul, RS:
significado tectônico e importância para a geração do magmatismo granítico.
Maciel Gilmar Jacobs. - 2017.
f. 88

Orientador: Ruy Paulo Philipp.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Instituto de Geociências.
Programa de Pós-Graduação em Geociências.
Porto Alegre, RS - BR, 2017.
1. Cinturão Dom Feliciano
2. Batólito Pelotas
3. Suíte Encruzilhada do Sul
4. Mistura de Magmas
I. Philipp, Ruy Paulo, orientador.
II. Título.

Agradecimentos

Agradeço a meu Pai Olavo, mãe Gladis e a companheira Maria Eliete.

Agradeço o Professor Doutor Ruy Paulo Philipp pelos turnos incontáveis que passamos juntos, pelos mates amargos, a sua experiência e conhecimento que me foram repassados, pela sua dedicação e o desprendimento do seu tempo nas correções dos inúmeros textos e figuras que lhe passei até a formatação final desta dissertação, muito obrigado, valeu Comandante Ruy Paulo. Ao Professor Doutor Lauro Valentim Stoll Nardi e ao Professor Doutor Edinei Koester pela cooperação na evolução do trabalho. Aos demais professores com que pude compartilhar seus conhecimentos. Aos diretores do Instituto de Geociências André Sampaio Mexias (Comandante Mexias) e Nelson Luiz Sambaqui Gruber.

Ao Programa de Pós-Graduação de Geociências da UFRGS pela concessão da bolsa de estudo, e o auxílio financeiro à Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES.

Ao Instituto de Geociências da UFRGS e seus funcionários por proporcionar as salas de aula, a biblioteca, o acervo digital, os laboratórios para processar e analisar as amostras coletadas, o veículo para a saída de campo, e ao Professor Doutor Lauro Valentin Stoll Nardi pelo financiamento das análises químicas (Projeto PRONEX FAPERGS/CNPq 10/0045-6).

Ao Diretório Acadêmico da Geologia (CAEG).

Agradeço aos colegas geólogos Marco Antônio de Matos Forni, Eduardo Guadagnin, Felipe Guadagnin, Tiago Rafael Gregory, Christian Born, Adrio Peixoto Centeno, Eduardo Fontana, Luciano Alessandretti, Daniel Knijnik, Heiny Paim Kloss, Leonardo Sartori, Roberto Sax de Campos, Cristiano Borghetti, Mauricio Gubert, Gustavo Zvirtes, Matheus Philipe Brückmann, Sandro Heitinger Santos, Samuel Sbaraini, Giuseppe Betino de Toni, Vicente Leivas, João Rodrigo Vargas Pilla Dias, Ezequiel Galvão de Souza, Marco Bincowski Rossoni, Bruno Trennephol, Lucas Marchi da Motta, Sérgio Baggio, Ana Santana, Luana Florisbal, Dijeane Azevedo Rigo, Carla Beatris Gasparini, Thamy Lara de Souza, Manoela Bettarel Ballico, Paula de Oliveira Loureiro, Isadora Aumund Kuhn, Nathalia Caloghero Inazaki, Amanda Goulart Rodrigues, Francisco Molina Bom, Olavo Collares Poster, Amós Martini, Aldén de Brito Adrião, Rodrigo Winck Lopes, Diego Gusmão da Silva Veras, João Victor Tumenas Mello, Thiago Schmidt, Rodrigo Taffarel, Maurício Salvi, Gabriel Soccol, Augusto Furtado, Thales Petry.

Resumo

A integração de mapeamento geológico com estudos petrográficos e geoquímicos permitiram caracterizar a evolução petrológica do Granito Encruzilhada do Sul. Este maciço ocorre na parte norte do Batólito Pelotas, porção leste do Cinturão Dom Feliciano. O Granito Encruzilhada do Sul apresenta relações de mistura química com a formação dos granitóides híbridos e física com rochas máficas representadas por dioritos e enclaves máficos. Os dados geoquímicos mostram a afinidade toleítica do magmatismo máfico e classifica as rochas graníticas como do tipo-A. A zonação petrográfica e composicional foi gerada a partir do resfriamento de uma única câmara magmática, caracterizada por monzogranitos porfíricos ricos em enclaves máficos nos bordos leste e oeste, gradando para sieno a monzogranitos ricos em quartzo e com baixo teor de minerais máficos na porção central. Uma fácies de sienogranitos tardios ocorre na porção centro-norte e representa a cúpula parcialmente preservada do maciço. O posicionamento do granito foi controlado por uma fase cinemática extensional da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, que permitiu a ascensão dos magmas até sua colocação em níveis superiores da crosta. Os dados obtidos sugerem que a geração da suíte ocorreu no período pós-colisional da orogênese Dom Feliciano, associada à fusão parcial de uma crosta granulítica desidratada, promovida pelo aumento do gradiente geotérmico associado aos magmas máficos. As condições de alta temperatura dos magmas permitiram em estágio precoce da cristalização, a mistura química entre pólos félsico e máfico. A evolução da cristalização, entretanto, modifica a viscosidade e densidade dos magmas e favorece o desenvolvimento de estruturas geradas pela mistura física.

Palavras chave: Cinturão Dom Feliciano, Batólito Pelotas, Suíte Encruzilhada do Sul, Magmatismo Toleítico pós-colisional, Granitos tipo-A, Mistura de Magmas.

Abstract

The integration of geological mapping, petrographic and geochemical studies allowed the characterization of the petrological evolution of the Encruzilhada do Sul Granite. This massif occurs in the northern part of the Pelotas Batholith, eastern portion of the Dom Feliciano Belt. The Encruzilhada do Sul Granite present chemical mixing relations with the formation of hybrid granitoids and physical mixing with mafic rocks represented by diorites and mafic microgranular enclaves. Geochemical data indicate the tholeiitic composition of mafic magmatism and that granitic rocks are A-type. The petrographic and compositional pattern zonation generated from a single cooling magma chamber and defined by porphyritic monzo to granodiorite, rich in mafic enclaves, on the eastern and western border, transitioning to heterogranular syeno and monzogranites, rich in quartz and poor in mafic minerals in the central portion. An equigranular facies composed by syenogranites occurs in the northern central portion, representing the partially preserved top of the magma chamber. The emplacement of the granite was controlled by an extensional kinematic phase of the regional Dorsal do Canguçu Shear Zone, which allowed the rise of magmas up to superior levels of a crust. The data suggest that the generation of the suite took place in the post-collisional period of Dom Feliciano orogeny and was associated with partial melting of a granulite crust promoted by increased of the geothermal gradient by the mafic magmas from the mantle. The high temperature conditions of the magmas allowed the chemical mixing between felsic and mafic poles at an early stage of crystallization. The evolution of crystallization modified the viscosity and density of the magmas and favors the development of mingling structures.

Keywords: Dom Feliciano Belt, Pelotas Batholith, Encruzilhada do Sul Suite, Tholeiitic Post-Collisional Magmatism, A-type Granitoids, Magma Mixing.

Estruturação da dissertação

Este trabalho é uma Dissertação de Mestrado no formato de artigo científico de acordo com a Norma 103 de Submissão de Teses e Dissertações do Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A dissertação dispõe-se em capítulos, o Capítulo I descreve a introdução com os objetivos do trabalho, a revisão do estado da arte, o contexto geológico regional e local, e os métodos aplicados.

O Capítulo II é o corpo principal da dissertação apresentando o artigo científico submetido à revista *Pesquisas em Geociências* sob o título “Magmatismo máfico associado ao Granito Encruzilhada do Sul, RS: significado tectônico e importância para a geração do magmatismo granítico”. A carta de recebimento do manuscrito submetido encontra-se no início do Capítulo II.

O Capítulo III apresenta sucintamente as conclusões da dissertação e as referências bibliográficas.

Lista de figuras do Capítulo I

Figura 1. Porção sul do continente Gondwana localizando as principais áreas cratônicas e os cinturões orogênicos, onde se insere o Cinturão Dom Feliciano	2
Figura 2. Mapa das principais unidades geotectônicas do Cinturão Dom Feliciano e seu embasamento	3
Figura 3. Mapa da localização geográfica da área de estudo	5
Figura 4. Evolução da mistura entre magmas graníticos e máficos	10
Figura 5. Mapa geológico do Batólito Pelotas	19
Figura 6. Mapa geológico da Suíte Encruzilhada do Sul	24

Lista de figuras e tabela do artigo científico submetido, Capítulo II

Figura 1. A) Localização do Cinturão Dom Feliciano na América do Sul; B) principais unidades geotectônicas do Cinturão Dom Feliciano e do seu embasamento. A área de estudo está destacada pelo retângulo vermelho	31
Figura 2. Contexto geológico da Suíte Encruzilhada do Sul	33

- Figura 3. Mapa geológico da Suíte Encruzilhada do Sul 37
- Figura 4. Classificação modal das amostras das fácies graníticas, das rochas máficas e granitóides híbridos da Suíte Encruzilhada do Sul 38
- Figura 5. Aspectos macroscópicos das unidades da Suíte Encruzilhada do Sul. A) Granito porfirítico na borda nordeste; B) Diorito na borda sudoeste; C) Contato gradacional entre leucogranito porfirítico (parte superior da fotografia) e o granito porfirítico com variado teor de minerais máficos (parte inferior); D) Granito porfirítico a heterogranular na porção central, destacando cristais de plagiocláso (Pl), K-feldspato (Kf) e agregados de quartzo com forma globular; E) Enclave máfico microgranular em granito heterogranular na porção central; F) Xenocristais de K-feldspato hospedados no enclave da porção central. Observar injeção do granito porfirítico com limites interlobados e gradacionais 41
- Figura 6. Aspectos macro e microscópicos do Granito Encruzilhada do Sul e das rochas máficas. A) Granito equigranular da porção centro-leste; B) Fotomicrografia de diorito na porção sudoeste, com baixos teores de quartzo (cor clara) disseminados na matriz; C) Enclaves máficos microgranulares em granito porfirítico na porção central; D) Enclave máfico microgranular nas porções centrais, com fratura preenchida por material félsico e a migração mecânica dos feldspatos para o seu interior; E) Fotomicrografia de enclave máfico microgranular na porção central destacando a granulação média e o elevado teor de quartzo na matriz; F) Xenocristal de quartzo arredondado com textura *ocelar*, manteado por franjas de clinopiroxênio 47
- Figura 7. Amostras das litologias da Suíte Encruzilhada do Sul nos diagramas. A) TAS; B) FeO_T/MgO vs SiO_2 ; C) $(Fe_T + Ti) - Al - Mg$; D) A/NK vs A/CNK ... 51
- Figura 8. Diagramas binários (Harker) para as litologias da Suíte Encruzilhada do Sul mostrando o comportamento dos elementos maiores expressos em percentual de óxidos (% peso), em função de SiO_2 52
- Figura 9. Amostras das litologias da Suíte Encruzilhada do Sul nos diagramas binários (Harker) mostrando o comportamento dos elementos traços expressos em ppm, em função de SiO_2 53
- Figura 10. Padrões dos elementos terras raras, normalizados pelos valores condriticos (Boynton, 1984) para as amostras da Suíte Encruzilhada do Sul

A) Granitos; B) Granitóides híbridos; C) Rochas máficas; D) Sobreposição das amostras	54
Figura 11. Diagramas multi-elementares normalizados pelos valores de <i>Ocean Island Basalts</i> (OIB). A) Amostras dos granitos da Suíte Encruzilhada do Sul; B) Granitóides híbridos; C) Rochas máficas; D) Sobreposição das amostras.	55
Figura 12. Representação das amostras dos granitos da Suíte Encruzilhada do Sul nos diagramas discriminante de ambientes geotectônicos. A) Rb vs (Y+Nb); B) R1-R2 de Batchelor & Bodwen (1985); C) Nb-Y-Zr/4; D) Whalen <i>et al.</i> (1987)	56
Tabela 1. Teores dos elementos maiores, menores e traços de 27 amostras de rochas máficas da Suíte Encruzilhada do Sul	49

Anexos da dissertação

Figura 1. Resultados petrográficos nas amostras das rochas máficas e dos enclaves máficos microgranulares da Suíte Encruzilhada do Sul	74
Figura 2. Localização dos pontos amostrados para análises geoquímicas nas litologias da Suíte Encruzilhada do Sul	75
Tabela 1. Designa os pontos das amostras coletadas para análises geoquímicas, informando as procedências	76
Tabela 2. Teores dos elementos maiores, menores e traços nas amostras das litologias da Suíte Encruzilhada do Sul	77

Lista de abreviaturas e siglas utilizadas na dissertação

CDF - Cinturão Dom Feliciano

ETR - Elementos Terras Raras

ESRG - Escudo Sul-Rio-Grandense

Ga - bilhões de anos

HFS - *High Field Strength Elements*

ICP-ES - *Inductively Coupled Plasma - Emission Spectrometry*

ICP-MS - *Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*

LILE - *Large Ion Lithophile Elements*

Ma - milhões de anos

SES - Suíte Encruzilhada do Sul

SHRIMP - *Sensitive High Resolution Ion Microprobe*

T_{DM} - Idade Manto Empobrecido

TIMS - *Thermal Ionization Mass Spectrometry*

ZCDC - Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu

Sumário

Resumo	I
Abstract	I
Estruturação da dissertação	II
Lista de figuras do Capítulo I	II
Lista de figuras e tabela do artigo científico submetido, Capítulo II	II
Anexos da dissertação	IV
Lista de abreviaturas e siglas utilizadas na dissertação	IV

Capítulo I

1. Introdução	1
1.1. Localização e acesso	4
2. Estado da arte	
2.1. Introdução	5
2.2. Magmatismo pós-colisional	6
2.3. Granitóides e rochas máficas associadas	7
2.4. Mistura de magmas	8
3. Contexto geológico e Trabalhos anteriores	
3.1. O Escudo Sul-Rio-Grandense, estratigrafia e geotectônica	11
3.2. Modelos evolutivos da porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense	12
3.3. Granitóides do leste do Escudo Sul-Rio-Grandense	15
3.4. Suíte Encruzilhada do Sul	20
4. Metodologia	
4.1. Revisão bibliográfica e Trabalho de campo	25
4.2. Petrografia	25

4.3. Geoquímica	26
------------------------------	-----------

Capítulo II

Artigo científico submetido à revista Pesquisas em Geociências	27
---	-----------

Capítulo III

Conclusões	62
Referências bibliográficas	63

Capítulo I

1. Introdução

A presença de rochas ígneas máficas associadas ao magmatismo granítico é frequente em suítes e complexos graníticos expostos nos grandes batólitos graníticos vinculados a cinturões orogênicos, como os batólitos Costeiro (Peru), Peninsular Ranges, Sierra Nevada e White Mountains (EUA), entre outros (COBBING; PITCHER, 1972; ATHERTON *et al.*, 1979; VERNON, 1983, 1986; EBY *et al.*, 1992; PITCHER, 1993; CHAPPELL, 1996). Na porção sul da Província Mantiqueira e no Uruguai o magmatismo máfico também foi descrito como um importante componente relacionado ao magmatismo granítico que constitui os batólitos Pelotas, Florianópolis e Aiguá (BITENCOURT; NARDI, 1993, 2000; PHILIPP *et al.*, 2000, 2003; PHILIPP; MACHADO, 2005; OYHANTÇABAL *et al.*, 2007; BITENCOURT *et al.*, 2008).

Na região sul do Brasil, o desenvolvimento do Ciclo Orogrênico Brasileiro está associado à construção do Cinturão Dom Feliciano, um orógeno de dimensões continentais, situado entre fragmentos continentais paleoproterozóicos (PHILIPP *et al.*, 2016b) (Figura 1).

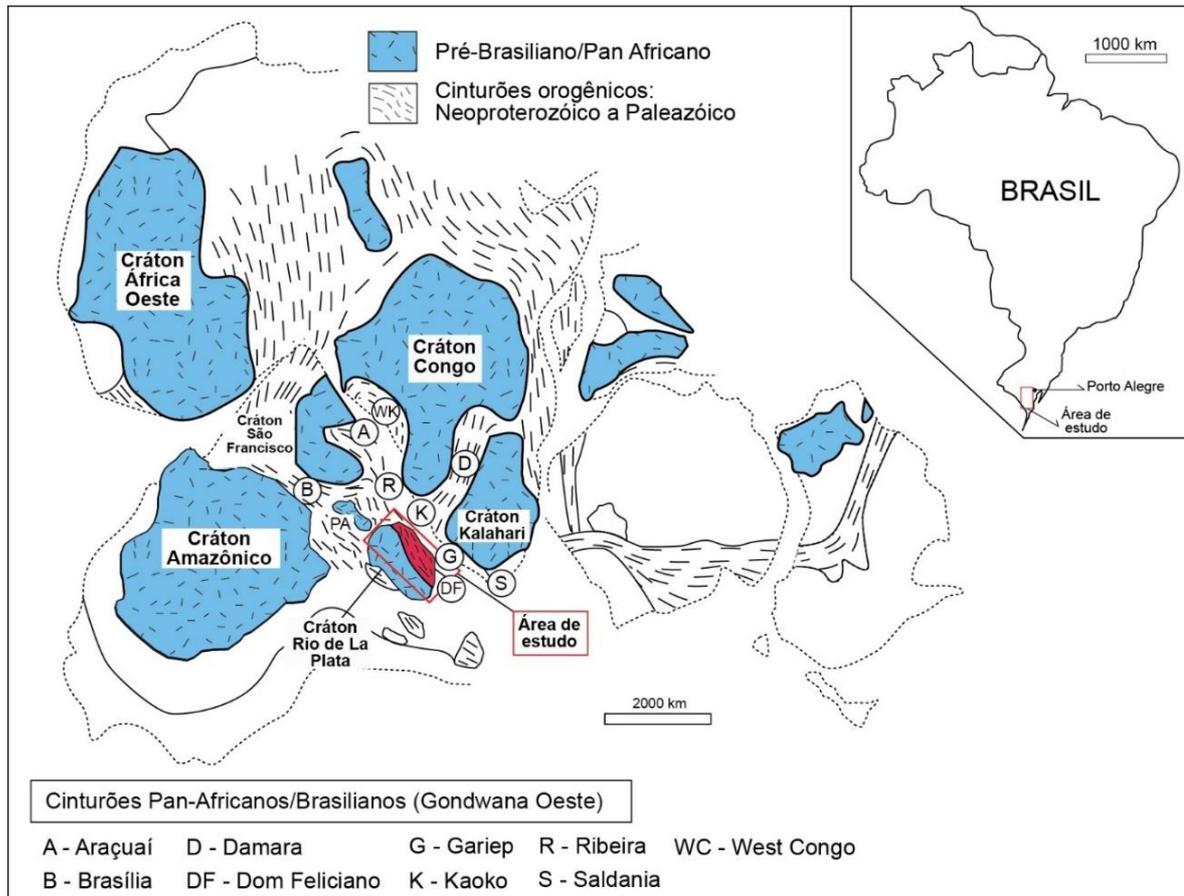


Figura 1. Porção sul do continente Gondwana localizando as principais áreas cratônicas e os cinturões orogênicos (modificado de RAPELA *et al.*, 2011), onde se insere o Cinturão Dom Feliciano (em vermelho).

Este processo envolveu intensa movimentação tectônica com regimes de subducção de crosta oceânica, colisão continental, e tardi a pós-colisionais com intenso magmatismo. O Cinturão Dom Feliciano mostra forma alongada na direção NE-SW, é constituído no RS pelos Terrenos São Gabriel e Tijucas e pelo Batólito Pelotas. Estas unidades estão limitadas por zonas de cisalhamento dúcteis, e encontram-se parcialmente recobertas pelas rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Camaquã (Figura 2). A evolução final do cinturão ocasionou a formação do Batólito Pelotas, constituindo diversas suítes graníticas (PHILIPP *et al.*, 2000; PHILIPP; MACHADO, 2005). A construção do batólito ocorreu entre 650 e 550 Ma, com início relacionado ao metamorfismo colisional, e principalmente durante o período tardi a pós-colisional (BITENCOURT; NARDI, 2000; PHILIPP *et al.*, 2000, 2003; KOESTER *et al.*, 2001; FRANTZ *et al.*, 2003).

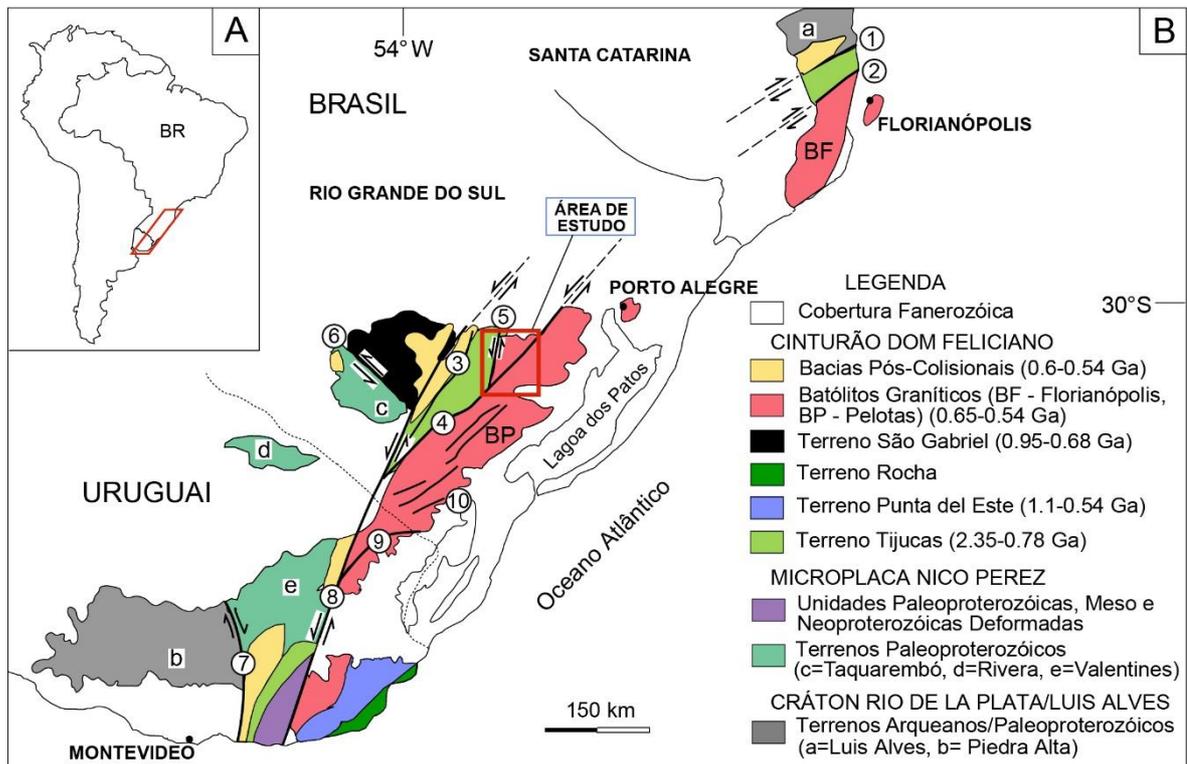


Figura 2. A) Localização do Cinturão Dom Feliciano na América do Sul. B). Principais unidades geotectônicas do Cinturão Dom Feliciano e do seu embasamento (modificado de OYHANTÇABAL *et al.*, 2009; RAPELA *et al.*, 2011; PHILIPP *et al.*, 2016b). A área de estudo está destacada pelo retângulo vermelho. Principais Zonas de Cisalhamento Transcorrentes: 1) Itajaí-Perimbó, 2) Major Gercino, 3) Caçapava do Sul, 4) Dorsal de Canguçu, 5) Passo dos Marinheiros, 6) Ibaré, 7) Sarandí del Yí, 8) Sierra Ballena, 9) Laguna Rocha, 10) Arroio Grande.

A geração e o posicionamento das suítes graníticas se relacionam a intensa atividade tectônica associada ao desenvolvimento e as movimentações das zonas de cisalhamento dúcteis de escala crustal, oblíquas e transcorrentes com cinemática predominantemente sinistral, dispostas ao longo do Batólito Pelotas em um padrão anastomosado de orientação geral NE-SW (FERNANDES *et al.*, 1992; BITENCOURT; NARDI, 1993, 2000; PHILIPP *et al.*, 1993, 2003). O aumento do gradiente geotérmico e o alívio de pressão relacionado às fases de movimentação das zonas de cisalhamento dúcteis ocasionaram a fusão parcial do topo do manto e da base da crosta continental. As fusões crustais interagiram com os magmas máficos juvenis e constituíram as suítes graníticas associadas aos corpos dioríticos e gabróicos, enclaves máficos microgranulares, diques máficos sin-plutônicos e granitóides híbridos (PHILIPP *et al.*, 1998, 2000, 2003, 2007; BITENCOURT; NARDI, 2000; NARDI; BITENCOURT, 2007).

A Suíte Encruzilhada do Sul ocorre na porção nordeste do Batólito Pelotas e constitui um corpo alongado na direção NE, composto principalmente pelo Granito

Encruzilhada do Sul, contendo rochas máficas contemporâneas, como os corpos de dioritos e os enclaves máficos microgranulares, além das faixas dos granitóides híbridos. O objetivo desta pesquisa é caracterizar a petrologia do magmatismo máfico associado ao Granito Encruzilhada do Sul, com base nos dados de campo, análise petrográfica e geoquímica, e no estudo dos processos de mistura química e física entre os magmas.

1.1. Localização e acesso

Situada na região de Encruzilhada do Sul e arredores, porção central do estado do Rio Grande do Sul, a Suíte Encruzilhada do Sul abrange as folhas do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro de Capané, Cerro da Árvore, Delfino, Encruzilhada do Sul, Figueiras, Passo das Canas e Várzea do Capivarita, compreendida entre latitudes 31°00', 30°00' sul e longitudes 53°00', 52°00' oeste, distando aproximadamente 176 km da capital Porto Alegre, de onde se segue pela BR-116 e BR-290 no sentido oeste até a cidade de Pântano Grande e pela RST-471 prossegue na direção sul (Figura 3).

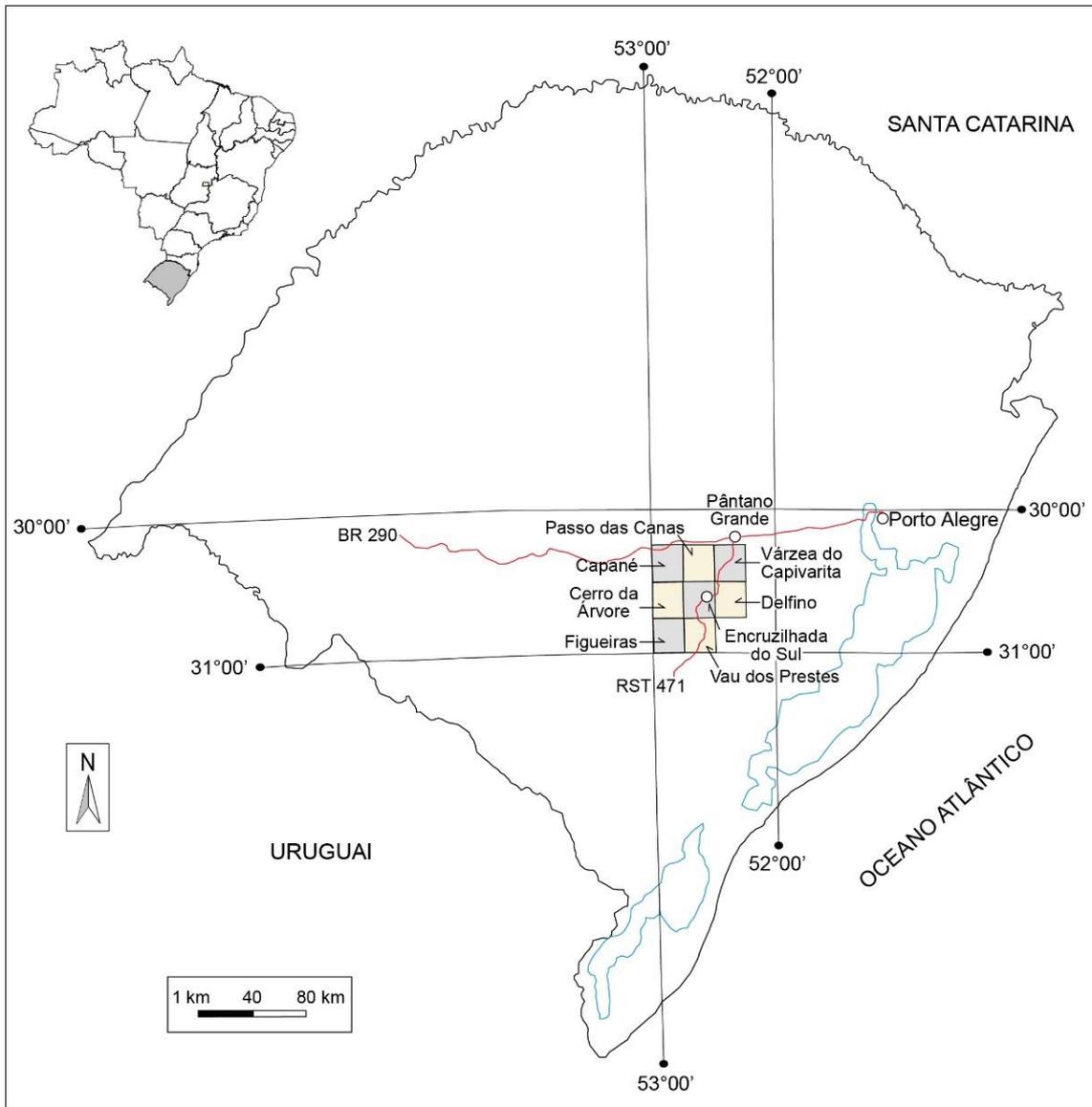


Figura 3. Localização geográfica das cartas do exército brasileiro onde se insere a área de estudo.

2. Estado da arte

2.1. Introdução

Na região sul do Brasil as rochas graníticas estão bem expostas em todas as unidades do Cinturão Dom Feliciano e nas áreas do embasamento paleoproterozóico, na maioria foram formadas durante o Ciclo Orogênico Brasileiro/Pan-Africano, que envolveu subducção de crosta oceânica (900-700 Ma) e eventos de colisões entre sistemas de arcos magmáticos e fragmentos cratônicos (700-620 Ma) levando à consolidação do Pangea como um supercontinente (BRITO NEVES; CORDANI, 1991). Modelos evolutivos similares foram previstos por Liégeois (1998), Bonin *et al.* (1998), Cottin *et al.* (1998), entre outros, onde os autores enfatizam que o ciclo orogênico de Wilson termina com um episódio

dominantemente ensialico acrescentando blocos continentais ou terrenos. A colisão *sensu stricto* é considerada como o impacto inicial e principal de duas ou mais placas continentais, caracterizados por metamorfismo de pressões intermediárias a elevadas (LIÉGEOIS, 1998), o autor apontou que a colisão é seguida de regimes pós-colisionais marcados pela atividade das mega zonas de cisalhamento.

2.2. Magmatismo pós-colisional

O amplo magmatismo granítico que constitui o Batólito Pelotas foi ressaltado nos trabalhos de Frantz; Remus (1986), Fragoso Cesar *et al.* (1986) entre outros. As investigações sobre esta unidade demonstraram que o batólito é constituído por diversas suítes graníticas geradas na fase final da estruturação do Cinturão Dom Feliciano (650-550 Ma) (FRAGOSO CESAR *et al.*, 1986; SOLIANI Jr., 1986; PHILIPP *et al.*, 1993, 2000; FERNANDES *et al.*, 1995; KOESTER *et al.*, 2001, entre outros). As suítes mais antigas estiveram associadas com o pico metamórfico da colisão entre os crátons Rio de La Plata e Kalahari, e são caracterizadas pelo Granito Quitéria e pelos granitos peraluminosos da Suíte Cordilheira (KOESTER *et al.*, 2001; FRANTZ *et al.*, 2003; PHILIPP *et al.*, 2013, 2016a; BOM *et al.*, 2014).

Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul o estágio pós-colisional é marcado pela geração de intenso magmatismo ao longo das principais zonas de cisalhamento transcorrentes que estruturam o Cinturão Dom Feliciano (CHEMALE Jr., 2000; BITENCOURT; NARDI, 2000; PHILIPP *et al.*, 2000; HARTMANN *et al.*, 2007). Nardi; Bitencourt (2009) destacam a importância das zonas de cisalhamento dúcteis do denominado Cinturão de Cisalhamento Sul-brasileiro para promover a decompressão nos níveis superiores do manto, reativando assim as fontes cálcico-alcalinas prévias do magmatismo pré-colisional. Por ter servido de conduto para ascensão de magmas e calor, aumentando as isotérmicas regionais devido ao fluxo térmico, facilitando assim as fusões crustais. Com isto foram geradas associações magmáticas básicas a intermediárias síncronas as graníticas que cresceram verticalmente na crosta como uma larga faixa granítica, geralmente orientada a nordeste (BITENCOURT; NARDI, 1993, 2000).

O início do magmatismo colisional, com idades acerca de 650-620 Ma, é composto por rochas máficas de natureza toleítica e granitóides cálcico-alcalinos médio a alto-K, controlado por zonas de cisalhamento transcorrentes de alto ângulo. Biotita-granitos e granodioritos do Granito Quitéria são os tipos de rochas mais

comuns, geralmente contendo enclaves máficos microgranulares. Este magmatismo é imediatamente seguido por leucogranitos peraluminosos a duas micas da Suite Cordilheira, posicionados ao longo da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, estendendo-se desde a região de Quitéria até Pinheiro Machado (KOESTER *et al.*, 2001; FRANTZ *et al.*, 2003; ORLANDII FILHO *et al.*, 2013). A próxima manifestação magmática (620-590 Ma) tem uma afinidade cálcico-alcalina alto-K a shoshonítica, posicionada tanto no interior do Batólito Pelotas devido ação das zonas de cisalhamentos transcorrentes de alto ângulo, ou longe dos sítios de elevada deformação intrudindo as rochas paleoproterozóicas no interior do Terreno Taquarembó. As suites Pinheiro Machado e Viamão e os granitóides shoshoníticos da Suite Santo Afonso apresentam intenso magmatismo básico associado, variando composicionalmente de félsicas a básicas, seja como manifestações plutônicas ou extrusivas (PAIM *et al.*, 2000; PHILIPP *et al.*, 2000, 2002, 2003; CAMOZZATO *et al.*, 2012). O próximo evento magmático relacionado a evolução tardia do magmatismo pós-colisional (595-560 Ma) é o magmatismo alcalino saturado em sílica das Suites Piquiri, Encruzilhada do Sul e Dom Feliciano. Este magmatismo ocorre ao longo de todo o batólito e intrude discordantemente as suites anteriores, seus posicionamentos também foram controlados pelas zonas de cisalhamento transcorrentes. São comuns biotita-granitos tipo-A metaluminosos, contemporâneos com magmas máficos de afinidade moderadamente alcalina. O magmatismo final do batólito é representado pelos enxames dos diques de riolitos alcalinos e pelo Granito Bela Vista, situados em Piratini e Pinheiro Machado (PHILIPP *et al.*, 2003).

2.3. Granitóides e rochas máficas associadas

A origem dos granitóides é ligada principalmente a processos geodinâmicos do magmatismo orogênico, suas ocorrências são importantes na crosta média (DIDIER; BARBARIN, 1991). A investigação dos granitóides possibilita evoluir o conhecimento a respeito da geração e reciclagem crustal no tempo geológico.

Na Europa Ocidental entre as décadas de 70 e 80 os granitos foram extensivamente estudados na tentativa de compreender sua abundância, relacionar a gênese à orogenia e os respectivos ambientes metamórficos. Através da constatação dos grandes volumes de sedimento pelítico hidratado nas zonas de colisão do Cinturão Hercíniano propôs-se que as fusões crustais seriam o principal mecanismo gerador das rochas graníticas (HALL, 1973).

Entretanto Blake *et al.* (1965); Lameyre (1966); Didier; Lameyre (1969) constataam presença dos enclaves microgranulares e diques máficos sin-plutônicos, evidenciando fontes relacionadas a magmas mantélicos e questionam a geração dos magmas graníticos como exclusiva por fusões crustais. A evolução do conceito de enclaves máficos e a vinculação ao magmatismo granítico fora sintetizada no livro *Granites and Their Enclaves*, de Didier (1973).

Em meados das décadas de 80 e 90, dentre diversos autores, Vernon (1983, 1986 e 1990), Lameyre *et al.* (1988), Barbarin (1990), Vielzeuf *et al.* (1990) consideram que as rochas graníticas originadas por fusão crustal fazem parte de um processo secundário. Conforme os autores a participação de fontes mantélicas é importante, o manto na gênese dos granitóides foi apontado como fonte de calor propiciando a fusão crustal e como efetivo participante do processo (PITCHER, 1993).

Na década de 90, Pitcher (1993), Bonin *et al.* (1998), Bitencourt; Nardi (2000), Chappell; White (2001), entre outros, propõem que os granitóides derivam dos magmas mantélicos, com variável contribuição crustal, seja por assimilação ou contaminação.

A vinculação dos granitóides a associações, sugerida inicialmente por Tauson (1974), Lameyre; Bodwen (1982) e posteriormente Nardi (1986) aborda que os mesmos são produtos evoluídos a partir de magmas primários e seu caráter é definido pelas séries magmáticas. A análise conjunta das composições félsicas e máficas é essencial ao entendimento da gênese e evolução do magmatismo.

2.4. Mistura de magmas

Magmas máficos interagem com rochas da crosta inferior para gerar magmas graníticos somente se houver tempo suficiente que permita troca térmica e a mistura química. Dentre as condições que promovem magma *mixing*, no menor contraste térmico entre magmas, o máfico cristaliza lentamente permitindo agitação mecânica por convecção e fluxo dinâmico. Com mistura completa em escala cristalina, envolvendo tanto a desagregação dos concentrados minerais nos magmas mais cristalizados, quanto a difusão entre magmas, cristais e fundidos de um justapõe-se ao outro resultando numa subjugada assembléia mineral e textural.

No sistema aberto com magmas graníticos em movimento ascendente, ao nível de posicionamento e incompletamente cristalizados, são afetados por fraturas onde

os magmas máficos se injetam e interagem. Cada fratura representa sistema especial de mistura com proporções características dos componentes extremos, vinculadas as condições físicas, formando diques compostos ou fragmentados.

Se não houver tempo suficiente e condições físicas para *mixing* (mistura química), o magma máfico forma bolhas que podem tornar-se achatadas ou alongadas, constituindo os enclaves máficos microgranulares. Alguns dos resultados do *mingling* são aumentos de contatos das superfícies entre os enclaves e granitos promovendo transferência química e a migração mecânica local que enriquece os enclaves em xenocristais de K-feldspato e quartzo.

O modelo da interação entre magmas graníticos e máficos num processo evolutivo e progressivo publicado por Hibbard (1995) sugere: "... no início os dois magmas são injetados, ocorre estágio inicial tanto da mistura física (*mingling*) quanto da hibridização (*mixing*) com geração de granitóides híbridos ricos em minerais máficos, texturas exóticas de *mixing* e algumas inclusões dioríticas. Novo pulso de magma granítico é injetado ocorrendo segunda fase de *mingling* e *mixing* que gera granitóides híbridos contendo inclusões dioríticas do primeiro estágio e inclusões híbridas do segundo estágio, em alguns casos como duplas inclusões" (Figura 4).

3. Contexto geológico e Trabalhos anteriores

3.1. O Escudo Sul-Rio-Grandense, estratigrafia e geotectônica

O Escudo Sul-Rio-Grandense é resultado dos processos de geração e deformação da crosta continental, cuja contribuição maior ocorreu em dois ciclos orogênicos, o Transamazônico e o Brasileiro. Cada ciclo inclui extração de magmas e possivelmente porções sólidas do manto. Associações tectônicas foram colidindo em sequências e contribuíram no crescimento da porção sul do Continente Sul-Americano (CHEMALE Jr., 2000; HARTMANN *et al.*, 2007).

No Terreno Taquarembó, situado no extremo oeste do Escudo, o Complexo Granulítico Santa Maria Chico é constituído de granulitos félsicos e máficos característicos de arco insular e associações máfico-ultramáficas toleíticas acamadadas, além de paragnaisses. Philipp *et al.* (2009) obtêm nos protólitos ígneos, idades de acresções dos magmas entre 2,5-2,3 Ga. O regime colisional gerador dos granulitos ocorreu em 2,02 Ga (HARTMANN *et al.*, 1999, 2000). No Terreno São Gabriel, nos gnaisses Neto Rodrigues localizados em Caçapava do Sul, Remus *et al.* (2000) obtêm idade de 2,4 Ga nos protólitos ígneos. No Complexo Encantadas situado no Terreno Tijucas, Hartmann *et al.* (2003) obtiveram nos zircões dos gnaisses tonalíticos idades U-Pb SHRIMP de 2256 ± 8 Ma e nos núcleos dos zircões reliquiares dos metaultramafitos (hornblenditos) idades de 2257 ± 12 Ma. No Batólito Pelotas 2,1 e 2,0 Ga é a idade dos protólitos ígneos nos ortognaisses do Complexo Arroio dos Ratos (GREGORY *et al.*, 2015) e do Gnaisse Porto Alegre.

A faixa orogênica, o Cinturão Dom Feliciano, foi acrescida no Ciclo Brasileiro à borda leste do Cráton Rio de La Plata em dois eventos orogênicos (HARTMANN *et al.*, 2007). O evento São Gabriel, registrado no Terreno São Gabriel como associações vulcânicas e plutônicas de caráter juvenil intercaladas com ofiolitos, caracterizando a abertura e o fechamento do Oceano Charrua (HARTMANN *et al.*, 2007; PHILIPP *et al.*, 2016b). E o evento Dom Feliciano, registrado no Terreno Tijucas por uma bacia metavulcanossedimentar, e pelo intenso magmatismo no Batólito Pelotas. A sedimentação sugere ambientes de margem passiva e de *back-arc*, os metariolitos evidenciam atividade vulcânica sin-deposicional, datações obtidas por Chemale Jr. (2000) e Hartmann *et al.* (2000) apontam idades ígneas entre 780-770 Ma. No Batólito Pelotas as ações das principais zonas de cisalhamento que o seccionam foram responsáveis pelas gerações e posicionamentos de intensas e múltiplas intrusões magmáticas, desde os regimes

colisionais (650-620 Ma) a pós-colisionais (600-550 Ma), perfazendo um significativo volume de granitóides (BITENCOURT; NARDI, 2000; PHILIPP; MACHADO, 2005). Valores de épsilon Nd negativos e razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ elevadas (0,708 e 0,716) indicam significativa contribuição da crosta antiga, ao passo que idades modelo T_{DM} de 1,5-2.3 Ga sugerem proporções variadas das misturas entre crosta antiga e material mantélico (SOLIANI Jr., 1986; BABINSKI *et al.*, 1997; FRANTZ; BOTELHO, 2000; PHILIPP; MACHADO, 2005; PHILIPP *et al.*, 2007).

3.2. Modelos evolutivos da porção leste do Escudo Sul-Rio-Grandense

No modelamento da evolução geotectônica do Escudo Sul-Rio-Grandense, Picada (1971) caracterizou a Província Tectônica Leste, onde predominavam as Sequências do Embasamento Inferior constituídas de anortositos, gnaisses, migmatitos, lamboanitos e granitos. Este conjunto formaria o Cráton Dom Feliciano e sua estruturação teria ocorrido durante a Orogênese Cambaí, no Pré-Cambriano Inferior a Médio. No Pré-Cambriano Superior, na Orogênese Porongos, o Cráton teria se separado da Geossinclinal Porongos através das zonas de fraturas profundas caracterizadas pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu.

Na compartimentação do Escudo, Ribeiro; Fantinel (1978) enfatizam associações petroectônicas características de dois sistemas orogênicos paralelos. A Zona Leste seria constituída pelo Maciço Granítico Leste, uma raiz de arco magmático exumado no Ciclo Brasileiro, composto por corpos graníticos a granodioríticos com dimensões batolíticas, algumas porções de migmatitos, corpos menores de aplitos, sienitos e riolitos.

No setor leste do Escudo, Frago Cesar (1980) caracteriza o Cinturão Dom Feliciano como um *mobile belt* estendido do Escudo Uruguaio até sul do Escudo Catarinense. Frago Cesar *et al.* (1982) individualizaram no cinturão móvel associações do embasamento pré-brasiliano, margem continental passiva, bacia marginal, arco magmático e sequência molássica. A evolução do Cinturão Dom Feliciano embasada no modelo tectônico de placas evidencia a abertura e o fechamento de um oceano com instalação de uma zona de subducção, servindo o Cráton Rio de La Plata de antepaís.

O modelo colisional sugerido inicialmente por Ribeiro; Fantinel (1978) retomado por Issler (1982), enfatizou a ocorrência dos granitóides a duas micas gerados por fusões crustais, e associações ofiolíticas, resultantes da colisão entre dois

megablocos continentais, o Cráton Rio de La Plata ao oeste e o Cráton Dom Feliciano ao leste.

No leste do Escudo o complexo polifásico, as suítes graníticas multintrusivas, o maciço anortosítico e os septos metamórficos formam o conjunto designado Batólito Pelotas (FRAGOSO CESAR *et al.*, 1986). Segundo os autores, a evolução tectônica do Batólito envolve a subducção da litosfera oceânica em margem continental ativa, seguida da colisão continental oblíqua entre as paleoplasas do Rio de La Plata e do Kalahari, finalizando com o soerguimento pós-colisional. Resultados radiométricos obtidos por Soliani Jr. (1986) evidenciam que a estruturação final do Batólito ocorreu no Neoproterozóico e Cambriano.

Os granitóides situados no leste do Escudo foram caracterizados através das relações composicionais, temporais e regionais, Jost *et al.* (1984a) argumentam sobre a predominância dos granitos cálcio-alcálicos, favorecendo o regime da subducção. A cronologia e as zonalidades dos magmatismos também indicam que houve consumo da placa oceânica subductada de leste para oeste. Contudo observam que a hipótese da colisão continental fica desfavorecida devido raras ocorrências dos granitos gerados nas fusões crustais.

Retomando o modelo colisional, Fernandes *et al.* (1990, 1992), Fragoso Cesar (1991), Tommasi *et al.* (1992), embasados nos padrões deformacionais e nas condições metamórficas do embasamento pré-brasiliano, dos granitóides brasileiros e das sequências supracrustais, ambos afetados por zonas de cisalhamento que cortam e estruturam o Cinturão Dom Feliciano, distinguiram dois eventos deformacionais principais, o da tectônica tangencial, precoce, e da tectônica transcorrente, posterior. Nos granitos tangenciais as direções do transporte demarcadas pelas lineações de estiramento estão orientadas para E-W e NW-SE. Os granitóides e gnaisses precoces (Complexo Gnáissico Arroio dos Ratos e Gnaisses Piratini) fariam parte do arco magmático. Nas fases precoces da evolução do Cinturão os autores não individualizaram os granitos de fusões crustais, mas entre os granitóides sin-transcorrentes à Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, Frantz; Nardi (1992) e Koester *et al.* (1994) identificam os granitos originados por fusões crustais.

Na compartimentação tectônica do Escudo, Costa *et al.* (1995) obtêm dados geofísicos magnetométricos e gravimétricos. Os autores caracterizam

descontinuidades entre o domínio Oriental e Central, sugerindo zonas de suturas, as quais definem colagens orogênicas no Cinturão Dom Feliciano.

Revisando modelos colisionais com ênfase na tectônica pré e sin à Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu e as associações magmáticas, Fernandes *et al.* (1993) propuseram o desenvolvimento das zonas de cisalhamento tangenciais que evoluem para transcorrentes, não implicando nesta última etapa o envolvimento da sutura colisional ou colagem orogênica (FERNANDES *et al.*, 1995).

A partir dos resultados isotópicos Sm/Nd e Pb/Pb obtidos no Cinturão Dom Feliciano e áreas cratônicas adjacentes, Mantovani *et al.* (1987) propõem modelos evolutivos enfatizando os retrabalhamentos da crosta pré-brasiliana. Dados isotópicos Sm/Nd e U/Pb obtidos por Babinski *et al.* (1995) confirmam retrabalhamento crustal, os autores reforçam hipótese da evolução “ensiálica” nas fases tardias, não descartando contribuição mantélica com aporte de calor e o envolvimento de crosta oceânica (zonas de subducção).

Hartmann *et al.* (2007) descrevem o Ciclo Brasileiro como responsável pela construção do Cinturão Dom Feliciano, compreendendo os seguintes regimes tectônicos principais: (i) Início da atividade de subducção, marcada pelo metadiorito Passinho (880 Ma), representando evento tectônico mais velho do neoproterozóico no sul do Brasil (Evento Passinho), (ii) Orogênese São Gabriel com desenvolvimento do arco magmático no Terreno São Gabriel (753-680 Ma) e (iii) Orogênese Dom Feliciano com extensa fusão dos remanescentes crustais antigos do Batólito Pelotas, seguida de intrusões graníticas sin, tardi e pós-colisionais amplamente distribuídas.

Os autores apresentam uma interpretação integrada dos dados geológicos, geofísicos, geoquímicos e isotópicos do Rio Grande do Sul, descrevendo com referência à tectônica de placas, a evolução do Escudo no Neoproterozóico. Dois terrenos tectono-estratigráficos do Ciclo Brasileiro estão expostos nos cinturões de xistos situados a leste do Cráton La Plata. O Terreno Tijucas localizado na margem passiva do Microcontinente Encantadas, e duas associações de arco magmático no Terreno São Gabriel. A evolução do Ciclo Brasileiro iniciou-se com o desenvolvimento do arco Passinho, em torno de 880 Ma, formado acima de uma zona de subducção com mergulhos para leste, e acrescido ao final na margem passiva do Cráton La Plata. Ao mesmo tempo na margem do Microcontinente Encantadas houve a formação de uma margem passiva. Entre 850-700 Ma ocorreu

a subducção para leste, sob a margem continental que consistia do Cráton La Plata e do arco de ilhas Passinho, com a geração de rochas plutônicas cálcico-alcálicas do Complexo Cambaí e das rochas de arco vulcânico do Complexo Palma/Bossoroca. Na margem do Microcontinente Encantadas houve formação de uma margem continental ativa com o consumo do Oceano Charrua e a geração de magmas cálcico-alcálicos com forte contribuição crustal representados pelas unidades metavulcânicas do Complexo Metamórfico Porongos. Entre 0,70 e 0,68 Ga, durante os estágios finais da Orogênese São Gabriel ocorreu a colisão do Cráton La Plata com o Microcontinente Encantadas gerando empurrões para sudeste no Terreno São Gabriel, dobramento isoclinal, cisalhamento e metamorfismo no Terreno Tijucas. No Terreno São Gabriel, o Granito Santa Zélia é tardi-tectônico com relação ao principal período de transcorrência, apresenta valores levemente negativos de $\epsilon_{Nd(t)}$, registrando pela primeira vez a contribuição de crosta continental subductada.

O cisalhamento sinistral ao longo da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu e o empilhamento de *nappes* para noroeste no Terreno Tijucas tiveram início em torno de 670 Ma e cessaram em torno de 620 Ma (KOESTER *et al.*, 1997). No Terreno Tijucas o cisalhamento dúctil sinistral foi seguido de falhamento direcional sinistral rúptil, enquanto o cisalhamento sinistral dúctil e a intrusão dos granitos ainda ocorriam mais a leste no Batólito Pelotas (PHILIPP; MACHADO, 2005). Se o Batólito Pelotas é considerado um arco magmático então o Microcontinente Encantadas pode representar uma microplaca continental prensada entre o Cráton La Plata e o Cráton Kalahari em resposta ao fechamento dos oceanos Adamastor e Charrua. Neste caso os granitóides do Complexo Pinheiro Machado foram formados em decorrência da subducção do Oceano Adamastor. O Microcontinente Encantadas, embasamento do Terreno Tijucas, foi separado da África (Cráton Kalahari) e anexado ao Cráton La Plata, ou era parte do Cráton La Plata e foi segmentado dele pela abertura do Oceano Charrua.

3.3. Granitóides do leste do Escudo Sul-Rio-Grandense

Nos primeiros relatórios sobre a gênese dos granitóides no leste do Escudo, Franco (1944) e Leinz; Pinagel (1945) sugerem origem magmática. Investigando os granitos na região de Encruzilhada do Sul Picada (1967) atribuiu suas gerações aos

processos metassomáticos de migmatização e granitização nas sequências geossinclinais sílico-aluminosas impuras.

Integrações entre discussões sobre a tectônica de placas e resultados geocronológicos obtidos por Cordani *et al.* (1974) foram realizadas por Willig *et al.* (1974), os autores propõem a seguinte sequência evolutiva (i) Granitos sin-tectônicos (650 Ma), (ii) Granitos tardi-tectônicos (610 Ma), (iii) Granitos pós-tectônicos (540 Ma) e (iv) Granitos de resfriamento regional (500-450 Ma).

Embasados nos critérios tectônicos, composicionais, geocronológicos e distribuições regionais Jost *et al.* (1984a) investigam a evolução e a geração dos granitos no leste do Escudo, adaptam o modelo de Sartori (1978), Sartori; Ruegg (1979) propondo seguinte sequência evolutiva: (i) Fase sin-tectônica (700-630 Ma); (ii) Fase transicional precoce (630-580 Ma); (iii) Fase transicional tardia (580-570 Ma) e (iv) Fase pós-tectônica (menos que 570 Ma).

Fragoso Cesar *et al.* (1986) caracterizam o Batólito Pelotas como uma megaestrutura constituída de unidades petroectônicas subdivididas da seguinte forma: (i) Gnaiss Piratini (845 ± 28 Ma, R_0 : 0,7068), (ii) Suíte Granítica Pinheiro Machado (776 ± 36 Ma, R_0 : 0,7060), (iii) Suíte Granítica Cordilheira, (iv) Suíte Granítica Encruzilhada do Sul (559 ± 5 Ma, R_0 : 0,716), (v) Suíte Granítica Dom Feliciano (544 ± 5 Ma, R_0 : 0,7090) e (vi) Veios Graníticos Terminais (446 ± 69 Ma, R_0 : 0,7073).

A estruturação tectônica proposta por Fragoso Cesar *et al.* (1986) fundamenta-se nas caracterizações de Picada (1971), os autores individualizaram três compartimentos distintos: (i) Compartimento Costeiro, a maior litoestrutura do Batólito, constituído de faixas miloníticas com até 1 km de largura direcionadas a NE-SW, grandes corpos graníticos das Suítes Graníticas Pinheiro Machado e Dom Feliciano, septos metamórficos do Gnaiss Piratini, quartzitos e xistos do Herval, corpos intermediários a básicos e diques ácidos dos Riolitos Asperezas, (ii) Compartimento da Dorsal de Canguçu, uma faixa estreita com até 15 km de largura, alongada na direção N40°E com 180 km de comprimento. Constituído de corpos leucograníticos da Suíte Granítica Cordilheira em complexa relação com *augen* gnaisses do Gnaiss Vigia e metassedimentos do Grupo Porongos, este conjunto é truncado por falhas transcorrentes do Sistema de Falhas Passo dos Marinheiros resultando em grandes rejeitos, e (iii) Compartimento de Encruzilhada, no noroeste do Batólito, composto da Suíte Granítica Encruzilhada do Sul, grandes septos

metamórficos do Gnaiss Chanã, corpos diversos como Sienito Piquiri e o Anortosito Capivarita.

A partir dos contrastes estruturais Jost; Hartmann (1984) individualizam os blocos Encruzilhada e Dom Feliciano. Segundo Jost *et al.* (1984a) apesar das semelhanças litoquímicas entre os granitos do Complexo Dom Feliciano e parte dos granitos do Complexo Encruzilhada, estes correspondem a duas porções contrastantes justapostas por uma larga zona rúptil-dúctil transcorrente, o Sistema de Falhas Vigia Roque (JOST *et al.*, 1984b), posteriormente redefinido para Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (MESQUITA; FERNANDES, 1990).

No sul e sudeste do Compartimento Costeiro os granitos foram estudados por Frantz; Remus (1986), Gomes (1990), Philipp (1990), Figueiredo *et al.* (1990), Frantz; Nardi (1992), Philipp *et al.* (1993, 1998, 2000, 2002, 2003). Os autores adotaram critérios tectônicos, petrográficos e geoquímicos, propondo modelos de gerações nas margens continentais ativas. Magmas basálticos cálcico-alcálicos provindos do manto litosférico contaminado de crosta oceânica previamente subductada evoluem para magmas graníticos por fracionamentos e enriquecimentos em potássio.

O magmatismo sin-transcorrente à Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu foi investigado por Koester *et al.* (1994). Resultados petrogenéticos possibilitaram a distinção de dois grupos, um deles constituído dos granitos metaluminosos gerados a partir dos magmas mantélicos fracionados pelas misturas com fusões da crosta, o outro grupo é constituído dos granitos peraluminosos derivados apenas das fusões crustais. A crosta representa o embasamento metamórfico, sendo composta dos orto e paragneisses.

Resultados geoquímicos e isotópicos dos magmatismos graníticos tardi a pós-transcorrentes à Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu são obtidos por Silva *et al.* (1995), os autores discutem a forte assinatura crustal e a origem a partir dos diferentes graus de fusões parciais da crosta tonalítica.

O Batólito Pelotas (Figura 5), segundo Philipp *et al.* (2007) constitui um conjunto formado de um complexo granítico, sete suítes graníticas e subordinado uma associação vulcanossedimentar preservada como enxames de diques ácidos e básicos. Os autores propõem que o posicionamento sucessivo dos magmatismos evoluiu no pós-colisional, devido desenvolvimento das descontinuidades crustais (principais zonas de cisalhamento que seccionam o Batólito). O caráter dos

magmatismos é variado, com domínios das séries cálcico-alcálicas alto-K, subordinado as séries shoshoníticas, alcálicas, peralcalinas e toleíticas. As litologias fontes na geração dos magmatismos foram o Terreno Vila Nova de características juvenis, os Complexos Encantadas e Arroio dos Ratos. Os autores apontam que a participação do material mantélico no magma granítico torna-se evidente pela composição isotópica, comprovada em campo pela ocorrência das rochas dioríticas formando corpos circunscritos e unidades menores hospedadas nas rochas graníticas.

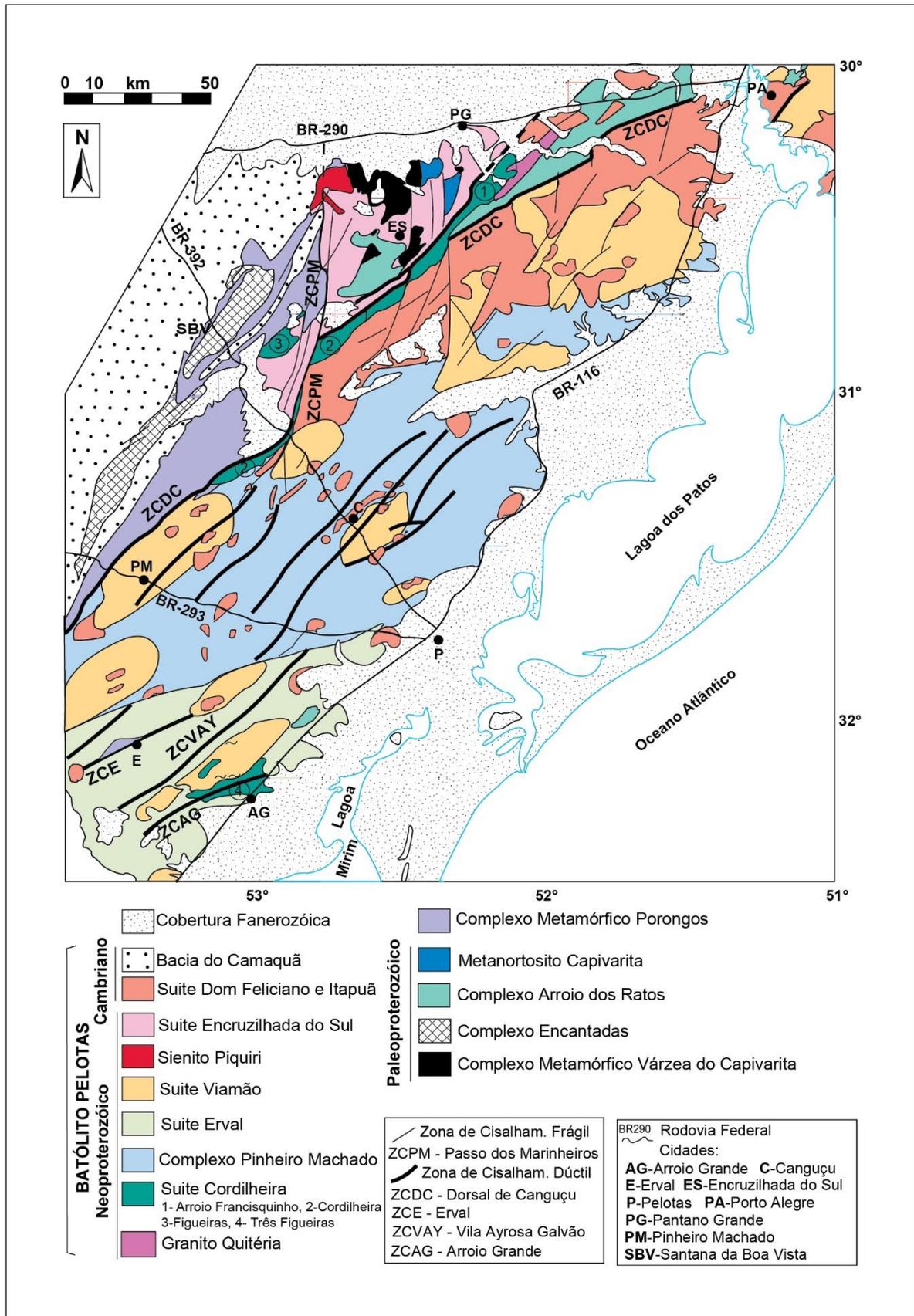


Figura 5. Mapa geológico do Batólito Pelotas (modificado de PHILIPP *et al.*, 2007).

3.4. Suíte Encruzilhada do Sul

A primeira designação dos granitos na região de Encruzilhada do Sul proposta por Leinz; Pinagel (1945) definiu o Granito Encruzilhada, esta denominação também foi utilizada por Picada (1971), Carraro *et al.* (1974), Willig *et al.* (1974), Wernick; Penalva (1978).

A classificação de fácies litológicas através das diferenças texturais foi relatada por Tessari; Picada (1966), os autores caracterizaram a “fácies granito grosseiro” correspondendo aos granitos porfiríticos a heterogranulares médios a grossos, a “fácies granito médio” aos equigranulares médios e a “fácies granito porfiróide” aos porfiríticos finos a médios. Devido complexidade no arranjo entre as fácies designam de Complexo Granítico Encruzilhada. Picada (1967) relata ocorrências dos enclaves cristalofílicos na “fácies granito grosseiro” e porções híbridas na “fácies granito porfiróide”.

Os granitos na região de Encruzilhada do Sul foram gerados a partir dos processos metassomáticos de granitização e migmatização em uma sequência geossinclinal sílico-aluminosa, seguidos dos processos autometassomáticos de albitização e graisenização (PICADA, 1967).

Porém modelos petrogenéticos passam a considerar eventos magmáticos, comprovando a participação de fontes mantélicas e fusões crustais na geração e evolução dos magmas graníticos.

Por não considerarem variações texturais e composicionais como justificativa para uso do termo “Complexo” Fragoso Cesar *et al.* (1986) designam de Suíte Granítica Encruzilhada do Sul. Seguindo o Guia de Nomenclatura Estratigráfica adotada pela Sociedade Brasileira de Geologia (PETRI *et al.*, 1986), Soliani Jr. (1986), Issler; Pires (1990), Vasquez (1997) designam de Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul.

Segundo Vasquez (1997) o Granito Encruzilhada do Sul é constituído das fácies petrográficas porfiríticas e equigranulares, corresponde ao maciço mais expressivo da Suíte Encruzilhada do Sul (Figura 6). A fácies porfirítica estende-se da região do Cerro da Árvore no oeste da Suíte, até as porções centrais na região de Encruzilhada do Sul. Os granitos são isótopos, excepcionalmente com orientação do fluxo magmático demarcada pelo alinhamento dos fenocristais de feldspatos, a granulometria varia de grossa no interior do maciço para fina nos bordos. A fácies equigranular estende-se da região de Várzea do Capivarita no nordeste da Suíte, até

as regiões de Delfino e Encruzilhada do Sul, onde faz contato com a fácies porfírica. O autor descreve os enclaves máficos microgranulares hospedados na fácies porfírica com tamanhos que variam entre centimétricos e métricos, formas arredondadas e menos comumente angulosas. As texturas e composições variam de microgranulares e quartzo-dioríticas, a porfíricas finas e granodioríticas a graníticas. Os enclaves máficos microgranulares hospedados na fácies equigranular mostram tamanhos centimétricos e formas arredondadas. Os tipos de contatos por vezes são gradacionais, com isto os enclaves foram digeridos pelas graníticas resultando em vestígios como as concentrações dos minerais máficos alinhados (*schlieren*).

O Granito Pitangueiras foi designado por Fernandes *et al.* (1988), definido como um corpo granítico epizonal alongado para NE, constituído de duas fácies texturais, e localmente registrando foliação milonítica. Tessari; Picada (1966) o incluíram nos migmatitos da Formação Cambaí, Frantz *et al.* (1984) no Complexo Metamórfico Várzea do Capivarita. Picada (1971) o considerou como pertencente ao Granito Encruzilhada do Sul, e Cordani *et al.* (1974) o caracterizam como a porção sin-tectônica do Granito Encruzilhada do Sul.

Segundo Vasquez (1997) o Granito Pitangueiras pertence a Suíte Encruzilhada do Sul (Figura 6), encontra-se na região de Várzea do Capivarita, com algumas ocorrências em Delfino e Encruzilhada do Sul. As relações de contato com o Granito Encruzilhada do Sul não estão bem evidentes pois nas principais zonas ocorrem os mega xenólitos do embasamento e há tectônica superimposta.

O Pitangueiras é constituído predominantemente da fácies porfírica média de composição monzogranítica. A fácies porfírica fina de composição quartzo-monzonítica ocorre nas porções híbridas e nos bordos da intrusão. Os diques intrusivos no embasamento pertencem a fácies equigranular fina a média de composição granítica, podendo representar as manifestações diferenciadas e tardias do Granito Pitangueiras (VASQUEZ, 1997). O autor descreve enclaves máficos microgranulares hospedados no Pitangueiras com tamanhos que variam entre centimétricos e métricos, as formas são arredondadas, angulosas a subangulosas assemelhando-se a *pillows*. O autor observa a possibilidade de alguns enclaves angulosos resultarem do fraturamento dos diques máficos sin-plutônicos. As composições dos enclaves máficos são quartzo-dioríticas a quartzo-monzoníticas e a textura predominante é porfírica fina com alguns termos granulares finos a muito

finos. Segundo autor, os enclaves máficos microgranulares resultam da mistura entre magmas máficos e graníticos, contemporâneos. Na mistura dos magmas também foram geradas as porções híbridas que orlam os enclaves.

O Granito Pinheiros encontra-se principalmente na região do Cerro da Árvore, individualizado por Picada; Tessari (1970) como a fácies “granito médio” do Complexo Granítico Encruzilhada. Segundo Vasquez (1997) o Pinheiros aflora como lajeados e cristas orientadas na direção N-S a N10°E com mergulhos subverticais, seguindo as direções das zonas de falhas, dos veios de quartzo, e das faixas cataclásticas demarcadas pelas clivagens impressas no granito. O autor descreve a composição do Pinheiros como sienogranítica a Kf-granítica, a textura é equigranular fina a média, subordinada porfirítica com esparsos fenocristais de quartzo e feldspato alcalino. Relata manifestações dos estágios tardi a pós-magmáticos devido ocorrência dos diques aplíticos, bolsões pegmatíticos e cavidades mirolíticas. O autor observa que o Granito Pinheiros pode representar uma variação faciológica do Granito Encruzilhada do Sul correspondendo à porção de cúpula preservada.

Os diques riolíticos são encontrados na porção central da Folha Encruzilhada do Sul, formando enxames intrusivos nos granitos e nas litologias do embasamento. Foram mapeados por Tessari; Picada (1966) que os correlacionaram às manifestações vulcânicas da Formação Acampamento Velho. Suas dimensões variam entre dezenas de metros a quilômetros de comprimento com espessuras centimétricas a métricas, orientados para NE-SW e N-S, subordinado NW-SE, coincidindo com as principais direções dos zoneamentos das falhas regionais. As texturas são constituídas pelos pórfiros de feldspatos e quartzo envoltos em matriz afanítica, termos sem pórfiros e com clastos das graníticas. Vasquez (1997) propôs que os diques riolíticos representam as manifestações magmáticas hipoabissais da Suíte Encruzilhada do Sul.

Alguns indícios geoquímicos evidenciados por Vasquez (1997) como a abundância dos elementos traços de raio iônico grande (LILE) e as razões isotópicas de Sr e Nd apontam para contribuição crustal na geração do Granito Encruzilhada do Sul, podendo resultar da fusão parcial de uma crosta inferior meta-tonalítica. Por outro lado, significativos teores dos elementos traços de alto potencial iônico (HFS) e terras raras (ETR) indicam que o magmatismo granítico pode ser derivado dos magmas mantélicos contaminados do embasamento. O autor observa que a contribuição mantélica como fonte, ou simples componente evolutiva do

magmatismo granítico é marcada pelos produtos da mistura com os magmas quartzo-dioríticos, fato este reforçado pela estreita associação temporal e espacial do Granito Encruzilhada do Sul com os magmas sieníticos que podem derivar dos magmas basálticos e traquíticos de afinidades alcalinas.

Resultados radiocronológicos Rb-Sr obtidos por Soliani Jr. (1986) apontam idades da cristalização do Granito Pitangueiras de 617 ± 10 Ma e do Granito Encruzilhada do Sul de 559 ± 5 Ma. Vasquez (1997) obteve resultados Rb-Sr no Granito Encruzilhada do Sul apontando idade pouco mais antiga, 582 ± 17 Ma, a qual corrobora à idade U-Pb em zircão de 594 ± 5 Ma obtida por Babinski *et al.* (1997).

O posicionamento da Suíte Encruzilhada do Sul foi devido a ação da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu. A tectônica impressa nos granitos apresenta caráter transicional do regime rúptil-dúctil no Granito Pitangueiras posicionado próximo da zona de cisalhamento, para rúptil no Granito Encruzilhada do Sul posicionado nas componentes extensionais da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu e reativadas pelo Sistema de Falhas Passos dos Marinheiros. A transição das condições tardi-cinemáticas para pós-cinemáticas no estágio pós-colisional do Cinturão Dom Feliciano, em um ambiente intracontinental (VASQUEZ, 1997).

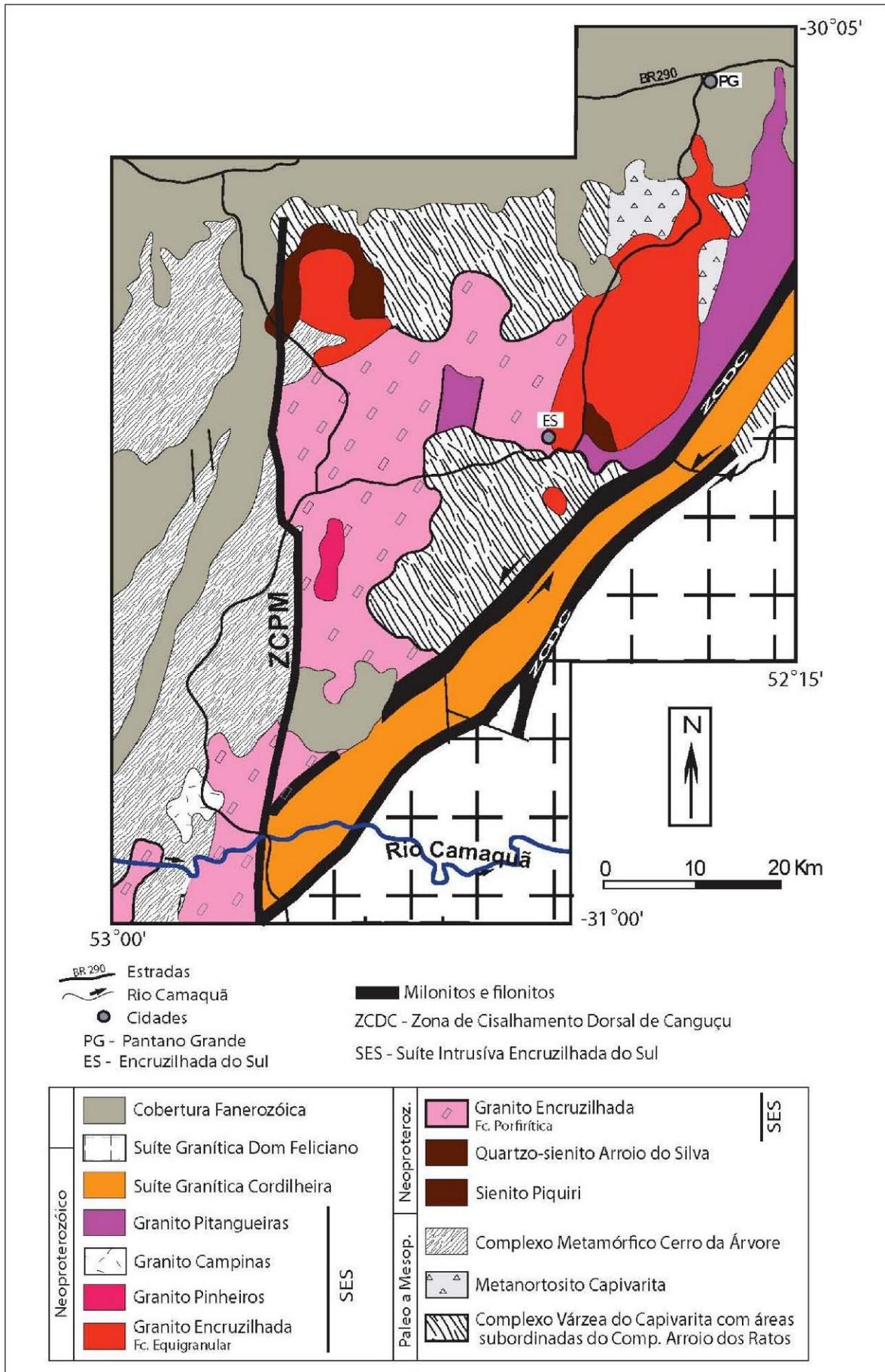


Figura 6. Mapa geológico da Suíte Encruzilhada do Sul (VASQUEZ, 1997).

4. Metodologia

Os métodos utilizados neste trabalho estão divididos nas etapas de revisão bibliográfica, mapeamento de campo, e análises no laboratório.

4.1. Revisão bibliográfica e Trabalho de campo

A revisão bibliográfica referente a Suíte Encruzilhada do Sul foi efetuada nos relatórios publicados por Vasquez (1997), Ramgrab *et al.* (1997), Ventzke (2007) e pelas disciplinas de Mapeamento Geológico I e II do curso de Geologia da UFRGS (2009, 2010, 2011).

Com os mapas geológicos disponibilizados por Vasquez (1997), Ventzke (2007), Wildner *et al.* (2007), UFRGS (2008, 2009, 2010, 2011), caracterizou-se a abrangência dos granitos, das litologias máficas e faixas dos granitóides híbridos. A partir disto se elaborou os perfis geológicos seguidos durante o mapeamento de campo.

Nos trabalhos de campo descreveu-se 16 pontos identificados com as iniciais MJ, estes foram locados com GPS - *Global Positioning System*, georreferenciados na Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). Fez-se relato fotográfico e croquis esquemáticos das feições relevantes, e foram coletadas amostras para análise em laboratório.

Integrando os pontos descritos pela pesquisa e os mapas geológicos citados acima, confeccionou-se os mapas geológicos da Suíte Encruzilhada do Sul e da parte do contexto regional. Os softwares utilizados foram *ArcGis* e *Adobe Illustrator*.

4.2. Petrografia

Das litologias máficas foram selecionadas 12 amostras para confecção das lâminas petrográficas, e se obteve 28 lâminas dos projetos realizados por UFRGS (2009, 2010, 2011). A descrição foi feita com microscópio óptico binocular de luz transmitida e refletida, marca MEIJI, no Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da UFRGS.

As análises petrográficas com base nas recomendações da IUGS - *International Union of Geological Sciences*, Streckeisen (1976) e Hibbard (1995) objetivaram caracterizar as estruturas, texturas, tamanho e arranjo cristalino, as composições modais a partir do diagrama QAP, a descrição específica de cada mineral, a identificação dos minerais acessórios, evidências da mistura dos magmas,

dentre outros. Para ilustrar feições diagnósticas editou-se fotomicrografias em luz polarizada.

4.3. Geoquímica

Para a análise da composição química selecionou-se 27 amostras inéditas identificadas com as iniciais MJ, 8 amostras dos dioritos, 10 amostras dos enclaves máficos microgranulares e 9 amostras dos granitóides híbridos. Os processos de britagem até frações centimétricas, quarteá-las e armazená-las nas embalagens identificadas foram realizados no Laboratório de Apoio Analítico e Preparação das Amostras, do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da UFRGS. Após o material foi enviado para Acme Analítica Laboratórios Ltda., na cidade de Aparecida de Goiás, estado de Goiás, onde foram analisadas por espectrometria em teor total da rocha.

Pela técnica ICP-ES (*Inductively Coupled Plasma - Emission Spectrometry*) determinou-se os elementos maiores com limite da detecção de 0,01 % e alguns traços (Sc, Be, V, Ba, Sr, Y e Zr) com detecção de 1 a 5 ppm, e pela técnica ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry*) determinou-se os demais elementos traços e os terras raras com limite da detecção de 0,005 a 2 ppm.

Aos dados adquiridos foram somados os resultados publicados na pesquisa de Vasquez (1997) referentes a 15 amostras da fácies porfírica e 7 amostras da fácies equigranular do Granito Encruzilhada do Sul, 9 amostras do Granito Pitangueiras, 7 amostras do Granito Pinheiros, 11 amostras dos granitóides híbridos e 9 amostras dos enclaves máficos microgranulares. A pesquisa considera o Pitangueiras como a fácies porfírica fina a média do Granito Encruzilhada do Sul situada na porção nordeste do maciço. O Pinheiros é considerado como a fácies equigranular do Granito Encruzilhada do Sul. A localização dos pontos amostrados e suas procedências encontram-se na figura 2 e na tabela 1 do anexo.

Analisou-se então o conjunto de amostras, tabela 2 do anexo, por meio de planilhas no Excel®, gráficos e diagramas no aplicativo do *Geo Chemical Data Tool Kit* (GCDkit) de Janousek *et al.* (2006). Na investigação do magmatismo máfico e granítico da Suíte a interpretação nos dados químicos integrada às observações no campo e estudos petrográficos é importante ferramenta na compreensão do comportamento das diferentes composições elementares, possibilitando caracterizar as séries magmáticas, os processos de misturas dos magmas, dentre outros.

Capítulo II

Carta de recebimento do manuscrito submetido para a Revista Pesquisas em Geociências



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pesquisas em Geociências

Porto Alegre, 09 de março de 2017.

Ao Maciel Gilmar Jacobs e colaboradores

Venho comunicar o recebimento do manuscrito listado, submetido para publicação em *Pesquisas em Geociências*, órgão de divulgação científica editado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Manuscrito 669: Magmatismo mágico associado ao Granite Encruzilhada do Sul, RS: significado tectônico e importância para a geração do magmatismo granítico.
Autores: Maciel Gilmar Jacobs, Ruy Paulo Philipp, Edinei Koester & Lauro V. S. Nardi.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Paulo Alves de Souza - Editor Chefe

**Magmatismo máfico associado ao Granito Encruzilhada do Sul, RS:
significado tectônico e importância para a geração do magmatismo
granítico**

**(Mafic magmatism associated with Encruzilhada do Sul Granite, RS:
meaning and tectonic significance for the generation of granitic
magmatism)**

Maciel Gilmar JACOBS¹, Ruy Paulo PHILIPP², Edinei KOESTER², Lauro V.S. NARDI²

⁽¹⁾ Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: maciel.jacobs@ufrgs.br

⁽²⁾ Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: ruy.philipp@ufrgs.br, edinei.koester@ufrgs.br, lauro.nardi@ufrgs.br

Resumo. A integração de mapeamento geológico com estudos petrográficos e geoquímicos permitiram caracterizar a evolução petrológica do Granito Encruzilhada do Sul. Este maciço ocorre na parte norte do Batólito Pelotas, porção leste do Cinturão Dom Feliciano. O Granito Encruzilhada do Sul apresenta relações de mistura química com a formação dos granitóides híbridos e física com rochas máficas representadas por dioritos e enclaves máficos. Os dados geoquímicos mostram a afinidade toleítica do magmatismo máfico e classifica as rochas graníticas como do tipo-A. A zonação petrográfica e composicional foi gerada a partir do resfriamento de uma única câmara magmática, caracterizada por monzogranitos porfiríticos ricos em enclaves máficos nos bordos leste e oeste, gradando para sienos monzogranitos ricos em quartzo e com baixo teor de minerais máficos na porção central. Uma fácies de sienogranitos tardios ocorre na porção centro-norte e representa a cúpula parcialmente preservada do maciço. O posicionamento do granito foi controlado por uma fase cinemática extensional da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu, que permitiu a ascensão dos magmas até sua colocação em níveis superiores da crosta. Os dados obtidos sugerem que a geração da suíte ocorreu no período pós-colisional da orogênese Dom Feliciano, associada à fusão parcial de uma crosta granulítica desidratada, promovida pelo aumento do gradiente geotérmico associado aos magmas máficos. As condições de alta temperatura dos magmas permitiram em estágio precoce da cristalização, a mistura química entre pólos félsico e máfico. A evolução da cristalização, entretanto, modifica a viscosidade e densidade dos magmas e favorece o desenvolvimento de estruturas geradas pela mistura física.

Palavras chave: Cinturão Dom Feliciano, Batólito Pelotas, Suíte Encruzilhada do Sul, Magmatismo Toleítico pós-colisional, Granitos tipo-A, Mistura de Magmas.

Abstract. The integration of geological mapping, petrographic and geochemical studies allowed the characterization of the petrological evolution of the Encruzilhada do Sul Granite. This massif occurs in the northern part of the Pelotas Batholith, eastern portion of the Dom Feliciano Belt. The Encruzilhada do Sul Granite present chemical mixing relations with the formation of hybrid granitoids and physical mixing with mafic rocks represented by diorites and mafic microgranular enclaves. Geochemical data indicate the tholeiitic composition of mafic

magmatism and that granitic rocks are A-type. The petrographic and compositional pattern zonation generated from a single cooling magma chamber and defined by porphyritic monzo to granodiorite, rich in mafic enclaves, on the eastern and western border, transitioning to heterogranular syeno and monzogranites, rich in quartz and poor in mafic minerals in the central portion. An equigranular facies composed by syenogranites occurs in the northern central portion, representing the partially preserved top of the magma chamber. The emplacement of the granite was controlled by an extensional kinematic phase of the regional Dorsal do Canguçu Shear Zone, which allowed the rise of magmas up to superior levels of a crust. The data suggest that the generation of the suite took place in the post-collisional period of Dom Feliciano orogeny and was associated with partial melting of a granulite crust promoted by increased of the geothermal gradient by the mafic magmas from the mantle. The high temperature conditions of the magmas allowed the chemical mixing between felsic and mafic poles at an early stage of crystallization. The evolution of crystallization modified the viscosity and density of the magmas and favors the development of mingling structures.

Keywords: Dom Feliciano Belt, Pelotas Batholith, Encruzilhada do Sul Suite, Tholeiitic Post-Collisional Magmatism, A-type Granitoids, Magma Mixing.

1 Introdução

A presença de rochas ígneas máficas associadas ao magmatismo granítico é frequente em suítes e complexos graníticos expostos nos grandes batólitos graníticos vinculados a cinturões orogênicos, como os batólitos Costeiro (Peru), Peninsular Ranges, Sierra Nevada e White Mountains (EUA), entre outros (Cobbing & Pitcher, 1972; Atherton *et al.*, 1979; Vernon *et al.*, 1983, 1986; Eby *et al.*, 1992; Pitcher, 1993; Chappell, 1996). Na porção sul da Província Mantiqueira e no Uruguai o magmatismo máfico também foi descrito como um importante componente relacionado ao magmatismo granítico que constitui os batólitos Pelotas, Florianópolis e Aiguá (Bitencourt & Nardi, 1993, 2000; Philipp *et al.*, 2000, 2003; Philipp & Machado, 2005; Oyhantçabal *et al.*, 2007; Bitencourt *et al.*, 2008).

Na região sul do Brasil, o desenvolvimento do Ciclo Orogênico Brasileiro está associado à construção do Cinturão Dom Feliciano, um orógeno de dimensões continentais, situado entre fragmentos continentais paleoproterozóicos. Este processo envolveu intensa movimentação tectônica com regimes de subducção de crosta oceânica, colisões continentais e eventos tardi a pós-colisionais com intenso magmatismo. O Cinturão Dom Feliciano mostra forma alongada na direção NE-SW, é constituído no RS pelos Terrenos São Gabriel e Tijucas e pelo Batólito Pelotas. Estas unidades estão limitadas por zonas de cisalhamento dúcteis e encontram-se parcialmente recobertas pelas rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Camaquã. A evolução final do cinturão ocasionou a formação do Batólito Pelotas, constituindo diversas suítes graníticas (Philipp *et al.*, 2000; Philipp & Machado, 2005). A construção do batólito ocorreu entre 650 e 550 Ma, com início relacionado ao metamorfismo

colisional, e principalmente durante o período tardi a pós-colisional (Bitencourt & Nardi, 2000; Philipp *et al.*, 2000, 2003; Koester *et al.*, 2001; Frantz *et al.*, 2003).

A geração e o posicionamento das suítes graníticas se relacionam a intensa atividade tectônica associada ao desenvolvimento e as movimentações das zonas de cisalhamento de escala crustal, oblíquas e transcorrentes com cinemática predominantemente sinistral, dispostas ao longo do Batólito Pelotas em um padrão anastomosado de orientação geral NE-SW (Fernandes *et al.*, 1992; Bitencourt & Nardi, 1993, 2000; Philipp *et al.*, 1993, 2003). O aumento do gradiente geotérmico e o alívio de pressão relacionado às fases de movimentação das zonas de cisalhamento dúcteis ocasionaram a fusão parcial do topo do manto e da base da crosta continental. As fusões crustais interagiram com magmas máficos juvenis e constituíram as suítes graníticas associadas com corpos dioríticos e gabróicos, enclaves máficos microgranulares, diques máficos sin-plutônicos e granitóides híbridos (Philipp *et al.*, 1998, 2000, 2003, 2007; Bitencourt & Nardi, 2000; Nardi & Bitencourt, 2007).

A Suíte Encruzilhada do Sul (SES) ocorre na porção nordeste do Batólito Pelotas e constitui um corpo alongado na direção NE-SW, composto principalmente pelo Granito Encruzilhado do Sul, contendo rochas máficas contemporâneas, como os corpos de dioritos e os enclaves máficos microgranulares, além das faixas dos granitóides híbridos. O objetivo desta pesquisa é caracterizar a petrologia do magmatismo máfico associado ao Granito Encruzilhado do Sul, com base nos dados de campo, análise petrográfica e geoquímica, e no estudo dos processos de mistura química e física entre os magmas.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Geologia Regional

O Escudo Sul-Rio-Grandense é constituído por associações de rochas metamórficas, ígneas e sedimentares dispostas em um complexo arranjo tectônico e estratigráfico, constituindo duas unidades principais: (i) o Terreno Taquarembó e (ii) o Cinturão Dom Feliciano (Philipp *et al.*, 2016b). O primeiro terreno é um fragmento de uma unidade maior denominada Microcontinente ou Terreno Nico Perez, e representa o embasamento do cinturão (Oyhantçabal *et al.*, 2011; Rapela *et al.*, 2011; Philipp *et al.*, 2016b). O Cinturão Dom Feliciano (CDF) é constituído pelos terrenos São Gabriel, Tijucas, Punta del Este e Rocha, e pelos Batólitos Florianópolis, Pelotas e Aiguá, a qual representa um orógeno com uma longa e complexa evolução com cerca de 450 Ma (Chemale Jr., 2000; Hartmann *et al.*, 2007; Philipp *et al.*, 2016b) (Fig. 1).

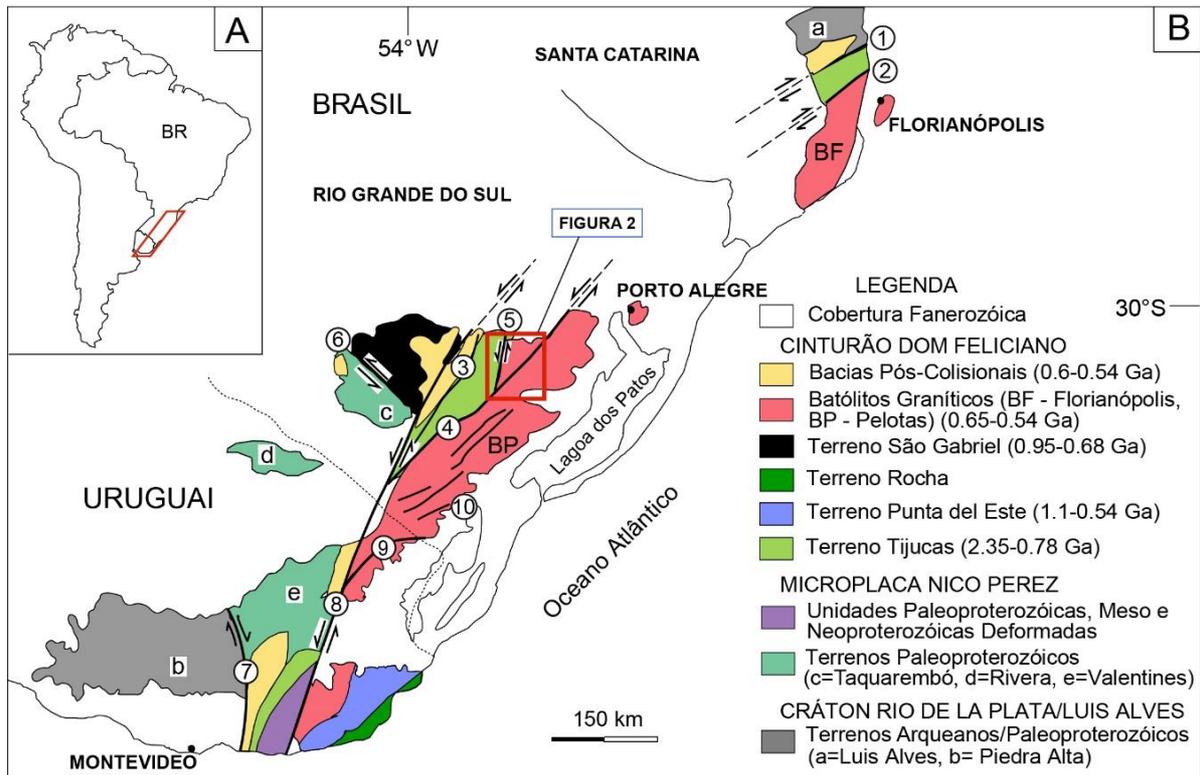


Figura 1. A) Localização do Cinturão Dom Feliciano na América do Sul; B). Principais unidades geotectônicas do Cinturão Dom Feliciano e do seu embasamento. A área de estudo está destacada pelo retângulo vermelho. Principais Zonas de Cisalhamento Transcorrentes: 1) Itajaí-Perimbó, 2) Major Gercino, 3) Caçapava do Sul, 4) Dorsal de Canguçu, 5) Passo dos Marinheiros, 6) Ibaré, 7) Sarandí del Yí, 8) Sierra Ballena, 9) Laguna Rocha, 10) Arroio Grande (modificado de Oyhantçabal *et al.* 2009, Rapela *et al.* 2011, Philipp *et al.* 2016).

*Figure 1. A) Location of the Dom Feliciano Belt in South America; B) Main geotectonic units of the Dom Feliciano Belt and its basement. The study area is highlighted by the red rectangle. Main Shear Zones Transcurrent: 1) Itajaí-Perimbó, 2) Major Gercino, 3) Caçapava do Sul, 4) Dorsal de Canguçu, 5) Passo dos Marinheiros, 6) Ibaré, 7) Sarandí del Yí, 8) Sierra Ballena, 9) Laguna Rocha, 10) Arroio Grande (modified from Oyhantçabal *et al.* 2000, Rapela *et al.* 2011, Philipp *et al.* 2016).*

No Rio Grande do Sul, o embasamento do cinturão está preservado nos complexos ortognáissicos de idade paleoproterozóica Santa Maria Chico, Encantadas, Arroio dos Ratos e Vigia. A construção do CDF ao longo da margem continental do Terreno Nico Perez foi precedida pela fragmentação do continente Rodínia a cerca de 1,0 Ga, separando este terreno do Cráton Rio de La Plata através do oceano Charrua. Ao leste do Terreno Nico Perez, o

Oceano Adamastor separava esta unidade do Cráton do Kalahari, situado na porção sul da África (Philipp *et al.*, 2016b). A destruição do Oceano Charrua e a convergência entre o Cráton Rio de La Plata e o Terreno Nico Perez entre 900 e 700 Ma, representou o início da construção do CDF, com a formação de arcos intra-oceânicos na orogênese Passinho (900-860 Ma) e de margem continental na orogênese São Gabriel (760-680 Ma), preservados no Terreno São Gabriel através de associações metavulcano-sedimentares e metaplutônicas (Chemale Jr., 2000; Hartmann *et al.*, 2007; Saalman *et al.*, 2010; Philipp *et al.*, 2016b).

A evolução final do cinturão envolveu o desenvolvimento da orogênese Dom Feliciano (650-550 Ma), culminando em um evento de metamorfismo regional associado à colisão dos crátons Rio de La Plata e Kalahari, entre 650 e 620 Ma (Chemale Jr. *et al.*, 2011; Gregory *et al.*, 2015; Philipp *et al.*, 2016a, 2016b). Posterior ao pico do metamorfismo colisional seguiu-se uma intensa granitogênese de caráter tardi a pós-colisional (Philipp *et al.*, 1998, 2000, 2007; Bitencourt & Nardi, 2000; Philipp & Machado, 2005). A fusão do embasamento gnáissico durante o metamorfismo colisional foi responsável pela formação do Metagranito Quitéria e dos granitos peraluminosos da Suíte Cordilheira. A geração do Metagranito Quitéria está associada a interação de um magmatismo máfico sobre os ortognaisses do Complexo Arroio dos Ratos, enquanto os granitos da Suíte Cordilheira são relacionados a fusão parcial dos gnaisses pelíticos do Complexo Várzea do Capivarita (Koester *et al.*, 2001; Philipp *et al.*, 2013, 2016a). Após o pico do metamorfismo colisional, entre 650 e 620 Ma, seguiu-se uma intensa granitogênese de caráter tardi-colisional que inclui os granitóides do Complexo Pinheiro Machado e da Suíte Viamão (Philipp *et al.*, 1998, 2000, 2003; Philipp & Machado, 2005). A evolução final do batólito, entre 610 e 550 Ma, está relacionada a geração das suítes graníticas de caráter pós-colisional, incluindo as suítes Erval, Piquiri, Encruzilhada do Sul e Dom Feliciano.

O Batólito Pelotas tem forma alongada segundo a direção NE-SW, com cerca de 370 km de comprimento e largura variando entre 110 e 70 km. Apresenta continuidade para norte em Santa Catarina, constituindo o Batólito Florianópolis, e para o sul, no Uruguai, compondo o Batólito Aiguá (Philipp *et al.*, 2000, 2007; Oyhantçabal *et al.*, 2007; Bitencourt *et al.*, 2008). A geração do Batólito Pelotas resulta de distintos processos tectônicos e foram postulados modelos envolvendo a subducção de litosfera oceânica em margem continental espessa (Fragoso Cesar *et al.*, 1986; Figueiredo *et al.*, 1990; Philipp *et al.*, 1990, 1993, 1998, 2000), colisão entre continentes (Hartmann, 2000; Philipp & Machado, 2001) e uma evolução em ambiente predominantemente pós-colisional (Bitencourt & Nardi, 2000; Nardi & Bitencourt, 2007).

A Suíte Encruzilhada do Sul (SES), situada no nordeste do Batólito Pelotas, é composta pelo Granito Encruzilhada do Sul e enclaves máficos microgranulares, além dos granitóides híbridos gerados pela mistura entre os magmas mantélicos e crustais (Fig. 2).

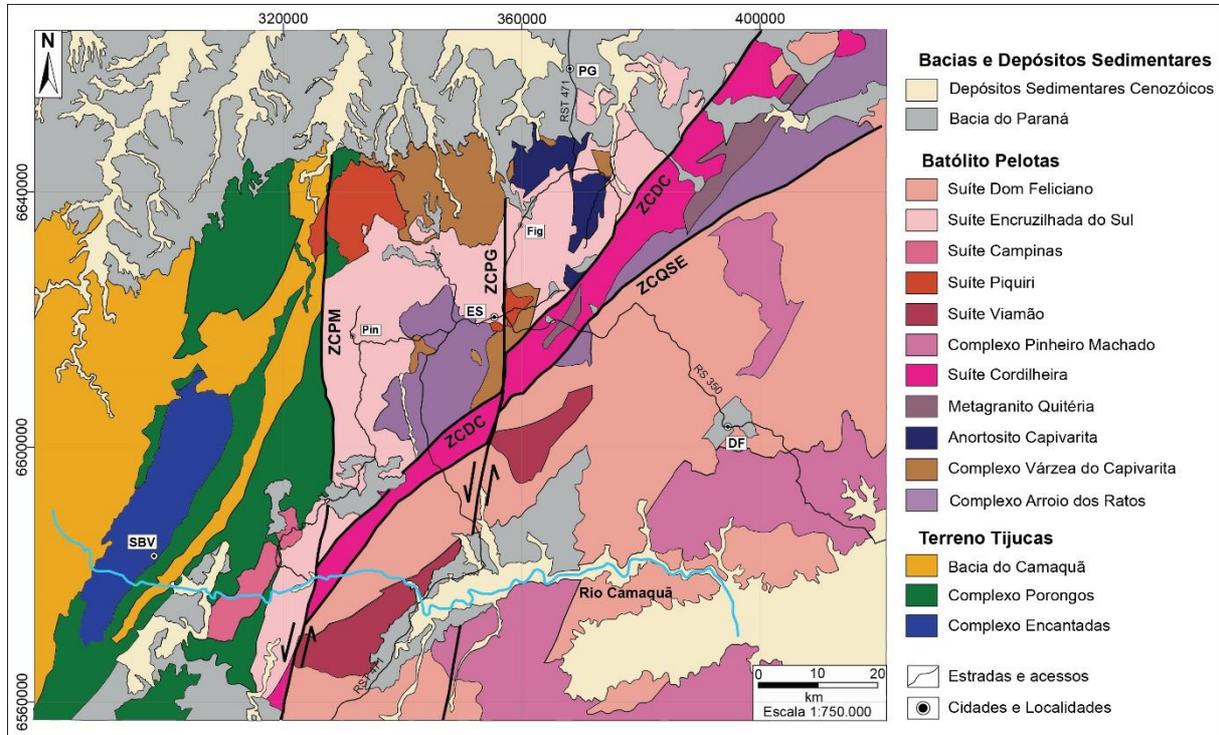


Figura 2. Contexto geológico da Suíte Encruzilhada do Sul (modificado de Wildner *et al.* 2007). Zonas de cisalhamento transcorrentes: ZCDC: Dorsal de Canguçu, ZCPM: Passo dos Marinheiros, ZCPG: Pântano Grande, ZCQSE: Quitéria-Serra do Eral. Cidades: ES: Encruzilhada do Sul, DF: Dom Feliciano, PG: Pântano Grande, SBV: Santana da Boa Vista. Vilas: Pin: Pinheiros, Fig: Figueiras.

Figure 2. Geological context of the Encruzilhada do Sul Suite (modified from Wildner et al. 2007). Transcurrent shear zones: ZCDC: Dorsal de Canguçu, ZCPM: Passo dos Marinheiros, ZCPG: Pântano Grande, ZCQSE: Quitéria-Serra do Eral. Cities: ES: Encruzilhada do Sul, DF: Dom Feliciano, PG: Pântano Grande, SBV: Santana da Boa Vista. Villas: Pin: Pinheiros, Fig: Figueiras.

A definição estratigráfica das unidades da região de Encruzilhada do Sul teve início com os mapeamentos regionais realizados por Tessari & Picada (1966), Picada & Tessari (1970). Trabalhos de Vasquez (1997), Bitencourt *et al.* (1993) investigaram a composição geoquímica e isotópica dos magmas graníticos e caracterizaram os processos de mistura com os magmas máficos. Philipp & Campos (2005) avaliaram o significado petrológico das fácies

petrográficas do Granito Encruzilhada do Sul e suas consequências no aproveitamento do granito como rocha ornamental. O reconhecimento de fácies foi ressaltado por Tessari & Picada (1966) que destacam nas fácies finas e pegmatóides do granito, na região de Pinheiros (Minas Sanga Negra e Cerro da Árvore), ocorrências pontuais de *greisens* com cassiterita, wolframita e fluorita.

Os granitos da SES estão em contato tectônico ao leste com os granitos peraluminosos da Suíte Cordilheira (Koester *et al.*, 2001) constituída pelos granitos Arroio Francisquinho e Cordilheira, com idades U-Pb SHRIMP em zircão de 634 ± 6 Ma e 625 ± 6 Ma (Frantz *et al.*, 2003) (Fig. 2). O contato da SES com os metassedimentos do Complexo Porongos a oeste é tectônico, definido pela Zona de Cisalhamento Passo dos Marinheiros. Este contato é afetado pela movimentação da zona de cisalhamento de cinemática transcorrente e movimentação lateral esquerda, que desloca o corpo granítico e a ZCDC por cerca de 130 km (Picada, 1971). Ao norte os granitos da SES são recobertos por rochas sedimentares da Formação Rio Bonito, do Grupo Guatá, pertencente à Bacia do Paraná.

O embasamento da SES é constituído pelos gnaisses dos complexos Arroio dos Ratos e Várzea do Capivarita, e pelo Meta-anortosito Capivarita (Fig. 2). Estas unidades foram afetadas pelo metamorfismo orogênico entre 650 e 620 Ma, em um regime tectônico colisional associado a cavalgamentos tangenciais na crosta, em condições da Fácies Granulito e pressões intermediárias (8 a 10 Kbares) (Philipp *et al.* 2013). O Complexo Arroio dos Ratos foi descrito por Gregory *et al.* (2011) na região de Quitéria como um conjunto de gnaisses tonalíticos e granodioríticos com diques sin-plutônicos intrusivos de metatonalitos a metadioritos, ambos de idade Paleoproterozóica, originados em ambiente de arco continental. O Complexo Várzea do Capivarita é composto por gnaisses pelíticos, com ocorrência subordinada de gnaisses cálcico-silicáticos, mármore, gnaisses quartzo-feldspáticos e raros quartzitos (Bom *et al.*, 2014). No metamorfismo regional os gnaisses pelíticos sofreram migmatização e foram gerados os corpos leucograníticos peraluminosos posicionados em concordância estrutural ao bandamento dos gnaisses (Philipp *et al.*, 2016a). Entre estes se destaca o Granito Butiá, um silimanita-muscovita-biotita leucogranito equigranular, com idade U-Pb em monazita de 629 ± 28 Ma (Bitencourt *et al.*, 2015). O Meta-anortosito Capivarita compreende corpos de anortositos, com presença subordinada de anfibolitos com idades de cristalização U-Pb em zircão de 1573 ± 21 Ma (Chemale Jr. *et al.*, 2011).

Os mapeamentos em escala 1:25.000 desenvolvidos por UFRGS (2008, 2009, 2010, 2011) indicaram que os granitos da SES contêm megaxenólitos, *roof pendants* e xenólitos menores dos complexos Arroio dos Ratos e Várzea do Capivarita, e do Meta-anortosito

Capivarita. Além da presença de uma margem resfriada caracterizada pela ocorrência dos granitos da fácies equigranular fina no contato contra as rochas do embasamento.

Nas porções centrais do maciço ao norte e ao sul o granito é intrusivo nos gnaisses pelíticos e calci-silicáticos do Complexo Várzea do Capivarita e nos ortognaisses do Complexo Arroio dos Ratos, na porção nordeste o granito é intrusivo no Meta-anortosito Capivarita (Philipp & Campos, 2005; Philipp *et al.*, 2010; Martil *et al.*, 2011). Em todas estas unidades a intrusão causa efeitos termais, caracterizados por um amplo retrometamorfismo.

O magmatismo pós-colisional de natureza alcalina ultra-potássica está representado pelos sienitos da Suíte Piquiri (Fig. 2), com idades Pb-Pb TIMS em 611 ± 3 Ma e 612 ± 3 Ma (Philipp *et al.*, 2002). A presença de fragmentos angulosos do Sienito Piquiri no interior do Granito Encruzilhada do Sul e a ocorrência de diques graníticos cortando a referida unidade atestam o caráter intrusivo do granito (Bitencourt *et al.*, 1993; UFRGS, 2008, 2009).

A cristalização dos granitos da SES ocorreu no período tardio do regime pós-colisional, apresentando uma idade Rb-Sr_{RT} de 582 ± 17 Ma (Vasquez, 1997) e U-Pb TIMS de 594 ± 5 Ma (Babinski *et al.*, 1997). Os dados de Sr^{87}/Sr^{86} obtidos para o Granito Encruzilhada do Sul apresentaram uma razão inicial de valores 0,71152, indicando a participação de fontes crustais para o magmatismo granítico (Babinski *et al.*, 1997). Os autores confirmaram esta fonte com a composição isotópica de Sm-Nd, onde o granito apresentou um valor de $\epsilon_{Nd(t)}$ de -15,5, com uma idade T_{DM} de 2,08 Ga.

As relações estruturais e geocronológicas indicam que o posicionamento dos granitos da SES foi posterior a movimentação principal da ZCDC. Nas proximidades da zona de cisalhamento os granitos registram em áreas muito localizadas deformação no estado dúctil-rúptil, marcando reativações com o desenvolvimento de estruturas protomiloníticas concordantes a orientação da zona de cisalhamento (UFRGS 2010, 2011). A formação das zonas de cisalhamento Passo dos Marinheiros e Pântano Grande é posterior ao posicionamento da SES e originaram nos granitos a formação de brechas, cataclasitos e ultracataclasitos, além de intenso fraturamento.

2.2 Materiais e métodos

Esta pesquisa teve como base o mapeamento geológico com ênfase na geologia dos corpos dioríticos, enclaves máficos microgranulares e das faixas dos granitóides híbridos. Os levantamentos de campo incluíram a coleta de amostras para análises petrográficas e geoquímicas.

O mapa geológico na escala 1:25.000 foi obtido a partir da integração dos trabalhos de campo com as informações disponíveis em UFRGS (2008, 2009, 2010, 2011), Ventzke (2007), Wildner *et al.* (2007), Ramgrab *et al.* (1997), Vasquez (1997).

As análises petrográficas envolveram a descrição de lâminas delgadas de 18 amostras dos corpos de dioritos e enclaves máficos microgranulares e 22 amostras de rochas graníticas. A classificação petrográfica das amostras foi feita com base no diagrama QAP de Streckeisen (1976) e a descrição das feições de mistura de magmas teve como base os conceitos de Hibbard (1995).

A composição química de 27 amostras de rochas máficas e granitóides híbridos foi determinada junto ao Acme Analítica Laboratórios Ltda. As análises dos elementos maiores foram obtidas por ICP-ES (*Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry*), com limite de detecção de 0,01 %. Os elementos traços e os terras raras foram determinadas por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*), com limite de detecção entre 0,005 e 2 ppm. As análises de 58 amostras de rochas graníticas e granitóides híbridos foram obtidas por Vasquez (1997).

3 Resultados

A SES constitui um maciço granítico alongado na direção N30°E, com cerca de 55 km de comprimento e 35 km de largura. A integração dos dados de campo e petrográficos permitiram reconhecer uma zonation composicional e textural definida por fácies petrográficas dispostas de modo concêntrico e concordante à forma do maciço: (1) Fácies Porfírica de matriz fina a média nas porções das bordas nordeste e sudoeste, (2) Fácies Porfírica a Heterogranular de matriz média a grossa na porção central, (3) Fácies Equigranular média a grossa na porção central e leste do maciço e (4) Fácies Equigranular fina a média na porção central (Fig. 3). No interior das fácies foram individualizados granitóides híbridos e corpos de dioritos, com zonas ricas em enclaves máficos microgranulares. Nestas áreas observa-se a interação química (*mixing*) e física (*mingling*) entre os magmas máficos e félsicos, indicando a contemporaneidade de ambos. Nas bordas do maciço a fácies porfírica apresenta os corpos mais expressivos das rochas máficas e também as faixas mais desenvolvidas dos granitóides híbridos. Nos granitos porfíricos a heterogranulares das porções centrais a ocorrência das rochas máficas torna-se menos expressiva e dispersa, enquanto nas fácies equigranulares é restrita e ausente.

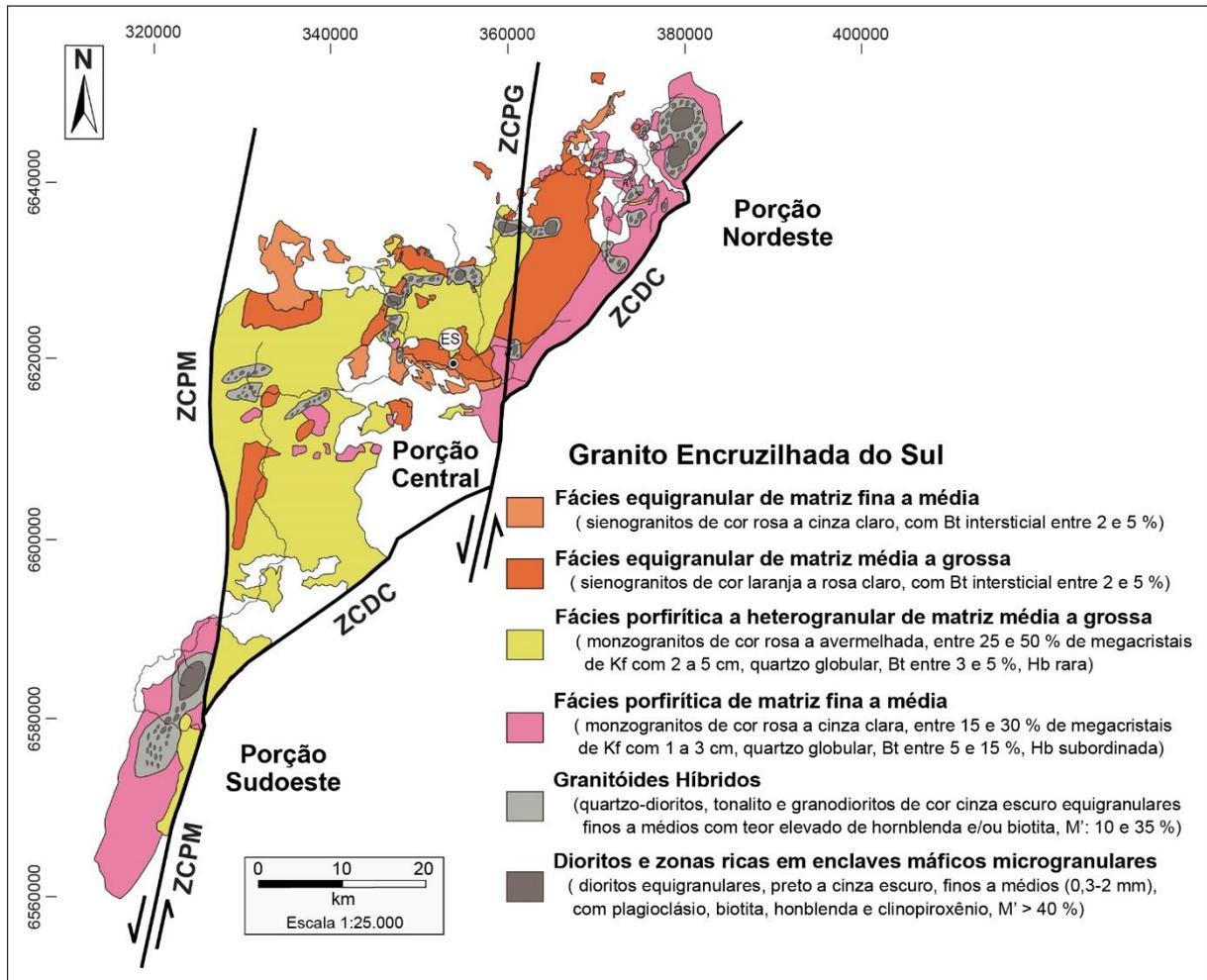


Figura 3. Mapa geológico da Suíte Encruzilhada do Sul (modificado de Vasquez, 1997, Ventzke, 2007, Wildner *et al.*, 2007 e UFRGS, 2008, 2009, 2010, 2011).

Figure 3. Geological map of the Encruzilhada do Sul Suite. (modified from Vasquez, 1997, Ventzke, 2007, Wildner et al. 2007 and UFRGS, 2008, 2009, 2010, 2011).

3.1 Geologia do Granito Encruzilhada do Sul

O Granito Encruzilhada do Sul é constituído por sieno a monzogranitos porfíricos e heterogranulares e, subordinadamente por sienogranitos equigranulares, com ocorrência comum de rochas máficas como dioritos, enclaves máficos microgranulares e as faixas métricas de granitóides híbridos (Fig. 4).

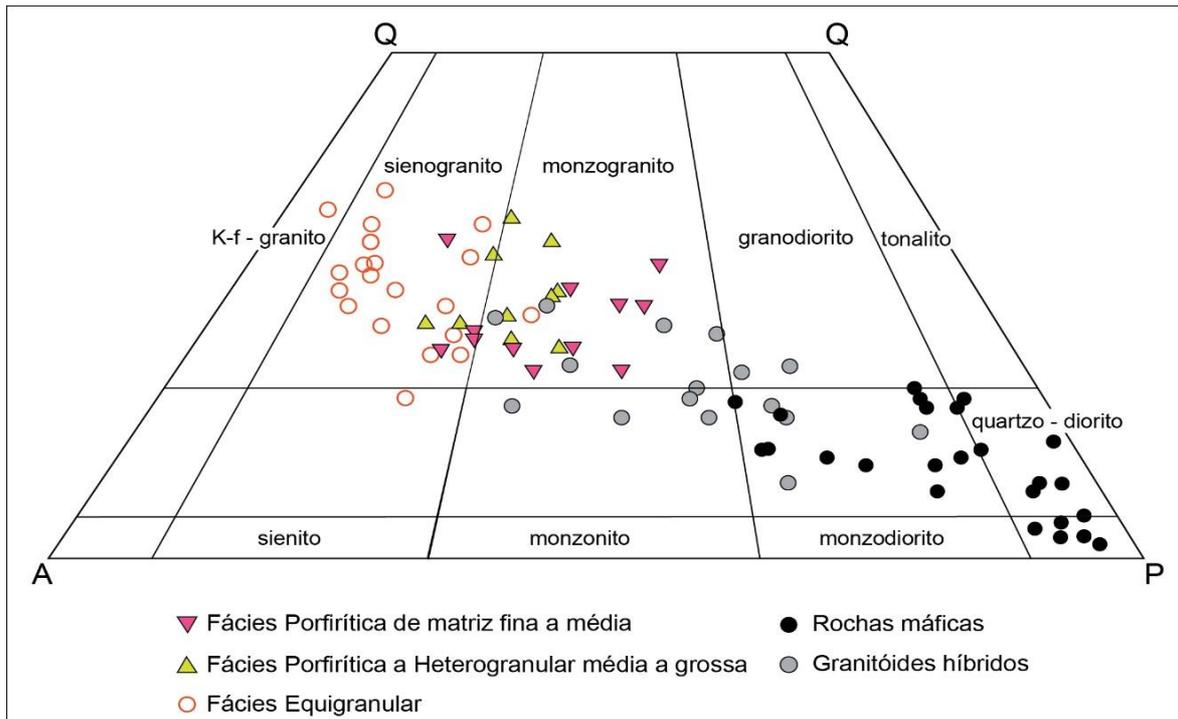


Figura 4. Classificação modal das amostras das fácies graníticas, das rochas máficas e granitóides híbridos da Suíte Encruzilhada do Sul.

Figure 4. Modal classification of samples of granite facies, mafic rocks and hybrid granitoids of Encruzilhada do Sul Suite.

Os contatos entre as fácies porfíricas e heterogranulares são interlobados, enquanto as fácies equigranulares são intrusivas nas demais. Os granitos são caracterizados pelos elevados teores de K-feldspato e quartzo, e variáveis de plagioclásio e minerais máficos. Os cristais de quartzo apresentam forma globular e facetada hexagonal. Os minerais máficos ocorrem na forma de agregados de biotita, com presença subordinada de hornblenda.

3.2 Petrografia

3.2.1 Fácies Porfírica

A fácies porfírica constitui as porções de bordo do Granito Encruzilhada do Sul, dispõe-se como uma faixa alongada envolvendo o maciço. É a fácies que apresenta maior variação composicional e textural. A composição varia de biotita monzogranitos a biotita granodioritos e em geral apresenta estrutura maciça. Localmente desenvolve uma foliação de forma caracterizada pelo alinhamento dos megacristais de K-feldspato e dos agregados de biotita. O granito tem cor cinza e pontos rosados a alaranjados, com uma textura porfírica

caracterizada por megacristais de Kf com tamanhos entre 1 e 2 cm (podendo chegar a 4 cm), em proporções variáveis entre 15 e 30 % do volume da rocha (Fig. 5A). Os megacristais têm forma prismática alongada, são euédricos a subédricos, geralmente corroídos. Mostram pertitas venulares na forma de filetes. A textura poiquilítica é caracterizada por inclusões de apatita, plagioclásio e quartzo. Próximo às rochas máficas a textura *rapakivi* foi gerada quando o sistema estava resfriando, isto induziu a nucleação e crescimento do plagioclásio nas superfícies do K-feldspato pré-existente no magma granítico, indicando a mistura de magmas. A matriz é equigranular hipidiomórfica fina a média (0,3 a 3,5 mm) constituída por plagioclásio (35 a 45 %), quartzo (25 a 30 %), K-feldspato (15 a 25 %), agregados intersticiais de biotita (5 a 15 %) e hornblenda (3 a 5 %), com zircão, apatita, alanita, magnetita e titanita como acessórios.

Nesta fácies os corpos de dioritos apresentam dezenas de metros de extensão. Os dioritos têm cor preta e textura equigranular hipidiomórfica fina a média constituída por plagioclásio, hornblenda, biotita e quartzo, com ocorrência subordinada de augita e Kf (Fig. 5B). Os enclaves máficos microgranulares mostram formas arredondadas, com dimensões de até 40 cm. A textura é equigranular hipidiomórfica fina composta por plagioclásio, hornblenda, biotita e quartzo, com rara augita e K-feldspato. Os contatos entre os enclaves máficos e os dioritos são curvilíneos e bem definidos pela variação do tamanho de grão. Também se observam contatos gradacionais e pouco definidos, indicando a pouca diferença de viscosidade entre os magmas (Fig. 5C). Os corpos máficos estão envoltos por faixas métricas de granitóides híbridos de cor cinza escura a cinza clara, com textura equigranular hipidiomórfica fina a média definida por plagioclásio, K-feldspato e quartzo, com variável teor de minerais máficos (entre 10 e 35 %).

Nas proximidades da ZCDC os granitos apresentam em áreas muito localizadas, feições de deformação dúctil, gerando faixas protomiloníticas com espessuras centimétricas a métricas. Nestas porções os porfiroclastos de K-feldspato apresentam extinção ondulante, fraturas com formação de subgrãos e bordos parcialmente recristalizados. O plagioclásio mostra encurvamento de maclas e está fraturado com formação de subgrãos com limites interlobados. Os cristais de biotita mostram encurvamento das clivagens (*kink*) e recristalização parcial para agregados de novos cristais finos alinhados segundo a foliação. O quartzo apresenta forte extinção ondulante, há formação de subgrãos com bordos serrilhados envoltos por agregados finos recristalizados com textura granoblástica. Observam-se subgrãos equidimensionais com maclas do tipo tabuleiro de xadrez indicando uma deformação de elevada temperatura.

3.2.2 Fácies Porfirítica a Heterogranular

A fácies porfirítica a heterogranular é a mais expressiva e ocorre na porção central do maciço. A cor do granito é rosa a avermelhada e bege quando alterado, com pontuações pretas, castanhas e brancas. A composição predominante é monzogranítica, subordinada sienogranítica. A estrutura é maciça, porém há porções localizadas onde a foliação de forma é definida pela orientação dimensional dos megacristais de K-feldspato e agregados de biotita. Do mesmo modo apresenta zonas de fluxo com elevada concentração dos megacristais de Kf gerando cumulos de formas alongadas e espessuras centimétricas, acompanhados por *schlieren* irregulares de biotita e hornblenda.

A textura principal é heterogranular hipidiomórfica grossa (3 a 35 mm) constituída de uma trama dominada por K-feldspato com espaços intersticiais contendo plagioclásio, quartzo globular e biotita (Fig. 5D). Os megacristais de Kf tem forma prismática, euédricos a subédricos, por vezes os vértices estão arredondados. Os tamanhos variam de 2 a 4 cm, podendo chegar a 7 cm. Predomina o microclínio, com rara ocorrência do ortoclásio, apresentam textura meso e micropertítica marcada pela ex-solução dos finos filetes de albita, e zonações concêntricas com linhas de crescimentos marcadas por trilhas de inclusões de apatita, plagioclásio, quartzo e biotita. De modo subordinado mostra textura poiquilítica com inclusão de quartzo, plagioclásio e biotita em Kf, apatita, zircão e biotita em plagioclásio, e apatita, zircão, opacos e quartzo em biotita. A mineralogia essencial é composta por K-feldspato (45 a 55 %), quartzo (25 a 30 %), plagioclásio (15 a 20 %) e biotita (3 a 5 %) com zircão, apatita, alanita, magnetita e titanita como minerais acessórios.

Nas proximidades do contato com os gnaisses do embasamento, nos granitos são encontrados xenólitos de dimensões centimétricas a métricas de silimanita-granada-biotita gnaisses e silimanita-cordierita-granada-biotita gnaisses, além de gnaisses calci-silicáticos (diopsídio-hornblenda-plagioclásio-quartzo gnaisses). Nestas porções a variação do teor de biotita no granito é grande, e pode apresentar bandamento irregular e descontínuo, milimétrico a centimétrico definido por *schlieren* de agregados de biotita reliquiares.

Os dioritos constituem corpos métricos associados aos enclaves máficos, que mostram formas globulares até irregulares. Nos enclaves as composições são variáveis de quartzo-dioríticas, tonalíticas e granodioríticas com teor de minerais máficos mais elevado que o granito (entre 7 e 35 %) (Fig. 5E). A textura é equigranular fina a média composta por uma trama de plagioclásio, hornblenda e biotita. No interior dos enclaves ocorrem xenocristais de K-feldspato corroídos, com terminações arredondadas, manteados por franjas finas de biotita

e/ou hornblenda e por plagioclásio, caracterizando respectivamente as texturas *ocelar* e *rapakivi* (Fig. 5F).

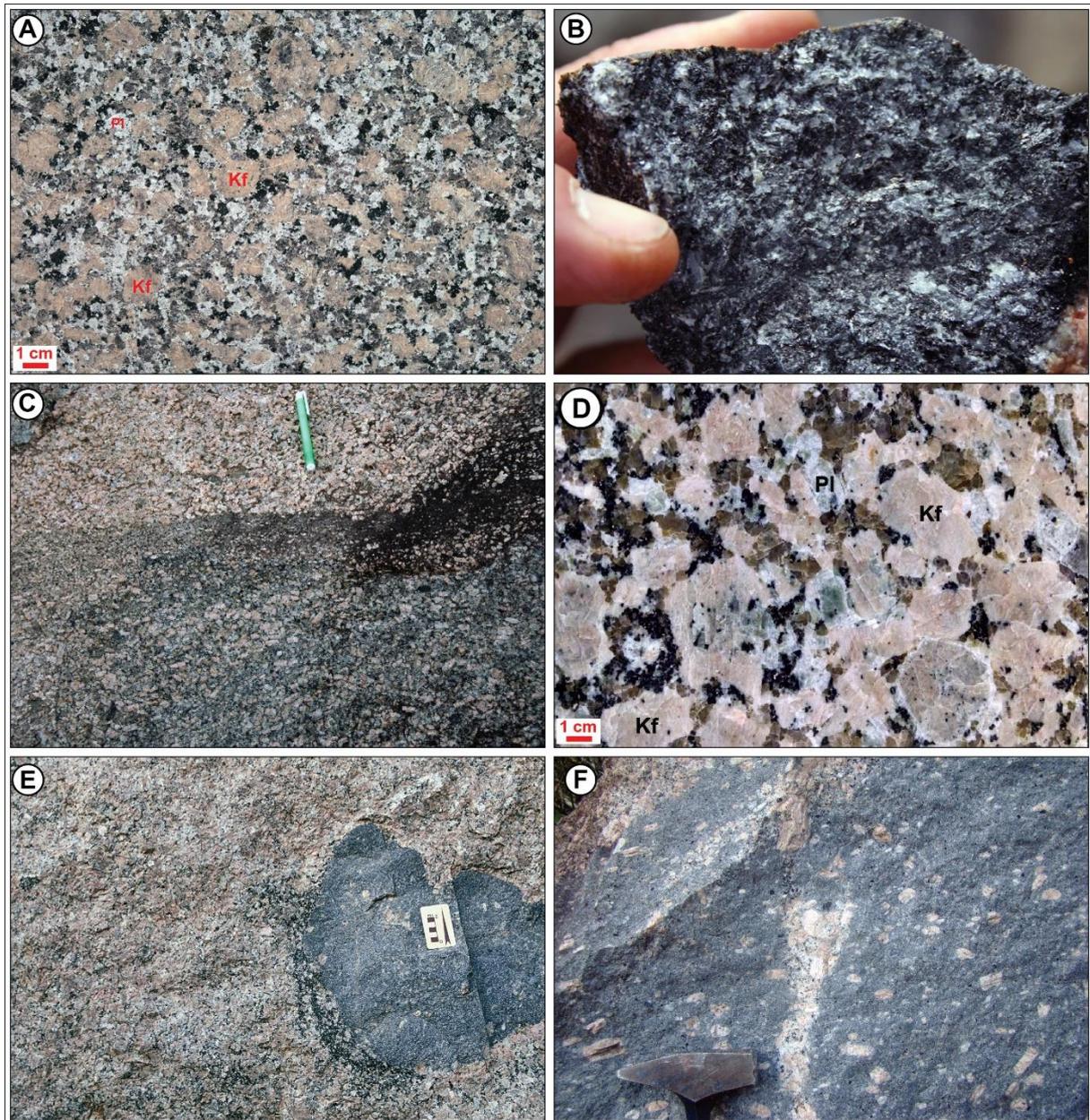


Figura 5. Aspectos macroscópicos das unidades da Suíte Encruzilhada do Sul. A) Granito porfirítico na borda nordeste; B) Diorito na borda sudoeste; C) Contato gradacional entre leucogranito porfirítico (parte superior da fotografia) e o granito porfirítico com variado teor de minerais máficos (parte inferior); D) Granito porfirítico a heterogranular na porção central, destacando cristais de plagioclásio (Pl), K-feldspato (Kf) e agregados de quartzo com forma globular; E) Enclave máfico microgranular em granito heterogranular na porção central; F) Xenocristais de K-fesldspato hospedados no enclave da porção central. Observar injeção do granito porfirítico com limites interlobados e gradacionais.

Figure 5. Macroscopic aspects of the units of the Encruzilhada do Sul Suite. A) Porphyritic granite on the northeast border; B) Diorite on the southwest border; C) Gradual contact between porphyritic leucogranite (upper part of the photograph) and porphyritic granite with varied mafic minerals content (lower part); D) Porphyritic to heterogranular granite in the central portion, highlighting plagioclase (Pl), K-feldspar (Kf) crystals and globular quartz aggregates; E) Microgranular mafic enclave in heterogranular granite in the central portion; F) Xenocrysts K-feldspato hosted in the enclave of the central portion. Observe porphyritic granite injection with interlobados and gradational boundaries.

3.2.3 Fácies Equigranular média a grossa

Esta fácies ocorre na porção central e leste do Granito Encruzilhada do Sul, é caracterizada por sienogranitos de cor laranja a rosa clara, com pontuações pretas, castanhas e brancas (Fig. 6A). Os granitos mostram grande homogeneidade composicional e textural. Há porções restritas onde encontram-se feições de misturas com os magmas máficos. Localmente apresenta foliação de forma definida pela orientação de cristais de K-feldspato e quartzo alongado. A textura é equigranular hipidiomórfica média a grossa (2 a 8 mm) dominada por cristais de K-feldspato (50 a 60 %) e quartzo (30 a 35 %), com ocorrência subordinada de plagioclásio (10 a 15 %) e biotita (2 a 5 %). Zircão, apatita, alanita, magnetita e titanita como minerais acessórios. Os intercrescimentos mirmequíticos são verificados nas interfaces dos contatos entre plagioclásio e o Kf.

3.2.4 Fácies equigranular fina a média

Os granitos desta fácies ocorrem na porção central do maciço e estão associados aos granitos da fácies equigranular média a grossa. As relações de contato são intrusivas, embora também mostrem contatos gradacionais, sugerindo que estes representam as margens resfriadas das porções apicais de cúpula parcialmente preservada. São classificados como sienogranitos, porém ocorrem termos como Kf-granitos e monzogranitos. A textura é equigranular fina a média (0,2 a 3 mm), subordinada porfírica, com esparsos megacristais de Kf envoltos por uma matriz hipidiomórfica constituída por K-feldspato (50 a 60 %), quartzo (30 a 40 %), plagioclásio (5 a 10 %) e biotita (3 a 5 %), com zircão, apatita, magnetita e titanita como minerais acessórios. Os enclaves máficos microgranulares ocorrem raramente.

3.2.5 Rochas Máficas (Dioritos, Enclaves Máficos Microgranulares) e Granitóides Híbridos Dioritos

Os Dioritos constituem corpos de formas arredondadas e alongadas segundo a direção NE-SW, com dimensões entre alguns metros a dezenas de metros. As relações de contato com as rochas graníticas são caracterizadas pelas formas interlobadas e interdigitadas evidenciando contemporaneidade dos magmas como misturas heterogêneas. Os limites dos corpos de dioritos são definidos pelas formas curvilíneas a interlobadas, ou podem ser gradacionais, ocorrendo gradação entre dioritos e zonas métricas dos granitóides híbridos de composição variável entre tonalitos, granodioritos e monzogranitos, com texturas equigranulares e elevado teor de minerais máficos. Injeções graníticas a pegmatóides no interior dos dioritos são comuns.

Os dioritos têm cor preta a cinza esverdeado, estrutura maciça e textura equigranular hipidiomórfica fina a média (0,3 a 2 mm) caracterizada por uma trama de cristais prismáticos equidimensionais de plagioclásio, e espaços intersticiais contendo agregados de hornblenda, biotita e quartzo, com ocorrência subordinada do clinopiroxênio do tipo augita e K-feldspato. Variam composicionalmente para termos quartzo-monzodioríticos e quartzo-dioríticos. Menos frequente apresentam textura porfirítica com baixa concentração dos fenocristais de plagioclásio, hornblenda e/ou clinopiroxênio. Zircão, apatita, magnetita, alanita e titanita constituem as fases acessórias (Fig. 6B).

No plagioclásio predominam as composições da andesina, com maclas polissintéticas e zonações normais definidas por núcleos cálcicos alterados para sericita, epidoto e calcita. A textura poiquilítica é caracterizada por inclusões de apatita e biotita. O anfibólio é hornblenda e ocorre como agregados de cristais prismáticos, subédricos a euédricos, contendo inclusões de apatita e titanita. Encontra-se associada ao quartzo desenvolvendo intercrescimentos do tipo simplectitos. A biotita constitui raros microfenocristais subédricos, ou encontra-se na matriz envolvendo os cristais de hornblenda. A augita com tamanhos médios de 0,2 e 3 mm forma agregados cristalinos. Algumas vezes apresenta textura coronítica sendo envolta por franjas de hornblenda, ou relações de uralitização com transformação para hornblenda evidenciando o aumento da atividade de fluídos tardi-magmáticos. Xenocristais de K-feldspato encontram-se dispersos nos corpos máficos, comumente mostram-se corroídos, nas formas arredondadas, e/ou com textura em peneira. A apatita pode constituir até 1 % do teor total da rocha, ocorre como cristais prismáticos alongados, euédricos, inclusos nos diversos minerais, também é encontrada nos interstícios cristalinos. A titanita apresenta forma losangular, subédrica, com tamanhos entre 0,2 e 0,8 mm, podendo constituir até 2 % do teor total da rocha. Frequentemente está associada a desestabilização dos cristais de anfibólio e biotita. A magnetita ocorre como cristais euédricos a anédricos, de forma octaédrica e

tamanhos inferiores a 0,2 mm, em geral encontra-se inclusa nos demais minerais. O zircão apresenta formas euédricas com seções tetragonais e tamanhos entre 0,1 mm, ocorre incluso no plagioclásio, anfibólio e biotita.

Enclaves Máficos Microgranulares

Nas porções sudoeste e nordeste, associada aos granitos da fácies porfirítica fina a média, a ocorrência dos corpos máficos é expressiva e por consequência a faixa dos granitóides híbridos é abrangente. Nas faixas híbridas encontram-se os enclaves máficos microgranulares de cores pretas a cinza escuras, como zonas alongadas e desmembradas, nas formas arredondadas, subarredondadas até angulosas, com dimensões de 10 a 40 cm. A textura dos enclaves é equigranular hipidiomórfica fina (0,1 a 2 mm) constituída do plagioclásio, hornblenda e biotita com baixos teores de quartzo, augita e K-feldspato.

Nos granitos da fácies porfirítica a heterogranular, na porção central do maciço, a abrangência dos granitóides híbridos e enclaves é reduzida, porém os enclaves continuam como zonas alongadas e desmembradas, nas formas arredondadas, subarredondadas e também irregulares, as dimensões variam de 10 cm a métricas (Fig. 6C). As composições variam entre dioríticas, quartzo-dioríticas a quartzo-monzoníticas, ocorrendo ainda tonalitos, granodioritos e monzogranitos. A textura dos enclaves mais básicos é equigranular hipidiomórfica fina (0,2 a 1 mm) com microfenocristais esparsos de plagioclásio, hornblenda e biotita. Os enclaves mais félsicos tem cor cinza clara, apresentam formas arredondadas e elípticas com dimensões entre 20 e 40 cm, com textura equigranular fina a média (0,5 a 3 mm) constituída do plagioclásio, biotita e hornblenda, com teores menores de quartzo e Kf. Também ocorre textura porfirítica com fenocristais e xenocristais de plagioclásio, K-feldspato e quartzo (Fig. 6D e E).

Dentre as feições características da contemporaneidade dos magmas observam-se mútuas intrusões com fraturas nos enclaves preenchidas por material félsico, concentrações de megacristais de K-feldspato entorno dos enclaves, bem como a migração mecânica de alguns grãos para seu interior. Os contatos dos enclaves com os granitos geralmente são bem definidos, com limites curvilíneos a interlobados. Também são observados enclaves com formas angulosas indicando que durante a intrusão o magma máfico sofreu resfriamento rápido e inversão reológica, tornando-se mais viscoso que o magma granítico.

O plagioclásio ocorre como microfenocristais prismáticos, euédricos e subédricos, com tamanhos entre 1 e 3 mm, apresentando zonações normais, as composições variam de oligoclásio a labradorita. O plagioclásio também forma aglomerados constituindo a textura

synneusis. O anfibólio é a hornblenda, prismática, euédrica e subédrica, ocorrendo em agregados ou de caráter intersticial. O clinopiroxênio ocorre como agregados de augita, os cristais são prismáticos curtos e subédricos, comumente estão envoltos por anfibólios. A biotita ocorre na matriz, é subédrica, com tamanho de 0,05 a 0,8 mm. Por vezes é encontrada como finos mantos que envolvem as superfícies dos xenocristais de feldspatos. O quartzo é amebóide e intersticial, variando entre 0,2 mm até 0,6 mm. O K-feldspato ocorre como xenocristal de microclínio, que migrou mecanicamente a partir do magma granítico. O Kf na matriz apresenta tamanhos entre 0,1 e 0,7 mm, geralmente alterado para mica branca. Destaca-se a textura *ocelar*, caracterizada pelo envolvimento dos cristais de quartzo por mantos microcristalinos de clinopiroxênio, hornblenda e/ou biotita (Fig. 6F).

Nos enclaves mais félsicos o plagioclásio ocorre como xenocristais e fenocristais prismáticos, com as bordas corroídas até formas euédricas, os tamanhos variam entre 3 a 20 mm. Na matriz os cristais são equidimensionais com até 0,4 mm. A composição varia do oligoclásio a andesina, mostram zanações oscilatórias e textura poiquilítica com inclusões de apatita e biotita. A hornblenda ocorre como agregados, os cristais são prismáticos alongados e subédricos com tamanhos inferiores a 0,6 mm. Quando alterada está substituída por cristais aciculares de actinolita e agregados de titanita. A biotita ocorre como xenocristais de tamanhos superiores a 1 mm com os bordos corroídos. Na matriz a biotita encontra-se associada ao anfibólio constituindo mantos microcristalinos entorno dos xenocristais. O quartzo ocorre como xenocristal caracterizando textura *ocelar*. O K-feldspato também é xenocristal, ocorrendo o microclínio prismático, euédrico a subédrico, com bordas corroídas até arredondadas, os tamanhos variam de 10 a 40 mm. Por vezes os xenocristais de Kf encontram-se envoltos por mantos albíticos.

Granitóides Híbridos

Os granitóides híbridos constituem faixas marginais ao redor dos corpos de dioritos ou ao redor de zonas muito ricas em enclaves máficos. Apresentam cor cinza clara a escura, com textura equigranular hipidiomórfica fina a média (0,2 a 4 mm), comumente com teor elevado de minerais máficos, entre 10 e 35 %. De modo subordinado apresentam textura porfirítica definida por fenocristais de plagioclásio e K-feldspato, envoltos por uma matriz contendo plagioclásio, quartzo, hornblenda e biotita. A mistura homogênea dos magmas é caracterizada pelos contatos gradacionais entre os granitóides híbridos e os corpos máficos.

Nas porções nordeste e centrais do maciço, os granitóides apresentam foliação magmática irregular, marcada pela orientação dos *schlieren* de biotita e hornblenda, por

agregados ricos em megacristais de Kf e pelo alongamento dos enclaves máficos microgranulares. Também podem apresentar aspecto orientado quando afetados pela tectônica dúctil-rúptil nas proximidades da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu.

O K-feldspato é o ortoclásio, ocorrendo também o microclínio, ambos micropertíticos, apresentam forma prismática subédrica, com tamanhos entre 2 e 10 mm. O plagioclásio tem tamanhos entre 1 e 6 mm, encontra-se zonado, com as bordas e os núcleos desestabilizados e corroídos caracterizando textura em peneira. A composição é variável entre oligoclásio e andesina. O quartzo mostra forma globular e facetada hexagonal, com tamanhos entre 0,1 e 0,3 mm. A hornblenda prismática e subédrica, com tamanhos entre 0,2 e 2 mm, ocorre em agregados e também intersticial. A biotita ocorre nos interstícios cristalinos e como agregados de palhetas euédricas a subédricas, os tamanhos variam de 0,1 a 1,2 mm. A augita é rara, mostra formas subédricas e tamanho médio de 0,3 mm, geralmente substituída por anfibólio. A apatita tem forma prismática alongada, euédrica e subédrica, menor que 0,1 mm, inclusa no plagioclásio, anfibólio, biotita e Kf. A titanita é euédrica e subédrica, com tamanhos de 0,2 a 0,6 mm, inclusa no Kf e no quartzo anédrico. A magnetita tem forma octaédrica com tamanhos menores que 0,2 mm. O zircão é euédrico, tetragonal nas seções basais com tamanhos inferiores a 0,1 mm.

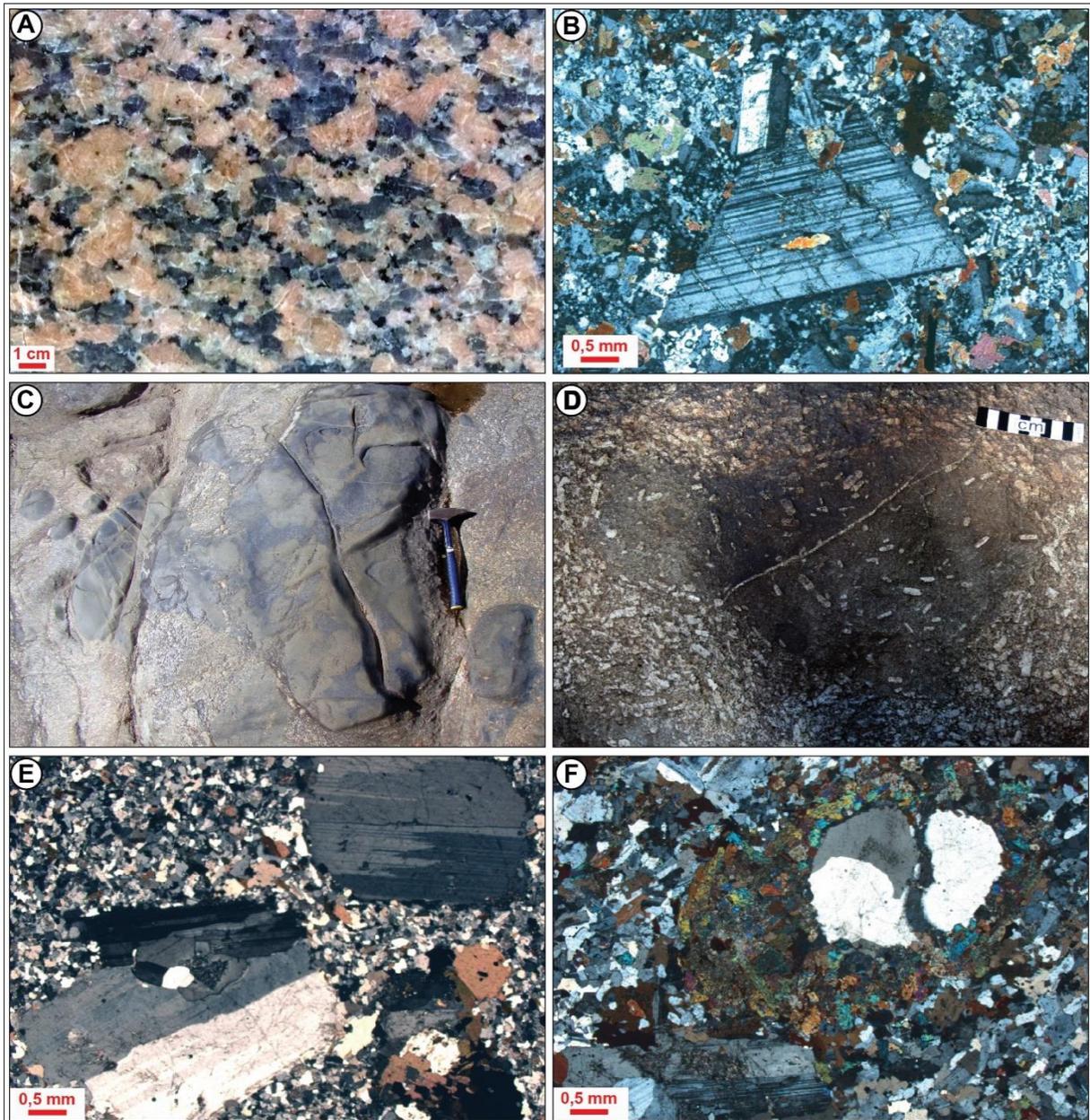


Figura 6. Aspectos macro e microscópicos do Granito Encruzilhada do Sul e das rochas máficas. A) Granito equigranular da porção centro-leste; B) Fotomicrografia de diorito na porção sudoeste, com baixos teores de quartzo (cor clara) disseminados na matriz; C) Enclaves máficos microgranulares em granito porfirítico na porção central; D) Enclave máfico microgranular nas porções centrais, com fratura preenchida por material félsico e a migração mecânica dos feldspatos para o seu interior; E) Fotomicrografia de enclave máfico microgranular na porção central destacando a granulação média e o elevado teor de quartzo na matriz; F) Xenocristal de quartzo arredondado com textura *ocelar*, manteado por franjas de clinopiroxênio (Augita).

Figure 6. Macro and microscopic aspects of the Encruzilhada do Sul Granite and the mafic rocks. A) Equigranular granite of the center-east portion; B) Photomicrography of diorite in

the southwest portion, with low quartz contents (light color) disseminated in the matrix; C) Microgranular mafic enclaves in porphyritic granite in the central portion; D) Microgranular mafic enclave in the central portions, with fracture filled by felsic material and the mechanical migration of the feldspars to its interior; E) Photomicrography of microgranular mafic enclave in the central portion highlighting the medium granulation and high quartz content in the matrix; F) Rounded xenocrystal quartz with ocellar texture, maintained by fringes of clinopyroxene (Augite).

3.3. Geoquímica

Para avaliar a composição do magmatismo máfico do Granito Encruzilhada do Sul foram analisadas 27 amostras, sendo oito amostras de dioritos, dez de enclaves máficos microgranulares e nove de granitóides híbridos (Tab.1). Foram recompilados os dados apresentados por Vasquez (1997) de nove amostras dos granitos da fácies porfirítica da borda nordeste, quinze da fácies porfirítica a heterogranular da porção central, quatorze da fácies equigranular da porção central, onze de granitóides híbridos e nove de enclaves máficos microgranulares.

A disposição das amostras no diagrama $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ vs SiO_2 (Middlemost, 1994) caracteriza uma composição rica em álcalis para todas as fácies do Granito Encruzilhada do Sul. As amostras das rochas máficas também apresentam forte enriquecimento em álcalis, as composições variam nos domínios dos monzonitos e quarto-monzonitos com monzodioritos e dioritos subordinados (Fig. 7A). De acordo com o diagrama TAS o magmatismo granítico e máfico é caracterizado como alcalino saturado em sílica e sódico. Os granitos apresentam teores elevados de SiO_2 , entre 70 e 78 %, enquanto as rochas máficas mostram no geral uma variação entre 52 e 66 %. Os granitóides híbridos apresentam teores de SiO_2 entre 61 e 74 %, demonstram superposição entre os dois pólos. A composição varia entre quartzo-monzonítica, granodiorítica e granítica. Nos diagramas FeO_T/MgO vs SiO_2 (Miyashiro, 1974) e $\text{Fe}_T + \text{Ti} - \text{Al} - \text{Mg}$ (Jensen, 1976) as rochas máficas apresentam afinidade toleítica (Fig. 7B e C). No diagrama A/NK vs A/CNK que utiliza os parâmetros de Shand (1943), observa-se que os granitos porfiríticos da borda nordeste, os porfiríticos a heterogranulares e os equigranulares médios a grossos das porções centrais são peralcalinos gradando a metaluminosos e levemente peraluminosos, enquanto os granitos equigranulares finos a médios mostram forte peraluminosidade. As rochas máficas e os granitóides híbridos são metaluminosos e constituem um *trend* único (Fig. 7D).

Tabela 1. Teores dos elementos maiores, menores e traços de 27 amostras de rochas máficas da SES.

** D - Dioritos, EM - Enclaves Máficos Microgranulares, GH - Granitóides Híbridos.

Table 1. Content of the major, minor and trace elements of 27 mafic rocks of the SES.

** D - Diorites, EM - Microgranular Mafic Enclaves, GH - Hybrid Granitoids.

Amostra	**	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs
MJ 03 A	D	43,84	14,57	14,83	5,35	8,80	2,95	1,79	4,26	2,22	0,8	99,60	18,1	57,3	740,2	36,0	166,4	29,8	7,7
MJ 04 D	D	51,37	16,42	10,08	4,75	7,16	3,60	3,05	1,97	0,57	0,5	99,65	20,2	135,5	670,3	30,8	281,3	28,1	5,3
MJ 01 D	D	51,98	16,43	12,28	1,97	3,01	4,05	3,89	1,43	0,97	3,4	99,63	27,4	89,7	652,7	34,2	450,4	65,9	2,7
MJ 04 A	D	52,34	16,11	10,56	3,42	5,78	3,35	4,39	2,18	0,82	0,5	99,61	21,5	194,0	629,3	33,3	387,7	35,8	3,4
MJ 07 A	D	52,69	16,27	9,65	6,61	7,57	2,63	1,93	1,46	0,47	0,2	99,67	16,6	61,4	549,8	26,1	216,6	16,1	1,9
MJ 07 B	D	53,48	15,21	11,06	3,97	6,89	2,96	2,81	2,12	0,76	0,2	99,62	19,4	99,5	473,7	45,0	217,4	28,9	3,9
MJ 16 A	D	57,63	14,99	9,01	3,09	5,44	3,37	3,39	1,62	0,43	0,6	99,68	21,9	157,5	343,3	52,3	381,7	32,3	2,6
MJ 12 A	EM	58,33	15,84	8,35	2,30	4,66	3,25	4,18	1,54	0,56	0,4	99,57	20,1	153,2	478,6	43,0	558,1	29,8	1,6
MJ 08 A	EM	58,52	16,00	8,49	2,67	3,88	3,79	4,17	1,44	0,58	0,7	99,61	25,0	272,6	333,5	95,8	599,0	71,5	11,2
MJ 15 A	EM	59,36	15,09	7,94	2,28	4,49	2,74	4,42	1,66	0,79	0,6	99,53	18,8	160,9	609,3	46,8	549,7	42,5	4,1
MJ 06 A	GH	60,33	15,14	6,64	3,16	4,46	3,07	5,02	1,11	0,33	0,4	99,76	20,2	239,8	308,7	28,0	233,9	24,2	6,7
MJ 05 B	EM	60,42	14,51	8,65	1,61	4,18	3,21	4,24	1,71	0,57	0,4	99,66	20,8	139,7	423,9	35,3	388,9	28,1	5,3
MJ 13 A	D	61,52	15,29	7,12	2,13	4,07	3,10	3,98	1,26	0,39	0,6	99,60	20,2	152,4	437,3	35,8	458,1	27,5	2,9
MJ 08 B	GH	63,24	15,24	6,53	1,44	2,61	3,53	4,80	1,01	0,43	0,8	99,73	20,1	280,5	257,0	42,5	334,3	26,8	5,8
MJ 04 C	GH	65,45	14,95	6,19	1,68	3,10	3,21	3,96	0,90	0,32	-0,1	99,73	23,6	153,6	393,0	30,7	315,7	21,0	4,3
MJ 01 A	EM	65,79	14,95	6,53	1,27	2,61	3,14	4,09	0,84	0,29	0,2	99,79	18,9	232,8	214,7	29,6	315,2	19,8	3,4
MJ 05 A	GH	66,79	13,93	5,84	0,97	2,55	3,03	4,85	0,84	0,27	0,6	99,75	21,3	201,5	296,4	29,4	393,3	24,0	6,6
MJ 01 B	EM	66,98	14,46	6,02	1,01	2,29	2,88	4,76	0,73	0,26	0,3	99,76	20,2	254,1	234,7	27,6	361,3	22,5	3,5
MJ 01 E	EM	67,10	14,41	5,37	1,03	2,26	3,07	4,65	0,71	0,24	0,9	99,77	18,2	243,8	257,2	23,1	324,8	19,2	3,0
MJ 10 B	EM	67,25	14,27	5,60	1,10	2,36	3,83	3,40	0,75	0,24	0,9	99,80	23,4	310,9	189,9	41,7	295,3	23,7	14,4
MJ 04 E	GH	67,48	14,84	5,16	0,91	2,07	3,04	5,12	0,72	0,26	0,1	99,76	21,7	202,3	236,9	20,2	367,2	23,3	5,8
MJ 04 B	GH	68,17	14,48	4,78	1,09	2,31	3,03	4,74	0,71	0,27	0,1	99,74	21,2	158,7	377,5	21,0	385,8	20,0	5,6
MJ 10 A	EM	68,65	14,17	5,19	0,74	1,76	3,38	4,46	0,47	0,15	0,8	99,85	20,8	389,4	107,2	39,2	251,0	21,4	21,1
MJ 14 A	GH	68,92	14,52	3,55	0,71	2,03	2,67	5,75	0,63	0,17	0,7	99,71	21,9	332,5	256,3	18,2	457,6	20,8	5,4
MJ 02 B	EM	71,04	13,36	3,94	0,60	1,51	2,92	5,16	0,48	0,18	0,6	99,81	20,8	307,9	177,2	25,9	294,3	19,1	5,0
MJ 10 C	GH	71,09	13,82	3,71	0,27	1,22	3,15	5,61	0,28	0,07	0,6	99,85	22,2	375,4	85,0	37,7	235,1	22,9	18,7
MJ 09 A	GH	73,40	12,87	3,20	0,28	1,13	2,97	5,28	0,26	0,08	0,4	99,87	22,2	360,2	93,8	55,6	218,6	21,2	11,3

Tabela 1. Continuação

Table 1. Continuation

Amostra	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Pb	Th	U
MJ 03 A	709	61,0	137,8	16,59	71,3	12,47	3,25	10,90	1,55	7,66	1,51	3,72	0,46	2,96	0,42	8,6	5,4	1,1
MJ 04 D	900	49,0	107,3	12,05	45,7	8,77	2,23	7,56	1,17	6,91	1,11	3,06	0,46	3,23	0,46	2,2	9,0	2,0
MJ 01 D	1181	77,3	168,7	18,49	75,7	13,64	3,22	11,14	1,57	7,53	1,41	3,62	0,53	3,77	0,47	5,3	8,0	2,4
MJ 04 A	1292	68,0	145,4	16,26	59,6	10,65	2,54	9,33	1,38	8,15	1,34	3,68	0,52	3,61	0,53	3,2	9,5	1,8
MJ 07 A	762	42,7	90,2	10,68	44,4	7,68	1,97	6,60	0,98	5,25	0,98	2,73	0,40	2,57	0,42	2,2	6,3	1,0
MJ 07 B	1361	65,2	146,6	17,05	71,3	13,01	2,69	11,22	1,73	9,81	1,77	4,97	0,68	4,51	0,71	2,8	11,1	2,3
MJ 16 A	761	83,7	168,4	19,22	69,7	13,68	1,93	12,31	1,75	9,64	1,94	5,45	0,78	4,63	0,72	3,8	15,4	2,4
MJ 12 A	1663	105,5	224,8	24,27	94,3	15,59	2,45	12,22	1,78	8,27	1,81	4,45	0,64	3,73	0,65	8,7	17,3	2,6
MJ 08 A	1316	94,0	235,4	28,71	122,4	24,96	1,99	20,38	3,44	19,67	3,85	10,65	1,49	9,64	1,26	8,7	32,8	9,5
MJ 15 A	1551	131,6	265,2	30,34	108,3	18,77	3,14	13,67	1,74	8,78	1,57	4,08	0,58	3,93	0,59	8,7	28,8	3,6
MJ 06 A	684	57,6	121,7	13,11	47,5	8,98	1,38	7,32	1,11	5,67	1,14	2,94	0,48	2,84	0,34	5,7	18,8	2,9
MJ 05 B	1370	87,7	182,5	19,67	70,4	11,50	2,16	10,15	1,38	7,67	1,30	3,91	0,52	3,20	0,47	4,2	16,6	2,3
MJ 13 A	1409	100,2	195,2	22,08	79,3	13,31	2,05	10,17	1,32	7,50	1,26	3,33	0,52	3,21	0,43	8,0	20,4	3,5
MJ 08 B	1040	70,5	149,1	15,92	60,8	10,71	1,60	8,54	1,27	7,74	1,48	4,22	0,72	5,05	0,71	6,1	39,0	10,8
MJ 04 C	874	95,6	199,0	20,92	75,8	12,40	1,67	9,22	1,27	5,88	1,21	3,42	0,41	2,44	0,33	5,9	21,0	2,1
MJ 01 A	750	71,6	136,5	14,95	57,8	9,33	0,96	7,10	1,04	5,32	1,15	2,65	0,38	2,77	0,38	6,2	17,2	3,0
MJ 05 A	1089	59,3	127,5	14,36	54,9	9,84	1,54	7,86	1,15	5,90	1,03	2,89	0,48	2,88	0,41	7,4	17,4	2,9
MJ 01 B	979	95,4	181,2	18,41	63,7	10,00	1,13	8,29	1,08	5,27	1,15	2,79	0,37	2,30	0,32	6,0	23,8	4,1
MJ 01 E	966	84,8	170,6	16,26	58,6	8,36	1,08	6,98	0,87	4,60	0,86	2,39	0,34	1,88	0,30	7,0	19,0	2,6
MJ 10 B	714	54,3	119,0	13,26	50,1	9,92	0,99	8,66	1,37	7,54	1,52	4,62	0,67	3,95	0,61	11,7	20,4	6,5
MJ 04 E	768	112,7	206,9	21,38	73,5	10,29	1,28	8,31	0,87	4,01	0,67	1,82	0,23	2,06	0,27	6,2	26,2	3,0
MJ 04 B	988	101,7	199,0	19,56	63,8	9,66	1,42	7,82	0,96	4,57	0,91	2,30	0,31	1,89	0,31	5,0	25,7	2,7
MJ 10 A	552	68,6	140,2	14,38	46,5	8,84	0,58	7,51	1,16	6,70	1,41	3,68	0,55	3,35	0,44	12,5	21,5	12,9
MJ 14 A	819	131,8	251,3	26,20	89,9	11,89	1,30	7,16	0,80	3,60	0,59	1,60	0,21	1,29	0,17	7,1	74,0	5,0
MJ 02 B	726	90,8	182,4	18,67	69,2	10,16	0,97	8,33	1,06	5,59	1,08	2,87	0,39	2,21	0,36	8,1	32,4	9,9
MJ 10 C	439	88,7	173,2	19,72	69,5	11,24	0,73	9,50	1,32	6,62	1,31	4,35	0,49	3,18	0,46	11,9	27,1	6,3
MJ 09 A	407	76,2	162,3	17,51	61,3	11,35	0,72	9,90	1,69	9,22	1,92	5,24	0,76	4,95	0,64	10,5	44,1	12,4

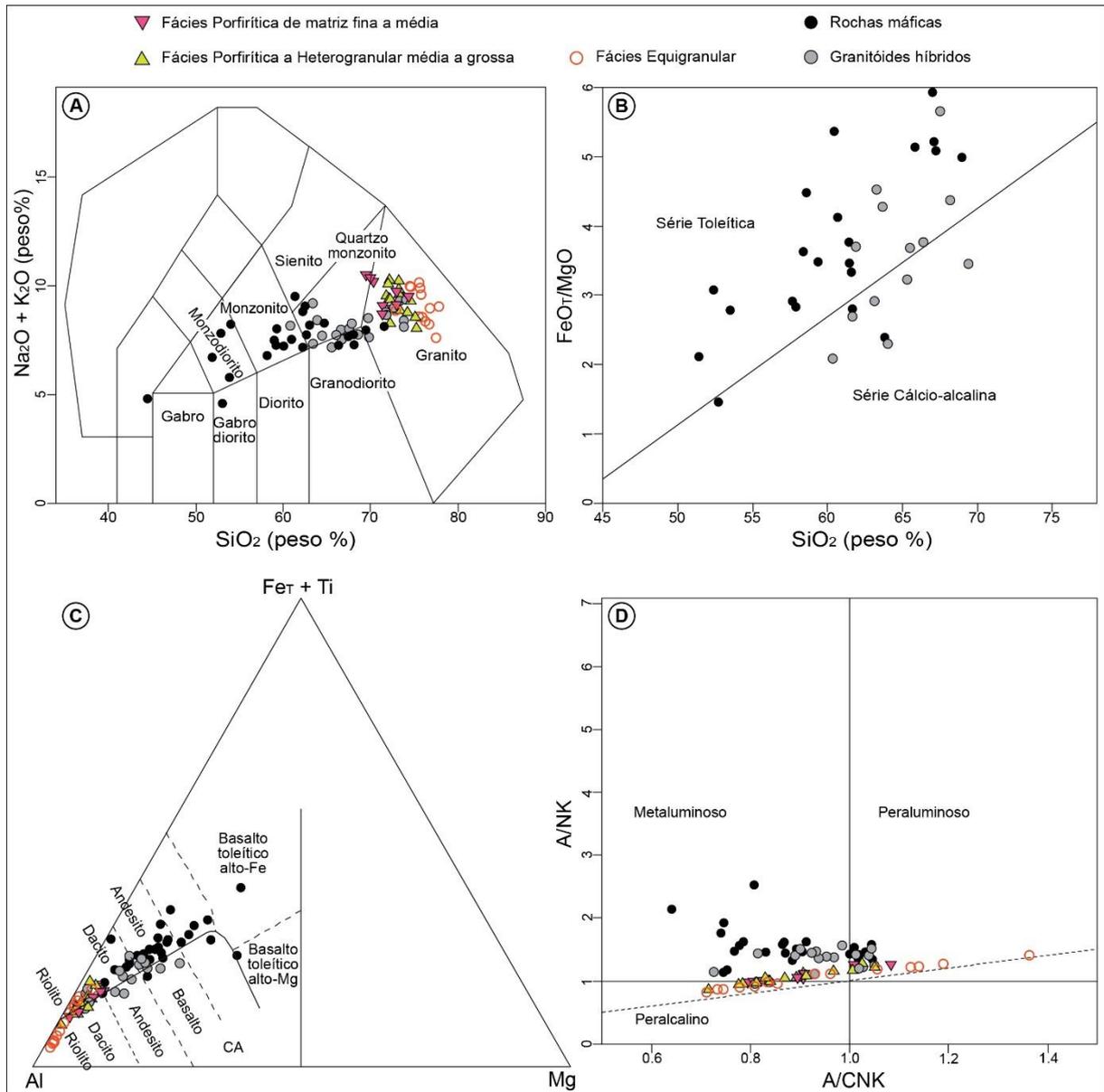


Figura 7. Amostras das litologias da Suíte Encruzilhada do Sul nos diagramas. A) TAS (Middlemost, 1994); B) FeO_T/MgO vs SiO_2 de Miyashiro (1974); C) $(Fe_T + Ti) - Al - Mg$ de Jensen (1976); D) A/NK vs A/CNK de Shand.

Figure 7. Samples of the lithologies of the Encruzilhada do Sul Suite in diagrams. A) TAS (Middlemost, 1994); B) FeO_T/MgO vs SiO_2 of Miyashiro (1974); C) $(Fe_T + Ti) - Al - Mg$ of Jensen (1976); D) A/NK vs A/CNK of Shand.

A disposição das amostras nos diagramas de Harker evidencia *trends* retilíneos e contínuos para os elementos compatíveis, do extremo máfico até o extremo félsico, com as rochas híbridas ocorrendo nas interfaces entre estes dois pólos (Fig. 8). Observa-se tendências bem definidas de diminuição dos teores de FeO_T , MgO , Al_2O_3 , CaO , TiO_2 e P_2O_5 com

aumento do teor de SiO_2 . Os teores de K_2O aumentam nas rochas máficas e granitóides híbridos com o aumento do teor de SiO_2 e diminuem nos granitos, apresentando, entretanto, uma certa dispersão, os teores de K_2O são levemente acentuados nos granitos da borda nordeste em relação aos granitos das porções centrais. Os teores de Na_2O apresentam elevada dispersão, embora com certa tendência de diminuição dos valores nas rochas máficas com o aumento do teor de SiO_2 , com ampla variação nos granitos, porém há tendências do Na_2O levemente acentuado nos granitos das porções centrais em relação aqueles da borda nordeste.

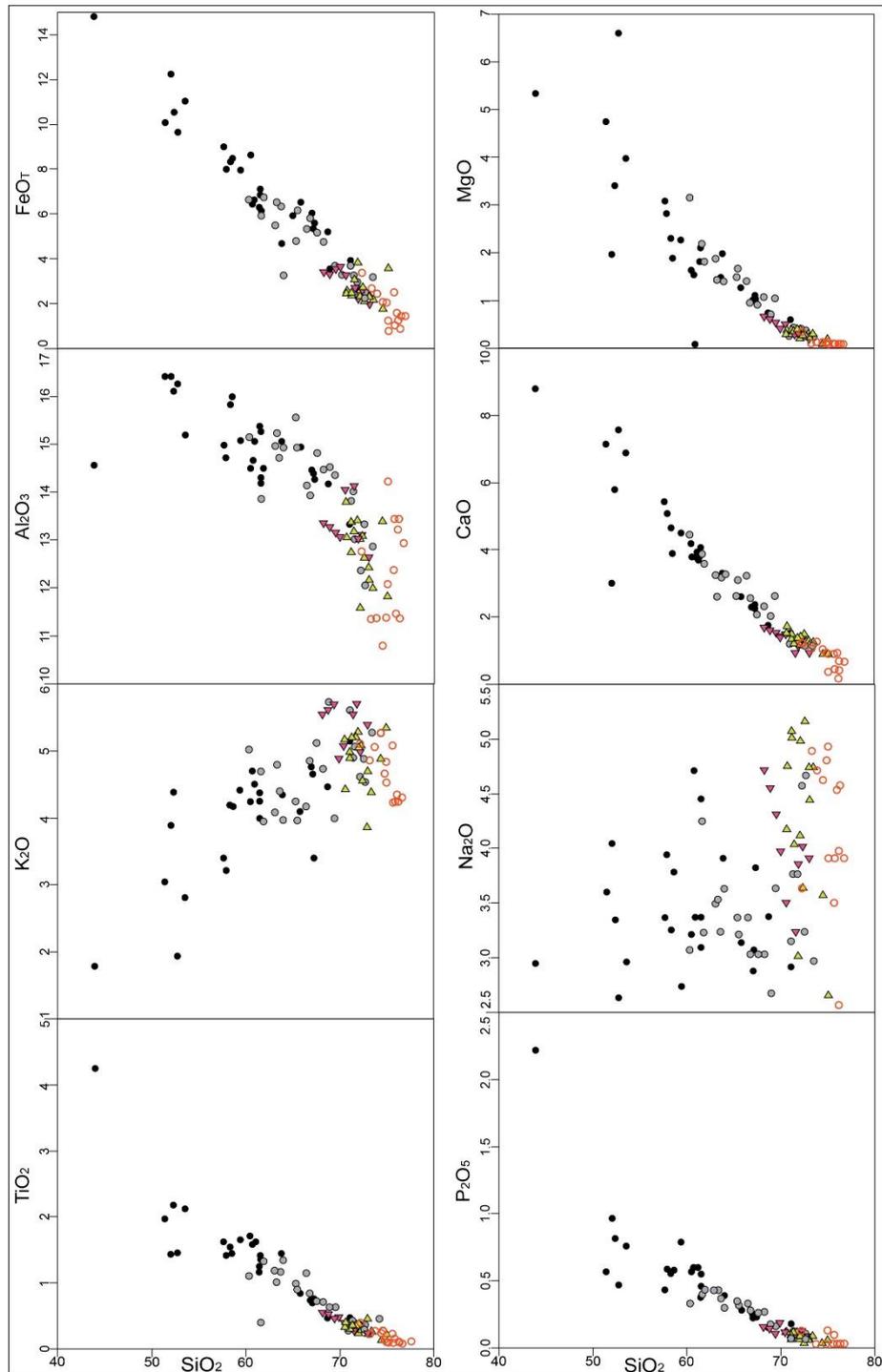


Figura 8. Diagramas binários (Harker) para as litologias da Suíte Encruzilhada do Sul mostrando o comportamento dos elementos maiores expressos em percentual de óxidos (% peso), em função de SiO_2 . As simbologias das amostras é a mesma da figura 7.

Figure 8. Binary diagrams (Harker) for the lithologies of the Encruzilhada do Sul Suite showing the behavior of the largest elements expressed as percentage of oxides (wt %), as a function of SiO_2 . The symbology of the samples is the same of the figure 7.

Os teores de Sr diminuem e os teores de Rb aumentam com o aumento de SiO_2 , particularmente na fácies equigranular fina do Granito Encruzilhada do Sul. O gráfico do Sr demarca muito bem o contexto da câmara magmática, nele os teores do Sr diminuem com o aumento de SiO_2 , evidenciando as litologias máficas, os granitóides híbridos, os granitos da borda nordeste, nas porções centrais os granitos porfiríticos a heterogranulares em conjunto com os equigranulares médios a grossos, e como termos mais diferenciados os equigranulares finos a médios. Os teores de Zr e Ba são bastante enriquecidos, exceto nos termos mais diferenciados e peraluminosos, como os granitos da fácies equigranular fina a média (Fig. 9).

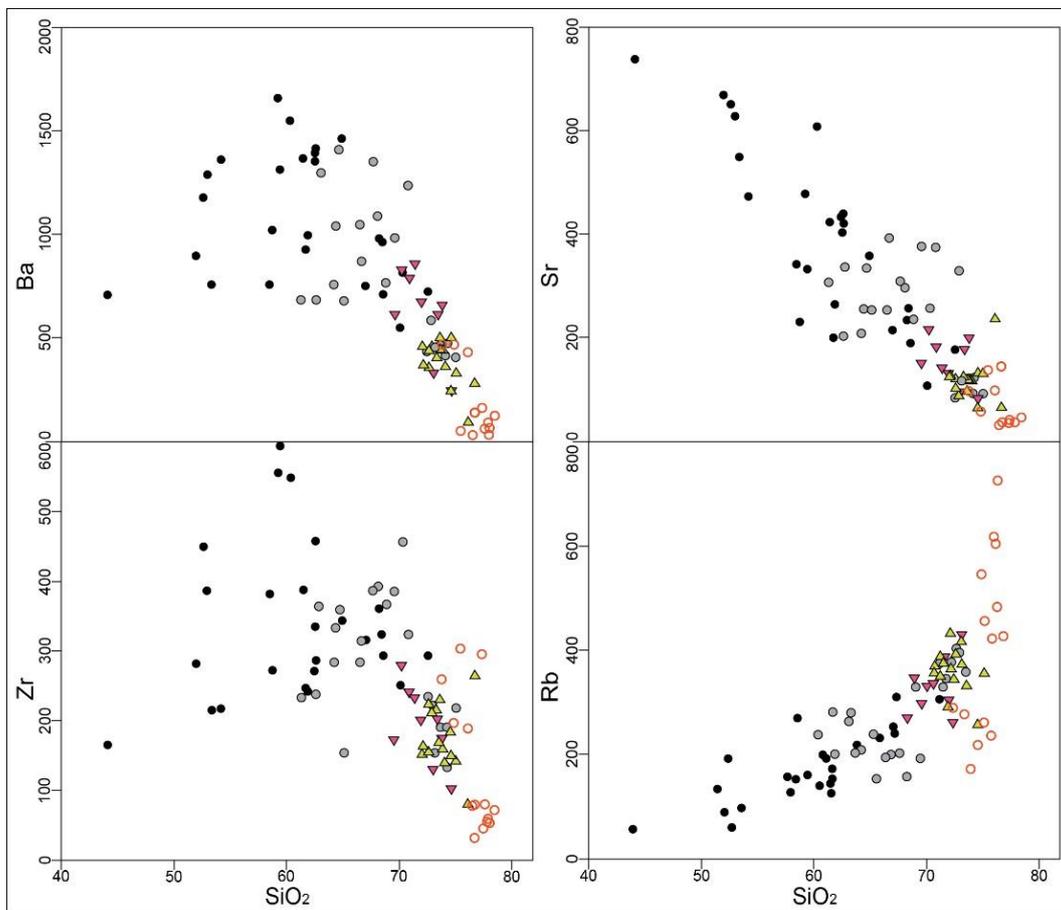


Figura 9. Amostras das litologias da Suíte Encruzilhada do Sul nos diagramas binários (Harker) mostrando o comportamento dos elementos traços expressos em ppm, em função de SiO_2 . As simbologias das amostras é a mesma da figura 7.

Figure 9. Samples of the Encruzilhada do Sul Suite lithologies in the binary (Harker) diagrams showing the behavior of trace elements expressed in ppm as a function of SiO_2 . The symbology of the samples is the same of the figure 7.

Os padrões de Elementos Terras Raras (ETR) dos granitos e das rochas máficas são muito semelhantes, marcados por um enriquecimento em ETR leves (La_N c. 150-400), com anomalias negativas do Eu mais pronunciadas para os granitos e um padrão horizontalizado de ETR pesadas (Fig. 10).

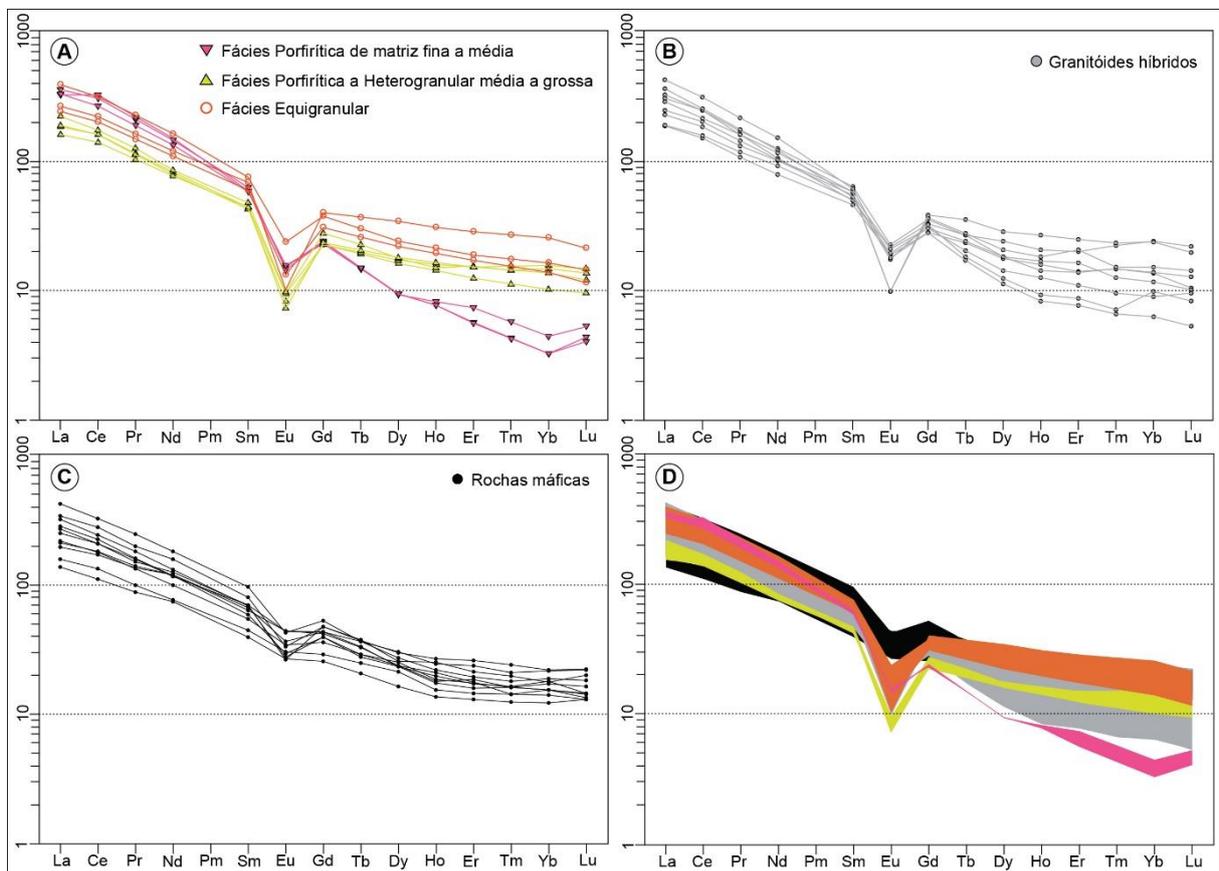


Figura 10. Padrões dos elementos terras raras, normalizados pelos valores condríticos (Boynton, 1984) para as amostras da Suíte Encruzilhada do Sul A) Granitos; B) Granitóides híbridos; C) Rochas máficas; D) Sobreposição dos tipos de rochas: preto- rochas máficas, cinza- granitóides híbridos, rosa- fácies porfírica de bordo, amarelo- fácies porfírica central e laranja- fácies equigranular.

Figure 10. Patterns of rare earth elements, normalized by chondritic values (Boynton, 1984) for the samples of the Encruzilhada do Sul Suite A) Granites; B) Hybrid granitoids; C) Mafic rocks; D) Overlapping of the rock types, black- mafic rocks, gray- hybrid granitoids, pink- of the border porphyritic facies, yellow- central porphyritic facies and orange- equigranular facies.

Nos diagramas multi-elementares normatizados pelo padrão OIB (*Ocean Island Basalts*) observa-se alguma semelhança de comportamento entre as rochas graníticas e máficas, uma vez consideradas as distintas influências do grau de diferenciação. Destacam-se as anomalias negativas de Ba, Nb, Sr, P, Eu e Ti com valores mais baixos para os granitos quando comparados às rochas máficas. E os enriquecimentos em Th, U e Y com valores maiores nos granitos em comparação as rochas máficas (Fig. 11).

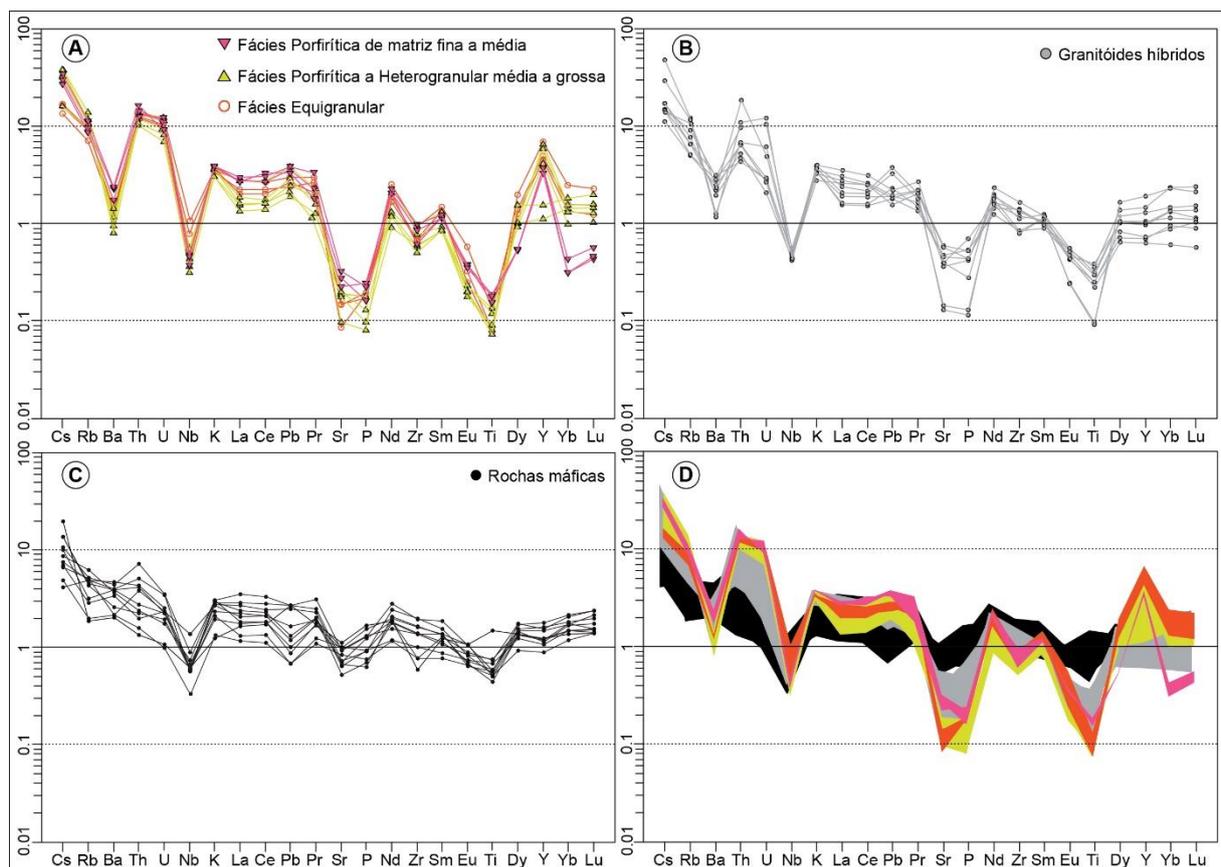


Figura 11. Diagramas multi-elementares normalizados pelos valores de *Ocean Island Basalts* (OIB) de Sun & McDonough (1989). A) Amostras dos granitos da Suíte Encruzilhada do Sul; B) Granitóides híbridos; C) Rochas máficas; D) Sobreposição dos tipos de rochas: preto-rochas máficas, cinza- granitóides híbridos, rosa- fácies porfírica de bordo, amarelo- fácies porfírica central e laranja- fácies equigranular.

Figure 11. Multi-elementary diagrams normalized by the values of Ocean Island Basalts (OIB) by Sun & McDonough (1989). A) Samples of the granites of the Encruzilhada do Sul Suite; B) Hybrid granitoids; C) Mafic rocks; D) Overlapping of the rock types, black- mafic rocks, gray- hybrid granitoids, pink- of the border porphyritic facies, yellow- central porphyritic facies and orange- equigranular facies.

No diagrama Rb vs Y+Nb de Pearce (1996) observa-se que o magmatismo granítico apresenta composição de ambiente intraplaca (Fig. 12A). Os diagramas de Batchelor & Bodwen (1985), Eby (1992), Whalen *et al.* (1987) confirmam o caráter alcalino do magmatismo granítico e sua condição tardi-orogênica (Fig. 12B, C e D).

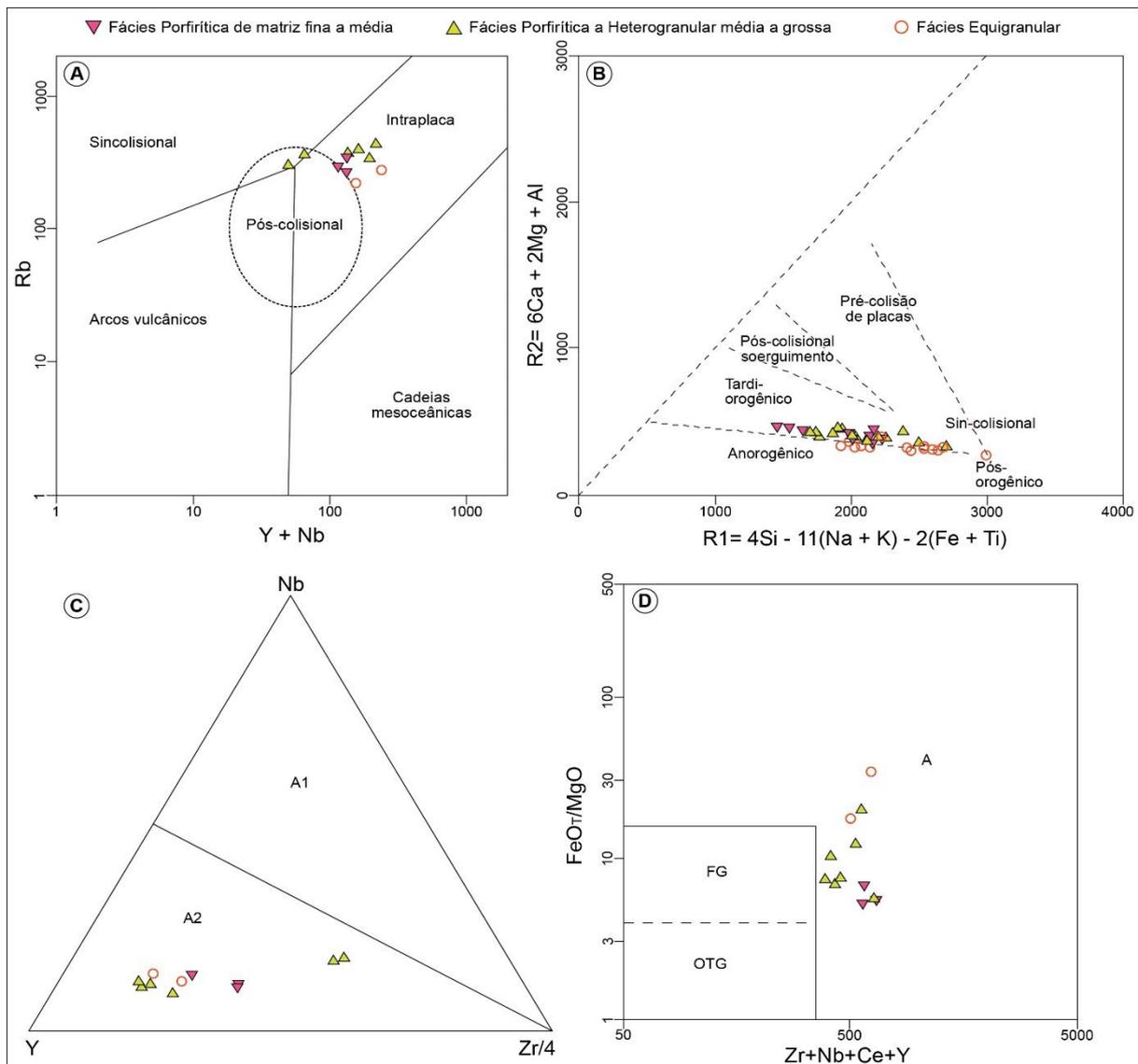


Figura 12. Representação das amostras dos granitos da Suíte Encruzilhada do Sul nos diagramas discriminante de ambientes geotectônicos. A) Rb vs (Y+Nb) de Pearce (1996); B)

R1-R2 de Batchelor & Bodwen (1985); C) Nb-Y-Zr/4 de Eby (1992); D) Whalen *et al.* (1987). A: granito tipo-A, FG: granitos félsicos fracionados, OTG: granitos tipo M, I e S não fracionados.

Figure 12. Representation of the samples of the granites of the Encruzilhada do Sul Suite in the discriminant of geotectonic environments diagrams. A) Rb vs (Y + Nb) of Pearce (1996); B) R1-R2 by Batchelor & Bodwen (1985); C) Nb-Y-Zr/4 from Eby (1992); D) Whalen et al. (1987). A: granite type-A, FG: fractionated felsic granites, OTG: non-fractionated M, I and S type granites.

4 Discussão dos resultados

Os levantamentos de campo e os estudos petrográficos demonstraram um zoneamento textural e composicional no Granito Encruzilhada do Sul, com uma fácies porfírica de matriz fina a média estendendo-se por toda a borda nordeste e sudoeste, gradando para rochas porfíricas a heterogranulares de matriz média a grossa até muito grossa nas porções centrais. Acompanhando a zonação textural observa-se o zoneamento composicional caracterizado por volumes significativos de rochas máficas, conteúdos elevados dos minerais máficos (Bt>Hb), plagioclásio e teores do K₂O levemente acentuados nos granitos da fácies de borda do maciço. As porções centrais do maciço representam as partes mais internas e centrais da câmara magmática, são caracterizadas pelas concentrações e/ou acumulações de K-feldspato, teores elevados de quartzo, diminuição dos teores de plagioclásio e hornblenda, e teores de Na₂O levemente acentuados.

A fácies equigranular ocorre predominantemente na porção central do maciço, é leucocrática, apresenta baixo teor de minerais máficos e teores elevados de Kf e quartzo. Estas características associadas com ocorrências restritas e/ou ausências de enclaves máficos microgranulares e a presença de bolsões pegmatíticos e corpos aplíticos sugerem que os granitos desta fácies representam as porções de cúpula parcialmente preservadas. Associado à fácies equigranular ainda ocorrem enxames de diques riolíticos, representando as fases finais do magmatismo.

As exposições das litologias máficas no interior das fácies graníticas estão acompanhadas pelo aparecimento de feições como as texturas *rapakivi* e *ocelar*. Os cristais de plagioclásio com as bordas e núcleos desestabilizados e corroídos caracterizam textura em peneira, indicando a mistura homogênea (*mixing*) entre magmas félsicos e máficos nas fases precoces da cristalização. Com avanço da cristalização e o resfriamento no sistema, os contrastes de viscosidade e densidade são responsáveis pelo aparecimento de estruturas

indicativas da mistura heterogênea (*mingling*) como os enclaves máficos arredondados até angulosos, de contatos lobados a interdigitados com os granitos.

Os contatos intrusivos contra as rochas gnáissicas do embasamento e o padrão da zonação textural do maciço marcado pela diminuição dos tamanhos dos cristais em direção as encaixantes, sugere que o posicionamento do Granito Encruzilhada do Sul ocorreu em níveis crustais rasos. A diferença entre a idade do metamorfismo colisional que afetou os gnaisses encaixantes, 650 a 620 Ma, e a idade de cristalização dos granitos é de cerca de 50 a 30 Ma. Esse tempo indica que o embasamento foi soerguido até níveis crustais mais elevados e posteriormente invadido pelos magmas da Suíte Encruzilhada do Sul.

O alongamento do maciço granítico segundo a direção NE-SW e o padrão de zoneamento concordante evidencia que a ascensão e o posicionamento do Granito Encruzilhada do Sul foram controlados pela Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (ZCDC). As feições de deformação rúptil no granito sugerem que o seu posicionamento ocorreu em níveis crustais rasos, provavelmente relacionado a uma fase de reativação da ZCDC. A idade de cristalização e as condições rúpteis associadas a colocação do maciço granítico sugerem que o seu posicionamento ocorreu em uma fase extensional associado com a deposição das rochas sedimentares e vulcânicas do Grupo Bom Jardim, da Bacia do Camaquã, encontradas ao noroeste da Suíte Encruzilhada do Sul.

A composição geoquímica ressalta a existência de rochas graníticas e máficas, além de um terceiro grupo de amostras com afinidade às rochas máficas, constituído pelos granitóides híbridos, os quais apresentam teores elevados de minerais máficos em relação aos termos graníticos e mais baixos teores de SiO_2 . Os granitóides híbridos apresentam características comuns aos dois grupos principais e são interpretados como produtos da mistura homogênea (*mixing*) entre os dois pólos originais nas fases precoces de cristalização. A disposição das amostras nos diagramas de Harker evidencia *trends* retilíneos e contínuos para os elementos compatíveis, do extremo máfico até o extremo félsico, indicando que as variações composicionais se devem principalmente à mistura dos magmas. O elevado conteúdo do K_2O , Na_2O e dos elementos LILE nas rochas máficas também ressaltam que a evolução das condições de cristalização permitiu a atuação dos processos da mistura homogênea.

Os enclaves máficos microgranulares ocorrem em maior volume e apresentam composições mais básicas na fácies granítica de bordo do maciço em comparação aos enclaves das porções centrais. Os dados referentes aos enclaves máficos reforçados pela ocorrência significativa de faixas dos granitóides híbridos indicam que os processos de

mistura química prevaleceram na fácies de bordo durante as fases iniciais de cristalização da câmara magmática.

A composição química do magmatismo máfico indica uma afinidade toleítica continental enriquecida em álcalis, elementos terras raras e de alto potencial iônico (HFS). O enriquecimento em álcalis decorre parcialmente do aumento de K_2O promovido pela contaminação dos magmas máficos durante a mistura, fato este comprovado pela presença dos xenocristais de K-feldspato. Apesar desta contaminação as rochas dioríticas preservam feições típicas do magmatismo toleítico continental como o moderado conteúdo de Al_2O_3 e as elevadas razões de FeO_T/MgO . As rochas graníticas, em sua maior parte, apresentam padrões dos elementos maiores e traços, particularmente terras raras, coerentes com líquidos originados por fusões crustais, como indicado pelo aumento da peraluminosidade e os baixos valores de elementos como Zr e Nb. Os granitos da fácies equigranular fina a média são provavelmente o melhor exemplo de fusão crustal praticamente pura, enquanto as fácies porfiríticas a heterogranulares e equigranulares médias a grossas representam granitos do tipo-A, de afinidade toleítica, como os discutidos por Nardi & Bitencourt (2009), Eby (2006) entre outros autores. Os diagramas de elementos traços confirmam a similaridade com o magmatismo intraplaca e pós-colisional, tardi-orogênico.

As fusões crustais seriam originadas a partir da fusão parcial do embasamento granulítico estimulada pelo aumento do gradiente geotérmico promovido pelo magmatismo máfico associado. Os magmas gerados são de elevada temperatura, como indicado pela cristalização precoce do quartzo globular no granito, pela ocorrência das zonas ricas em enclaves máficos microgranulares de composições distintas e evoluídas, e pela presença dos granitóides híbridos. Os cálculos da temperatura de cristalização com base no teor de Zr (Watson *et al.*, 1983) indicaram que o magma granítico tinha temperaturas entre 770° e 830° C, corroborando as observações acima.

5 Conclusões

O padrão de zonação petrográfica e composicional apresentado pelo Granito Encruzilhada do Sul foi gerado a partir do resfriamento de uma única câmara magmática composta por dois magmas de composição distinta, com maior volume de rochas máficas nas porções de bordo e de granitos na porção central. Os granitos da fácies equigranular fina a média que ocorrem na porção central do maciço são intrusivos nas outras fácies graníticas e representam as porções apicais da cúpula da câmara, bem como as margens resfriadas no contato contra os gnaisses do embasamento.

A geração, ascensão e o posicionamento do maciço granítico foram controlados por uma fase de reativação com cinemática extensional da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu. A reativação desta zona gerou uma superfície de ruptura que atingiu a porção superior do manto promovendo por fusão adiabática, a geração e ascensão de magmas mantélicos. Este magmatismo máfico promoveu o aumento do gradiente geotérmico regional e fusão parcial da crosta granulítica desidratada, originando uma associação ígnea bimodal composta pela interação entre os magmas granítico e máfico.

O magmatismo granítico tem composição alcalina saturada em sílica e sódica, e o magmatismo máfico tem afinidade toleítica continental. Além de granitos e rochas máficas, observa-se um terceiro grupo representado por granitóides híbridos gerado por uma mistura homogênea (*mixing*) entre os dois pólos originais sob condições de alta temperatura e durante as fases precoces da cristalização. O avanço da cristalização e o resfriamento do sistema promoveu a interação heterogênea (*mingling*) entre os magmas e a formação dos enclaves máficos microgranulares. Os padrões geoquímicos das fácies graníticas classificam estas rochas como granitos tipo-A, de afinidade toleítica. O magmatismo máfico é toleítico continental, e sua composição final é o resultado da interação com o magma granítico, que o torna enriquecido em álcalis, elementos LILE, terras raras e de alto potencial iônico (HFS).

Os dados estruturais e petrográficos indicam que o Granito Encruzilhada do Sul se posicionou em um nível crustal raso durante o regime pós-colisional da orogênese Dom Feliciano, contemporâneo a deposição das rochas sedimentares e vulcânicas do Grupo Bom Jardim da Bacia do Camaquã, situada ao noroeste da SES.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS e a CAPES pela bolsa de mestrado, ao Professor Doutor Lauro Valentin Stoll Nardi pelo financiamento das análises químicas (Projeto PRONEX FAPERGS/CNPq 10/0045-6), ao Instituto de Geociências da UFRGS pelo apoio nas atividades de campo e laboratório. R.P. Philipp, E. Koester e L.V.S. Nardi agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa.

Referências Bibliográficas

Atherton, M.P., McCourt, W.J., Sanderson, L.M. & Taylor, W.P. 1979. The geochemical character of the segmented Peruvian Coastal Batholith and associated volcanics. *In*: Atherton, M.P. & Tarney, J. (Eds.) *Origin of granite batholiths: geochemical evidence*, Exeter, Shiva Publishing Limited, p. 45-64.

- Babinski, M., Chemale, Jr.F., Van Schmus, W.R., Hartmann, L.A. & Silva, L.C. 1997. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(3/4): 263-274.
- Batchelor, R.A. & Bowden, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology, Amsterdam*, 48: 43-55.
- Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S. 1993. Late to post-collisional Brasiliano granitic magmatism in southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 65(1): 3-16.
- Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S. 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30: 184-187.
- Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S., Florisbal, L.M. & Heaman, L.M. 2015. Geology, geochronology and petrogenesis of a Neoproterozoic, syntectonic sillimanite-muscovite-biotite granite from southernmost Brazil. In: HUTTON SYMPOSIUM ON GRANITES AND RELATED ROCKS, 8., 2015, Florianópolis. *Book of Abstracts ...* Florianópolis, v. u., p. 153-153.
- Bitencourt, M.F., Gastal, M.C.P., Kircheim, R.E., Costa, K.B. & Toledo, F.A.L. 1993. Reavaliação preliminar das relações estratigráficas do Complexo Granítico Encruzilhada (CGE), RS. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DEL NEOPROTEROZÓICO-CAMBRICO DE LA CUENCA DEL PRATA, MONTEVIDEO, 1., 1993, Uruguai. *Boletim de Resumos Expandidos...* Las Palomas-Minas, Montevideo, v.2(34), p. 16-27.
- Bitencourt, M.F., Bongioiolo, E.M., Philipp, R.P., Morales, L.F.G., Rubert, R.R., Melo, C.L. & Luft, Jr.J.L. 2008. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na Região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, 35(1): 109-136.
- Bom, F.M., Philipp, R.P. & Zvirtes, G. 2014. Evolução metamórfica e estrutural do Complexo Várzea do Capivarita, Cinturão Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul, RS. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, 41(2): 131-153.
- Boynnton, W.V. 1984. Geochemistry of the Rare Earth Elements: meteorite studies. In: Henderson P. (Ed). *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, p. 63-114.
- Chappell, B.W. 1996. 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.
- Chemale, Jr.F. 2000. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, p.13-52.
- Chemale Jr.F., Philipp, R.P., Dussin, I., Formoso, M.L.L., Kawashita, K. & Berttotti, A.L. 2011. Lu-Hf and U-Pb age determination of the Capivarita Anorthosite, Dom Feliciano Belt, Brazil. *Precambrian Research*, 186: 117-126.
- Cobbing, E.J. & W.S. Pitcher. 1972. The Coastal Batholith of the Central Peru. *Journal of Geological Society of London*, 128: 421-460.

- Eby, G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20: 641-644.
- Eby, G.N. 2006. Distinctions Between A-type Granites and Petrogenetic Pathways, *In: SYMPOSIUM ON MAGMATISM, CRUSTAL EVOLUTION, AND METALLOGENESIS OF THE AMAZONIAN CRATON*, 2006, Belém. *Abstracts Volume and Field Trips Guide...* Belém, IGCP-510.
- Eby, G.N., Krueger, H.W. & Creasy, J.W. 1992. Geology, Geochronology, and geochemistry of the White Mountain Batholith, New Hampshire. *Geological Society of America*, Special Paper, 268: 379-397.
- Fernandes, L.A.D., Tommasi, A. & Porcher, C.C. 1992a. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. *Journal of South American Earth Science*, 5(1): 77-96.
- Fernandes, L.A.D., Tommasi, A., Porcher, C.C., Koester, E., Kraemer, G., Scherer, C.M.S. & Menegat R. 1992b. Granitóides brasileiros precoces do Cinturão Dom Feliciano. Caracterização geoquímica e discussão estratigráfica. *Pesquisas*, 19(2): 197-218.
- Figueiredo, M.C.H., Fragoso César, A.R.S. & Kronberg, B.J. 1990. Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 36., 1990, Natal. *Anais...* Natal, SBG, p.1723-1738.
- Fragoso Cesar, A.R.S., Figueiredo, M.C.H., Soliani, Jr. E. & Faccini, U.F. 1986. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 34., 1986, Goiânia. *Anais...* Goiânia, SBG, v.3, p.1322-1343.
- Frantz, J.C., McNaughton, N.J., Marques, J.C., Hartmann, L.A., Botelho, N.F. & Caravaca, G. 2003. Shrimp U-Pb zircon ages of granitoids from southernmost Brazil: constraints on the temporal evolution of the Dorsal de Canguçu transcurrent shear zone and the eastern Dom Feliciano belt. *In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, 4., 2003, Salvador. *Short Papers...* Salvador, SBG, v.1, p.174-177.
- Gregory, T.R., Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S. 2011. Caracterização estrutural e petrológica de metatonalitos e metadioritos do Complexo Arroio dos Ratos na sua seção-tipo, região de Quitéria, RS. *Pesquisas em Geociências*, 38(1): 85-108.
- Gregory, T.R., Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S. & Florisbal, L.M. 2015. Geochronological data from TTG-type rock associations of the Arroio dos Ratos Complex and implications for crustal evolution of southernmost Brazil in Paleoproterozoic times. *Journal of South American Earth Sciences*, 57: 49-60.
- Hartmann, L.A., Chemale, Jr.F. & Philipp, R.P. 2007. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Precambriano. *In: Ianuzzi, R. & Frantz, J.C. (Eds.). 50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições*, Porto Alegre, Editora Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, p.97-123.

- Hartmann, L.A., Leite, J.A.D., Silva, L.C., Remus, M.V.D., McNaughton, N.J., Groves, D.I., Fletcher, I.R., Santos, J.O.S. & Vasconcellos, M.A.Z. 2000. Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of Southern Brazil. *Australian Journal of Earth Sciences*, 47: 829-844.
- Hibbard, M.J. 1995. *Petrography to Petrogenesis*. New Jersey, Prentice Hall, 604p.
- Jensen, L.S. 1976. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. *Ontario Division of Mines, Miscellaneous Paper*, 6: 1-22.
- Koester, E., Chemale Jr.F., Porcher, C.C., Berttotti, A.L. & Fernandes, L.A.D. 2008. U-Pb ages for granitoids in the Eastern Sul-riograndense Shield. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 6., 2008, San Carlos de Bariloche. *Expanded Abstract...* San Carlos de Bariloche. CD-ROM, v.1, p.1-4.
- Koester, E., Fernandes, L.A.D., Soliani, Jr.E., Nardi, L.V.S., Kraemer, G. & Roisenberg, A. 2001. Granitóides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu, RS: Geologia e Geoquímica. *Revista Brasileira de Geociências*, 31: 141-154.
- Martil, M.M.D., Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S. 2011. Caracterização estrutural e petrológica do magmatismo pré-colisional do Escudo Sul-rio-grandense: os ortognaisses do Complexo Metamórfico Várzea do Capivarita. *Pesquisas em Geociências*, 38(2): 181-201.
- Middlemost, E.A.K. 1994 Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Review*, 37: 215-224.
- Miyashiro, A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274: 321-355.
- Nardi, L.V.S. & Bitencourt, M.F. 2007. Magmatismo granítico e evolução crustal do sul do Brasil. In: Ianuzzi, R. & Frantz, J.C. (Eds.). *50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições*. Porto Alegre, Editora Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS. p.125-141.
- Nardi, L.V.S. & Bitencourt, M.F., 2009. A-type granitic rocks in post-collisional settings in southernmost Brazil: their classification and relationship with tectonics and magmatic series. *The Canadian Mineralogist*, 47: 1493-1503.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S. & Wemmer, K. 2011. The Rio de la Plata Craton, a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences*. 100: 201-220.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., Frei, R. & Layer, P. 2007. Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano-Pan-African, Uruguay). *Lithos*, 98: 141-159.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K. Frei, R. & Layer, P. 2009. Geochronological constraints on the evolution of the southern Dom Feliciano Belt (Uruguay). *Journal of the Geological Society of London*, 166: 1-11.

- Pearce, J. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodios*, 19(4): 120-125.
- Philipp, R.P. & Machado, R. 2001. Estratigrafia e Significado Tectônico das Suítes Graníticas do Batólito Pelotas no RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(3): 257-266.
- Philipp, R.P. & Campos, R.S. 2005. Controles geológicos das jazidas de granitos ornamentais da região de Encruzilhada do Sul, RS: origem das variedades comerciais do Granito Encruzilhada do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 32(1): 37-49.
- Philipp, R.P. & Machado, R. 2005. The Late Neoproterozoic to Cambrian Granitic Magmatism of Pelotas Batholith, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Science of London*, 19: 461-478.
- Philipp R.P., Nardi L.V.S. & Machado R. 1998. O Magmatismo Granítico Neoproterozóico tardi a pós-colisional da região de Porto Alegre, RS. In: CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DOS GRANITOS E ROCHAS CORRELATAS. *Publicação Especial... Núcleo Bahia-Sergipe*, SBG, v.5, p.129-152.
- Philipp, R.P., Nardi, L.V.S. & Bitencourt, M.F. 2000. O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, p.133-160.
- Philipp, R.P., Machado, R. & Chemale, Jr.F. 2003. Reavaliação e novos dados geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: implicações petrogenéticas e idade de reativação das zonas de cisalhamento. *Geologia USP, Série Científica*, 3: 71-84.
- Philipp, R.P., Chemale, Jr.F. & Machado, R. 2007. A geração dos granitóides Neoproterozóicos do Batólito Pelotas: evidências dos isótopos de Sr e Nd e implicações para o crescimento continental da porção sul do Brasil. In: Frantz, J.C. & Ianuzzi, R. (Eds.), *50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições*. Porto Alegre, Editora Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS. p.59-77.
- Philipp, R.P., Massonne, H.J. & Campos, R.S. 2013. Peraluminous leucogranites of the Cordilheira Suite: A record of Neoproterozoic collision and the generation of the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 43: 8-24.
- Philipp, R.P., Pimentel, M.M. & Chemale Jr., F. 2016b. Tectonic evolution of the Dom Feliciano belt in southern Brazil based on geological relationships and U-Pb geochronology. *Brazilian Journal of Geology*. 46(1): 83-104.
- Philipp, R.P., Mesquita M.J., Gomes M.E.B. & Almeida D.P.M. 1993. Reconhecimento estrutural e geoquímico dos Granitóides Brasileiros da região de Pelotas, RS. *Pesquisas*, 20(1): 3-13.
- Philipp, R.P., Machado, R., Nardi, L.V.S. & Lafon, J.M. 2002. O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2): 277-290.

- Philipp, R.P., Formoso, M.L., Dussin, I., Chemale Jr.F. & Campos, R.S. 2010. Estruturas primárias e tectônicas do Anortosito Capivarita, Pântano Grande, RS: significado e implicações para o entendimento da evolução petrológica. *Revista Brasileira de Geociências*, 40: 99-110.
- Philipp, R.P.; Bom, F.M., Pimentel, M.M., Junges, S.L. & Zvirtes, G. 2016a. SHRIMP U-Pb age and high temperature conditions of the collisional metamorphism in the Várzea do Capivarita Complex: implications for the origin of Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 66: 196-207.
- Picada, R.S. 1971. Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. *Anais...* São Paulo, SBG, v.1, p.167-191.
- Picada, R.S. & Tessari, R.I. 1970. Geologia da Folha de Pinheiro, Encruzilhada do Sul, RS. *Boletim da Escola de Geologia*, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 15: 1-41.
- Pitcher, W.S. 1993. *The nature and origin of granite*. London, Blackie Academic & Professional, 321p.
- Ramgrab, G.E., Wildner, W. & Camozzato, E. 1997. Mapa Geológico da Folha Porto Alegre, SH.22-Y-B, Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1.250:000. *Programa de Levantamentos Geológicos Básicos*, Brasília, CPRM, 144p.
- Rapela, C.W., Fanning, C.M., Casquet, C., Pankhurst, R.J., Spaletti, L., Poiré, D. & Baldo, E.G. 2011. The Rio de La Plata craton and the adjoining Pan-African-Brasiliano terranes: their origins and incorporation into south-west Gondwana. *Gondwana Research*, 20: 673-690.
- Saalman, K., Gerdes, A., Lahaye, Y., Hartmann, L.A., Remus, M.V.D. & Läufer, A. 2010. Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de La Plata craton: the prolonged Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. *International Journal of Earth Sciences*, 100: 355-378.
- Shand, S.J. 1943. *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*. New York, John Wiley & Sons.
- Streckeisen, A.L. 1976. To each plutonic rock, its proper name. *Earth Science Review*, 12: 1-33.
- Sun, S.S. & McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D. & Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society London Special Publication, 42, p.313-345.
- Tessari, R.I. & Picada, R.S. 1966. Geologia da Quadrícula de Encruzilhada do Sul, RS, Brasil. *Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral*, DNPM, 124: 1-147.
- UFRGS 2008. *Mapeamento Geológico 1:25.000, de parte das folhas Passo das Canas e Capané, RS*. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- UFRGS 2009. *Mapeamento Geológico 1:25.000, de parte da folha de Passo das Canas, RS*. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- UFRGS 2010. *Mapeamento Geológico 1:25.000, de parte das folhas de Encruzilhada do Sul e Passo das Canas, RS*. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- UFRGS 2011. *Mapeamento Geológico 1:25.000, de parte da folha de Várzea do Capivarita, RS*. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Vasquez, M.L. 1997. *Evolução petrogenética dos granitos da Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul, RS*. Porto Alegre, 195p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Ventzke, S.O. 2007. *Mapeamento e Caracterização Tecnológica das Rochas Máficas associadas ao Granito Encruzilhada (Suíte Encruzilhada do Sul), RS*. Porto Alegre, 64p. Monografia da Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Vernon, R.H. 1983. Restite, xenoliths and microgranitoid enclaves in granites. *Journal Proceedings Royal Society New South Wales*, 116: 77-103.
- Vernon, R.H. 1986. K-feldspar megacrysts in granites: phenocrysts, not porphyroblasts. *Earth-Science Reviews*, 23: 1-63.
- Watson, E.B. & Harrison, T.M. 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 64: 295-304.
- Whalen, J.B., Currie, K.L. & Chappell, B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95: 407-419.
- Wildner, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R.C. & Iglesias, C.M.F. 2007. *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Programa Geologia do Brasil, Superintendência Regional de Porto Alegre. 1 v, escala 1:750.000.

Capítulo III

Conclusão

O padrão de zonação petrográfica e composicional apresentado pelo Granito Encruzilhada do Sul foi gerado a partir do resfriamento de uma única câmara magmática composta por dois magmas de composição distinta, com maior volume de rochas máficas nas porções de bordo e de granitos na porção central. Os granitos da fácies equigranular fina a média que ocorrem na porção central do maciço são intrusivos nas outras fácies graníticas e representam as porções apicais da cúpula da câmara, bem como as margens resfriadas no contato contra os gnaisses do embasamento

A geração, ascensão e o posicionamento do maciço granítico foram controlados por uma fase de reativação com cinemática extensional da Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu. A reativação desta zona gerou uma superfície de ruptura que atingiu a porção superior do manto promovendo por fusão adiabática, a geração e ascensão de magmas mantélicos. Este magmatismo máfico promoveu o aumento do gradiente geotérmico regional e fusão parcial da crosta granulítica desidratada, originando uma associação ígnea bimodal composta pela interação entre os magmas granítico e máfico.

O magmatismo granítico tem composição alcalina saturada em sílica e sódica, e o magmatismo máfico tem afinidade toleítica continental. Além de granitos e rochas máficas, observa-se um terceiro grupo representado por granitóides híbridos gerado por uma mistura homogênea (*mixing*) entre os dois pólos originais sob condições de alta temperatura e durante as fases precoces da cristalização. O avanço da cristalização e o resfriamento do sistema promoveu a interação heterogênea (*mingling*) entre os magmas e a formação dos enclaves máficos microgranulares. Os padrões geoquímicos das fácies graníticas classificam estas rochas como granitos tipo-A, de afinidade toleítica. O magmatismo máfico é toleítico continental, e sua composição final é o resultado da interação com o magma granítico, que o torna enriquecido em álcalis, elementos LILE, terras raras e de alto potencial iônico (HFS).

Os dados estruturais e petrográficos indicam que o Granito Encruzilhada do Sul se posicionou em um nível crustal raso durante o regime pós-colisional da orogênese Dom Feliciano, contemporâneo a deposição das rochas sedimentares e

vulcânicas do Grupo Bom Jardim da Bacia do Camaquã, situada ao noroeste da SES.

Referências bibliográficas

- ATHERTON, M.P.; MCCOURT, W.J.; SANDERSON, L.M.; TAYLOR, W.P. The geochemical character of the segmented Peruvian Coastal Batholith and associated volcanics. In: ATHERTON, M.P.; TARNEY, J. (Eds.) **Origin of granite batholiths: geochemical evidence**, Exeter, 1979. p. 45-64. (Shiva Publishing Limited).
- BABINSKI, M.; CHEMALE, Jr.F.; HARTMANN, L.A.; VAN SCHMUS, W.R.; SILVA, L.C. Acresção Juvenil no Bloco São Gabriel e retrabalhamento Crustal no Cinturão Dom Feliciano durante o ciclo brasileiro: evidências isotópicas. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 6., ENCONTRO DE GEOLOGIA DO CONE SUL, 1., 1995, Porto Alegre. **Boletim de Resumos Expandidos...** Porto Alegre: SBG, 1995. v.1, p. 105-107.
- BABINSKI, M.; CHEMALE, Jr.F.; VAN SCHMUS, W.R.; HARTMANN, L.A.; SILVA, L.C. U-Pb and Sm-Nd geochronology of the Neoproterozoic Granitic-Gneissic Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 10(3-4), p. 263-274, 1997.
- BARBARIN, B. Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origins and tectonic setting. **Geological Journal**, 25, p. 227-238, 1990.
- BITENCOURT, M.F.; NARDI, L.V.S. Late to post-collisional Brasiliano granitic magmatism in southernmost Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 65(1), p. 3-16, 1993.
- BITENCOURT, M.F.; NARDI, L.V.S. Tectonic setting and sources of magmatism related to the Southern Brazilian Shear Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, 30, p. 184-187, 2000.
- BITENCOURT, M.F.; BONGIOLO, E.M.; PHILIPP, R.P.; MORALES, L.F.G.; RUBERT, R.R.; MELO, C.L.; LUFT Jr., J.L. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na Região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. **Pesquisas em Geociências**, 35(1), p. 109-136, 2008.
- BLAKE, D.H.; ELWELL, R.W.D.; GIBSON, I.L.; SKELFORN, R.R.; WALKER, G.P.L. Some relationships resulting from the intimate association of acid and basic magmas. **Q.J. Geology Society London**, 121, p. 31-50, 1965.
- BOM, F.M.; PHILIPP, R.P.; ZVIRTES, G. Evolução metamórfica e estrutural do Complexo Várzea do Capivarita, Cinturão Dom Feliciano, Encruzilhada do Sul, RS. **Pesquisas em Geociências**, 41(2), p. 131-153, 2014.

- BONIN, B.; AZZOUNI-SEKKAL, A.; BUSSY, F.; FERRAG, S. Alkali-calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism: petrologic constraints and geodynamic settings. **Lithos**, 45, p. 45-70, 1998.
- BRITO NEVES, B.B.; CORDANI, U.G. Tectonic evolution of South America during Late Proterozoic. **Precambrian Research**, 53, p. 23-40, 1991.
- CAMOZZATO, E.; LOPES, R.C.; PHILIPP, R.P.; KLEIN, C. Geologia e Recursos Minerais da Folha Hulha Negra (SH.22-Y-C-I). **Programa de Levantamentos geológicos Básicos**, CPRM, Porto Alegre, 2012. 164 f.
- CARRARO, C.C.; GAMERMANN, N.; EICK, N.C.; BORTOLUZZI, C.A.; JOST, H.; PINTO, J.F. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul - Escala 1:1.000.000. Porto Alegre. Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - **Pesquisas, Série Mapas**. 1974, 29 f.
- 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), p. 449-470, 1996.
- CHAPPELL, B.W.; White, A.J.R. Two contrasting granite types: 25 years later. **Australian Journal of Earth Sciences**, 48(4), p. 489-499, 2001.
- CHEMALE, Jr.F. Evolução Geológica do Escudo Sul-rio-grandense. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (Eds.) **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, 2000. p. 13-52.
- COBBING, E.J.; W.S. PITCHER. The Coastal Batholith of the Central Peru. **Journal of Geological Society of London**, 128, p. 421-460, 1972.
- CORDANI, U.G.; HALPERN, M.; BERENHOLC, M. Comentários sobre as determinações geocronológicas da Folha Porto Alegre. **Nota Explicativa das folhas Porto Alegre e Lagoa Mirim**, DNPM, 1974. p. 70-84.
- COSTA, A.F.U.; RAMGRAB, G.E.; FERNANDES, L.A.D.; CAMOZZATO, E.; AZEVEDO, L.M.V. Compartimentação tectônica das associações de rochas pré-cambrianas do Escudo Sul-rio-grandense baseada em dados de Magnetometria e Gravimetria. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 6., ENCONTRO DE GEOLOGIA DO CONE SUL, 1., 1995, Porto Alegre. **Boletim de Resumos Expandidos...** Porto Alegre: SBG, 1995. p. 236-238.
- COTTIN, J.Y.; LORAND, J.P.; AGRINIER, P.; BODINIER, J.L.; LIÉGEOIS, J.P. Isotopic (O, Sr, Nd) and trace element geochemistry of the Laouni layered intrusions (Pan-African belt, Hoggar, Algeria): evidence for post-collisional continental tholeiitic magmas variably contaminated by continental crust. **Lithos**, 45, p. 197-222, 1998.
- DIDIER, J. **Granites and their enclaves. The Bearing of Enclaves on the Origin of Granites, Development in Petrology**. Elsevier, Amsterdam, 1973, 3.

- DIDIER, J.; LAMEYRE, J. Les granites Du Massif Central Français. Etude compare des leucogranites e granodiorites. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, 24, p. 219-238, 1969.
- DIDIER, J.; BARBARIN, B. **Enclaves and Granite Petrology, Developments in Petrology**. Elsevier, Amsterdam, 1991, 13, 625 p.
- EBY, G.N.; KRUEGER, H.W.; CREASY, J.W. Geology, Geochronology, and geochemistry of the White Mountain Batholith, New Hampshire. **Geological Society of America** (Special Paper) 268, p. 379-397, 1992.
- FERNANDES, L.A.D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C. Esboço estrutural de parte do batólito Pelotas - Região de Quitéria-Capivarita. **Acta Geologica Leopoldensia**, 13(30), p. 117-138, 1990.
- FERNANDES, L.A.D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C. Deformation patterns in the southern Brazilian brach of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. **Journal of South American Earth Science**, 5(1), p. 77-96, 1992a.
- FERNANDES, L.A.D.; TOMMASI, A.; VAUCHEZ, A.; PORCHER, C.C.; MENEGAT, R.; KOESTER, E. Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu: caracterização e importância na compartimentação tectônica do Cinturão Dom Feliciano. **Revista Brasileira de Geociências**, 23(3), p. 224-233, 1993.
- FERNANDES, L.A.D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C.; MARQUESTOIGO, M.; GUERRA-SOMMER, M.; PICCOLI, A.E.M. Mapa geológico de Parte das Folhas de Quitéria e Várzea do Capivarita-RS. Porto Alegre, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Pesquisas, Série Mapas**. 1988.
- FERNANDES, L.A.D.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C.; KOESTER, E.; KRAEMER, G.; SCHERER, C.M.S.; MENEGAT, R. Granitóides brasileiros precoces do Cinturão Dom Feliciano. Caracterização geoquímica e discussão estratigráfica. **Pesquisas**, 19(2), p. 197-218, 1992b.
- FERNANDES, L.A.D.; MENEGAT, R.; COSTA, A.F.U.; KOESTER, E.; KRAEMER, G.; TOMMASI, A.; PORCHER, C.C.; RAMGRAB, G.E.; CAMOZZATO E. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-Grandense: Parte I - uma contribuição a partir do registro geológico. **Revista Brasileira de Geociências**, 25(4), p. 351-374, 1995.
- FIGUEIREDO, M.C.H.; FRAGOSO CESAR, A.R.S.; KRONBERG, B.J. Litogeoquímica das principais unidades do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** Natal: SBG, 1990. p. 1723-1738.

- FRAGOSO CESAR, A.R.S. O Cráton do Rio de La Prata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul-Riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. **Anais...** Camboriú: SBG, 1980. v.5, p. 2879-2892.
- FRAGOSO CESAR, A.R.S. **Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: As orogenias dos cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul**, 1991, 367 f. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- FRAGOSO CESAR, A.R.S.; WERNICK, E.; Soliani Jr. E. Evolução geotectônica do Cinturão Dom Feliciano - uma contribuição através da aplicação do modelo de Tectônica de Placas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1982. v.1, p.13-23.
- FRAGOSO CESAR, A.R.S.; FIGUEIREDO, M.C.H.; SOLIANI, Jr. E.; FACCINI, U.F. O Batólito Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBG, 1986. v.3, p.1322-1343.
- FRANCO, R.R. A faixa estanífera do Rio Grande do Sul. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo**, 44, p. 5-54, 1944.
- FRANTZ, J.C.; REMUS, M.V.D. Geologia da região de Canguçu-Torrinhas, RS. Caracterização petrográfica, estrutural e estratigráfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBG, 1986. v.2, p.931-948.
- FRANTZ, J.C.; NARDI, L.V.S. Litoquímica e evolução dos granitóides cálcio-alcalinos da região de Canguçu. Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, 19(1), p. 13-25, 1992.
- FRANTZ, J.C.; NARDI, L.V.S. O magmatismo granítico da região oriental do Escudo Sul-riograndense: Uma revisão. **Pesquisas**, 19(2), p. 183-189, 1992.
- FRANTZ, J.C.; BOTELHO, N.F. Neoproterozoic granitic magmatism and evolution of the eastern Dom Feliciano Belt in southernmost Brazil: A tectonic model. **Gondwana Research**, 3, p. 7-19, 2000.
- FRANTZ, J.C.; LIMA, E.F.; MACHADO, R.P.; NAUMANN, M.P. Contribuição à geologia da região de Encruzilhada do Sul - RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. v.5, p. 2407-2416.
- FRANTZ, J.C.; MCNAUGHTON, N.J.; MARQUES, J.C.; HARTMANN, L.A.; BOTELHO, N.F.; CARAVACA, G. Shrimp U-Pb zircon ages of granitoids from southernmost Brazil: constraints on the temporal evolution of the Dorsal de Canguçu transcurrent shear zone and the eastern Dom Feliciano belt. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., 2003. Salvador, **Short Papers...** Salvador: SBG, 2003. v.1, p.174-177.
- GOMES, M.E.B. **Petrologia do Granito Arroio Moinho (Canguçu, RS) - Geoquímica e Deformação**. 1990, 209 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em

- Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.
- GREGORY, T.R.; BITENCOURT, M.F.; NARDI, L.V.S.; FLORISBAL, L.M. Geochronological data from TTG-type rock associations of the Arroio dos Ratos Complex and implications for crustal evolution of southernmost Brazil in Paleoproterozoic times. **Journal of South American Earth Sciences**, 57, p. 49-60, 2015.
- HALL, A. Géochimie des granites varisques du Sud-Ouest de l'Angleterre. **Bulletin Society Géologue France**, 7(15), p. 229-237, 1973.
- HARTMANN, L.A.; CHEMALE, Jr.F.; PHILIPP, R.P. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Precambriano. In: FRANTZ, J.C.; IANUZZI, R. (Eds.). **50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições**. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, 2007. p. 97-123.
- HARTMANN L.A.; SANTOS J.O.S.; LEITE J.A.D.; PORCHER C.C.; MCNAUGHTON N.J. Metamorphic evolution and U-Pb zircon SHRIMP geochronology of the Belizário ultramafic amphibolite, Encantadas Complex, southernmost Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, 75(3), p. 393-403, 2003.
- HARTMANN, L.A.; NARDI, L.V.S.; FORMOSO, L.L.; REMUS, M.V.D.; LIMA, E.F.; MEXIAS, A.S. Magmatism and metallogeny in the crustal evolution of Rio Grande do Sul shield, Brazil. **Pesquisas**, 26, p. 45-63, 1999.
- HARTMANN, L.A.; LEITE, J.A.D.; SILVA, L.C.; REMUS, M.V.D.; MCNAUGHTON, N.J.; GROVES, D.I.; FLETCHER, I.R.; SANTOS, J.O.S.; VASCONCELLOS, M.A.Z. Advances in SHRIMP geochronology and their impact on understanding the tectonic and metallogenic evolution of Southern Brazil. **Australian Journal of Earth Sciences**, 47, p. 829-844, 2000.
- HIBBARD, M.J. **Petrography to Petrogenesis**. New Jersey, Prentice Hall, 1995, 604 f.
- ISSLER, R. S. Evento geodinâmico brasileiro - fechamento de oceano e colisão continental dos crátons Rio de La Prata e Dom Feliciano: Granitos a duas micas e ofiolitos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais....** Salvador: SBG, 1982. v.1, p. 24-38.
- ISSLER, R.S.; PIRES, J.L. Granito a duas micas na Placa Sul-Americana: Território Brasileiro. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 4., 1989, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBG, 1990. Acta Geológica Leopoldensia, São Leopoldo, 13(30), p. 93-116.
- JACOBS, M.G. **Enclaves Microgranulares Máficos e Rochas Híbridas associadas com os Granitóides da Suíte Encruzilhada do Sul, RS**. 2012, 125 f. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2012.

- JANOUSEK, V.; FARROW, C.M.; ERBAN, V. Interpretation of Whole-rock Geochemical Data in Igneous Geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCD kit). **Journal of Petrology**, 47(6), p. 1255-1259, 2006.
- JOST, H.; HARTMANN, L.A. Província Mantiqueira, Setor Meridional. In: ALMEIDA F.F.M.; HASUI Y. (Eds.) **O Pré-Cambriano do Brasil**. Edgard Blucher, São Paulo, 1984. p.345-378.
- JOST, H.; FRANTZ, J.C.; WERNICK, E. Implicações geotectônicas da variação composicional temporal e regional dos granitóides do Ciclo Brasileiro do Escudo Sul-Riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984a, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. v.1, p. 2978-3000.
- JOST, H.; FRANTZ, J.C.; BROD, J.A. Revisão da tipologia, cronologia e significado geotectônico dos falhamentos do Escudo Sul-Rio-Grandense, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984b, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. v.3, p. 1707-1720.
- KOESTER, E.; KRAEMER, G.; FERNANDES, L.A.D.; NARDI, L.V.S. Magmatismo cálcico-alcalino e peraluminoso sin-tectônico à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú. **Boletim de Resumos Expandidos...** Camboriú, 1994. v.1, p.166-167.
- KOESTER, E.; SOLIANI Jr., E.; FERNANDES, L.A.D.; KRAEMER, G.; TOMMASI, A. Geocronologia Rb/Sr e K/Ar dos granitóides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu na região de Encruzilhada do Sul (RS). **Revista Pesquisas**, 24, p. 67-77, 1997.
- KOESTER, E.; FERNANDES, L.A.D.; SOLIANI, Jr.E.; NARDI, L.V.S.; KRAEMER, G.; ROISENBERG, A. Granitóides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu, RS: Geologia e Geoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, 31, p. 141-154, 2001.
- LAMEYRE, J. **Leucogranites et muscovitisation dans le Macif Central Français**. Ann. Fac. Sci. Univ. Clermont-Ferrand, 1966, 29, 264p.
- LAMEYRE, J.; BODWEN, P. Plutonic rocks type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 14, p. 169-186, 1982.
- LAMEYRE, J.; VAUCHELLE, L.; DURANDAU, A. Compared characteristic and tectonic setting of leucogranites and cordierite granodiorites: two contrasted groups of peraluminosos granitoids. In: INTERNATIONAL GEOLOGY CONGRESS, 28., 1988, Washington, D.C., 1988, v.2, p. 254-255.

- LEINZ, V.; PINAGEL, H. A mina de estanho Campinas, Município de Encruzilhada, RS. **Boletim da Divisão de Fomento à Produção Mineral**, Rio de Janeiro, DNPM, 1945, nº 70, 99 f.
- LIÉGEOIS, J.P. Preface - Some words on the post-collisional magmatism. **Lithos**, 45, p. 15-17, 1998.
- MANTOVANI, M.S.M.; HAWKESWORTH, C.J.; BASEI, M.A.S. Nd and Pb isotope studies bearing on the crustal evolution of southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 17, p. 263-268, 1987.
- MESQUITA, M.J.; FERNANDES, L.A. Petrografia dos granitóides deformados na Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu (Região de Quitéria-Capivarita). In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 4., 1989, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBG, 1990. Acta Geológica Leopoldensia, São Leopoldo, 13(30).
- NARDI, L.V.S. As rochas granitóides da série shoshonítica. **Revista Brasileira de Geociências**, 16, p. 3-10, 1986.
- NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M.F. Magmatismo granítico e evolução crustal do sul do Brasil. In: FRANTZ, J.C.; IANUZZI, R. (Eds.). **50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições**. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, 2007. p.125-141.
- NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M.F. A-type granitoids in post-collisional settings from southern-most Brazil: their classification and relationship with magmatic series. **Canadian Mineralogist**, 47(6), p. 1493-1504, 2009.
- OYHANTÇABAL, P.; SIEGESMUND, S.; WEMMER, K.; FREI, R.; LAYER, P. Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline magmatism during transcurrent deformation in the southernmost Dom Feliciano Belt (Braziliano-Pan-African, Uruguay). **Lithos**, 98, p. 141-159, 2007.
- OYHANTÇABAL, P.; SIEGESMUND, S.; WEMMER, K.; FREI, R.; LAYER, P. Geochronological constraints on the evolution of the southern Dom Feliciano Belt (Uruguay). **Journal of the Geological Society of London**, 166, p. 1-11, 2009.
- PAIM, P.S.G.; CHEMALE, Jr.F.; LOPES, R.C. A Bacia do Camaquã. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (Eds.) **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, 2000. p. 231-274.
- PETRI, S.; COIMBRA, A.M.; AMARAL, G.; POÇANO, W. L. Guia de Nomenclatura Estratigráfica. **Revista Brasileira de Geociências**, 16(4), p. 376-415, 1986.
- PHILIPP, R.P. **Geologia e petrologia dos Granitóides da região de Monte Bonito, Pelotas (RS)**. 1990, 222 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

- PHILIPP, R.P.; MACHADO, R. The Late Neoproterozoic to Cambrian Granitic Magmatism of Pelotas Batholith, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Science**, 19, p. 461-478, 2005.
- PHILIPP R.P.; NARDI L.V.S.; MACHADO R. O Magmatismo Granítico Neoproterozóico tardi a pós-colisional da região de Porto Alegre, RS. In: CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DOS GRANITOS E ROCHAS CORRELATAS, 1998. **Publicação Especial ... Núcleo Bahia-Sergipe**: SBG, 1998. v.5, p. 129-152.
- PHILIPP, R.P.; NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M.F. O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (Eds.) **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Centro de Investigação do Gondwana, Instituto de Geociências, UFRGS, 2000. p. 133-160.
- PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; CHEMALE, Jr.F. Reavaliação e novos dados geocronológicos (Ar/Ar, Rb/Sr e Sm/Nd) do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul: implicações petrogenéticas e idade de reativação das zonas de cisalhamento. **Geologia USP, Série Científica**, 3, p. 71-84, 2003.
- PHILIPP, R.P.; CHEMALE, Jr.F.; MACHADO, R. A geração dos granitóides Neoproterozóicos do Batólito Pelotas: evidências dos isótopos de Sr e Nd e implicações para o crescimento continental da porção sul do Brasil. In: FRANTZ, J.C.; IANUZZI, R. (Eds.), **50 Anos de Geologia. Instituto de Geociências. Contribuições**. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, CIGO e IG-UFRGS, 2007. p.59-77.
- PHILIPP, R.P.; HARTMANN, L.A.; CHEMALE, Jr.F. Significado geotectônico das unidades Paleoproterozóicas do Escudo Sul-Rio-Grandense. In: SIMPÓSIO 45 ANOS DE GEOCRONOLOGIA DO BRASIL, USP, 2009, São Paulo, **Boletim de Resumos Expandidos...** São Paulo: Instituto de Geociências, 2009, v.1, p. 283-285.
- PHILIPP, R.P.; MASSONNE, H.J.; CAMPOS, R.S. Peraluminous leucogranites of the Cordilheira Suite: A record of Neoproterozoic collision and the generation of the Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 43, p. 8-24, 2013.
- PHILIPP, R.P.; PIMENTEL, M.M.; CHEMALE Jr.F. Tectonic evolution of the Dom Feliciano belt in southern Brazil based on geological relationships and U-Pb geochronology. **Brazilian Journal of Geology**, 46(1), p. 83-104, 2016b.
- PHILIPP, R.P.; MESQUITA M.J.; GOMES M.E.B.; ALMEIDA D.P.M. Reconhecimento estrutural e geoquímico dos Granitóides Brasileiros da região de Pelotas, RS. **Pesquisas**, 20(1), p. 3-13, 1993.
- PHILIPP, R.P.; MACHADO, R.; NARDI, L.V.S.; LAFON, J.M. O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão da geocronologia regional. **Revista Brasileira de Geociências**, 32(2), p. 277-290, 2002.

- PHILIPP, R.P.; BOM, F.M.; PIMENTEL, M.M.; JUNGES, S.L.; ZVIRTES, G. SHRIMP U-Pb age and high temperature conditions of the collisional metamorphism in the Várzea do Capivarita Complex: implications for the origin of Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 66, p. 196-207, 2016a.
- PICADA, R.S. Estudos preliminares sobre a evolução geoquímica e mineralógica do Maciço Granítico Encruzilhada. **Publicação Especial da Escola de Geologia**, Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 14, p. 1-87, 1967.
- PICADA, R.S. Ensaio sobre a tectônica do Escudo Sul-Rio-Grandense, caracterização dos sistemas de falhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, 1971. v.1, p. 167-191.
- PICADA, R.S.; Tessari, R.I. Geologia da Folha de Pinheiro, Encruzilhada do Sul, RS. **Boletim da Escola de Geologia**, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1970. 15, p. 1-41.
- PITCHER, W.S. **The nature and origin of granite**. London: Blackie Academic & Professional, 1993. 321p.
- RAMGRAB, G.E.; Wildner, W.; Camozzato, E. Mapa Geológico da Folha Porto Alegre SH.22-Y-B, Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1.250:000. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos**, Brasília, CPRM, 1997, 144 f.
- RAPELA, C.W.; FANNING, C.M.; CASQUET, C.; PANKHURST, R.J.; SPALETTI, L.; POIRÉ, D.; BALDO, E.G. The Rio de La Plata craton and the adjoining Pan-African-Brasiliano terranes: their origins and incorporation into south-west Gondwana. **Gondwana Research**, 20, p. 673-690, 2011.
- REMUS, M.V.D.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; GROVES, D.I.; FLETCHER, I.R. The link Between Hydrothermal Epigenetic Copper Mineralization and the Caçapava Granite of Brasiliano Cycle and Southern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 13(2), 2000.
- RIBEIRO, M.; FANTINEL, L.M. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-rio-grandense: I - Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul. **Iheringia, Série Geológica, Porto Alegre**, 5, p. 19-54, 1978.
- SARTORI, P.L.P. **Petrologia do Complexo Granítico de São Sepé**. 1978, 196 f. Tese de Doutorado, Curso de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.
- SARTORI, P.L.P.; RUEGG, N.R. O complexo granítico de São Sepé, Rio Grande do Sul e a evolução das rochas graníticas da região orogênica do Sudeste. **Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo**, 10, p. 69-78, 1979.
- SILVA, L.C.; HARTMANN, L.A.; CHEMALE Jr.F. Natureza e evolução da crosta continental pré-Gondwana: o registro granítico neoproterozóico (brasiliano) no sul do Brasil. In:

- SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 6., ENCONTRO DE GEOLOGIA DO CONE SUL, 1., 1995, Porto Alegre. **Boletim de Resumos Expandidos...** Porto Alegre: SBG, 1995. p. 79-81.
- SOLIANI, Jr. E. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica**. 1986. 425 f. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.
- STRECKEISEN, A.L. To each plutonic rock, its proper name. **Earth Science Review**, 12, p. 1-33, 1976.
- TAUSON, L.V. Geochemical types of granitoids. **Doklady**, 215, p. 184-186, 1974.
- TESSARI, R.I.; PICADA, R.S. Geologia da Quadrícula de Encruzilhada do Sul, RS, Brasil. **Boletim da Divisão de Fomento da Produção Mineral**, DNPM, 1966, 124, p. 1-147.
- TOMMASI, A.; FERNANDES, L.A.D.; PORCHER, C.C.; VAUCHEZ, A. Evolução cinemática das porções internas do Cinturão Dom Feliciano na região de Piratini, RS. **Pesquisas**, 19(2), p. 145-156, 1992.
- UFRGS. **Mapeamento Geológico 1:25.000, de parte das folhas Passo das Canas e Capané, RS**. 2008. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- UFRGS. **Mapeamento Geológico 1:25.000, de parte da folha de Passo das Canas, RS**. 2009. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- UFRGS. **Mapeamento Geológico 1:25.000, de parte das folhas de Encruzilhada do Sul e Passo das Canas, RS**. 2010. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- UFRGS. **Mapeamento Geológico 1:25.000, de parte da folha de Várzea do Capivarita, RS**. 2011. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- VASQUEZ, M.L. **Evolução petrogenética dos granitos da Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul, RS**. 1997. 195 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- VENTZKE, S.O. **Mapeamento e Caracterização Tecnológica das Rochas Máficas associadas ao Granito Encruzilhada (Suíte Encruzilhada do Sul), RS**. 2007, 64 f. Monografia da Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

- VERNON, R.H. Restite, xenoliths and microgranitoid enclaves in granites. **Journal Proceedings Royal Society New South Wales**, 116, p. 77-103, 1983.
- VERNON, R.H. K-feldspar megacrysts in granites: phenocrysts, not porphyroblasts. **Earth-Science Reviews**, 23, p. 1-63, 1986.
- VERNON, R.H. Crystallization and hybridism in microgranitoid enclave magmas: Microstructural evidence. **Journal of Geophysical Research**, 95(17), p. 849-859, 1990.
- VIELZEUF, D.; CLEMENS, J.D.; PIN, C.; MOINET, E. Granites, granulites and crustal differentiation. In: VIELZEUF, D.; VIDAL, P. (Eds.), **Granulites and Crustal Differentiation**. NATO ASI Ser., Kluwer, Dordrecht, 1990, 600p.
- WERNICK, E.; PENALVA, F. Contribuição ao conhecimento das rochas granitoides do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 8(2), p. 113-133, 1978.
- WILDNER, W.; RAMGRAB, G.E.; LOPES, R.C.; IGLESIAS, C.M.F. 2007. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Programa Geologia do Brasil, Superintendência Regional de Porto Alegre, 2007. 1 v, escala 1:750.000.
- WILLIG, C.D.; VALENTINI, N.; CONTE, C.N.; ZIR FILHO, J.A.; MÔNACO, O.A. Folha Porto Alegre (SH.22) e Lagoa Mirim (SI.22). In: SCHOBENHAUS FILHO, C. (Ed.) **Carta Geológica do Brasil ao milionésimo**, Brasília, DNPM, 1974. p. 1-69 e p. 85-98.

Anexos da dissertação

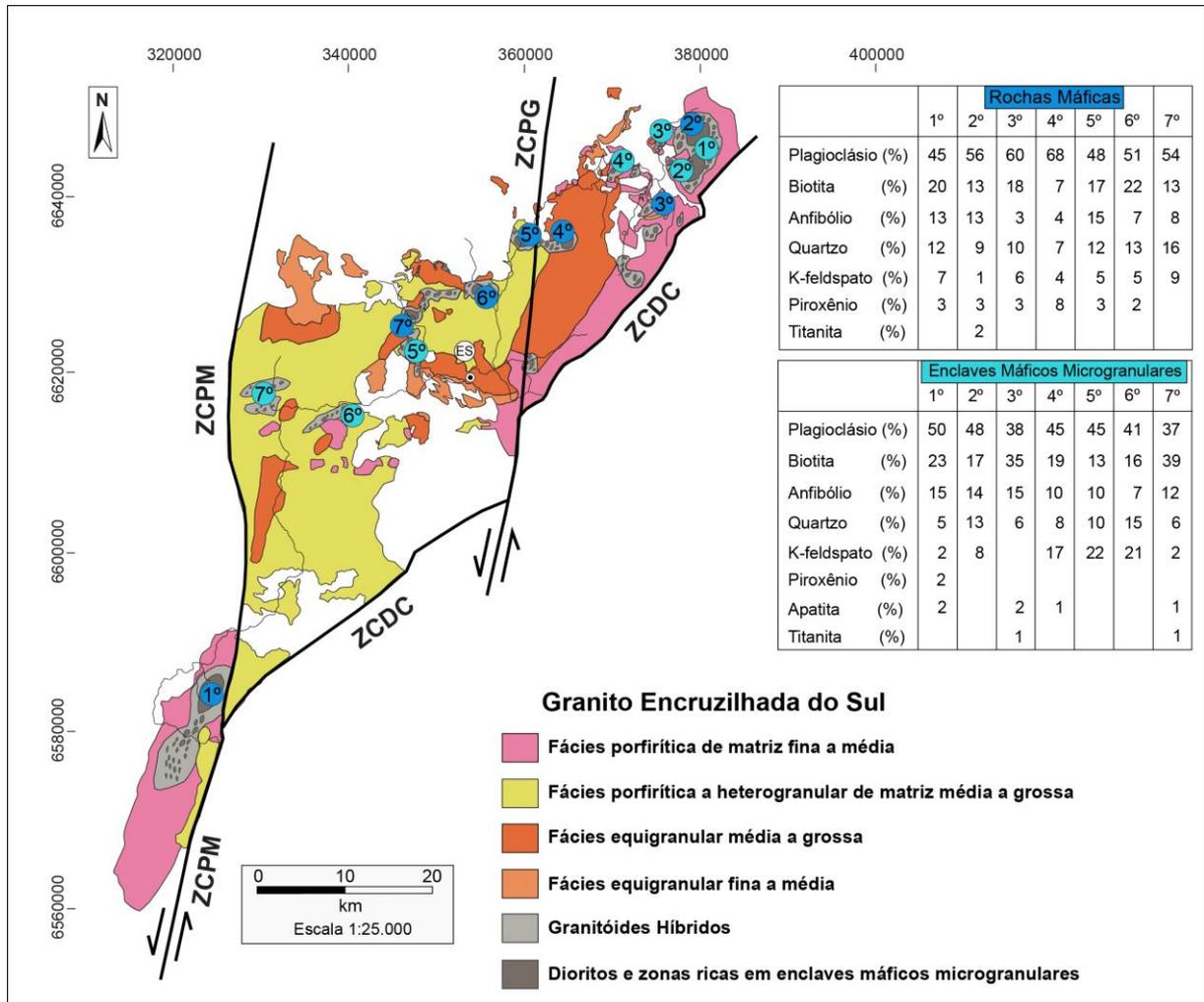


Figura 1. Resultados petrográficos nas amostras das rochas máficas e dos enclaves máficos microgranulares da Suíte Encruzilhada do Sul.

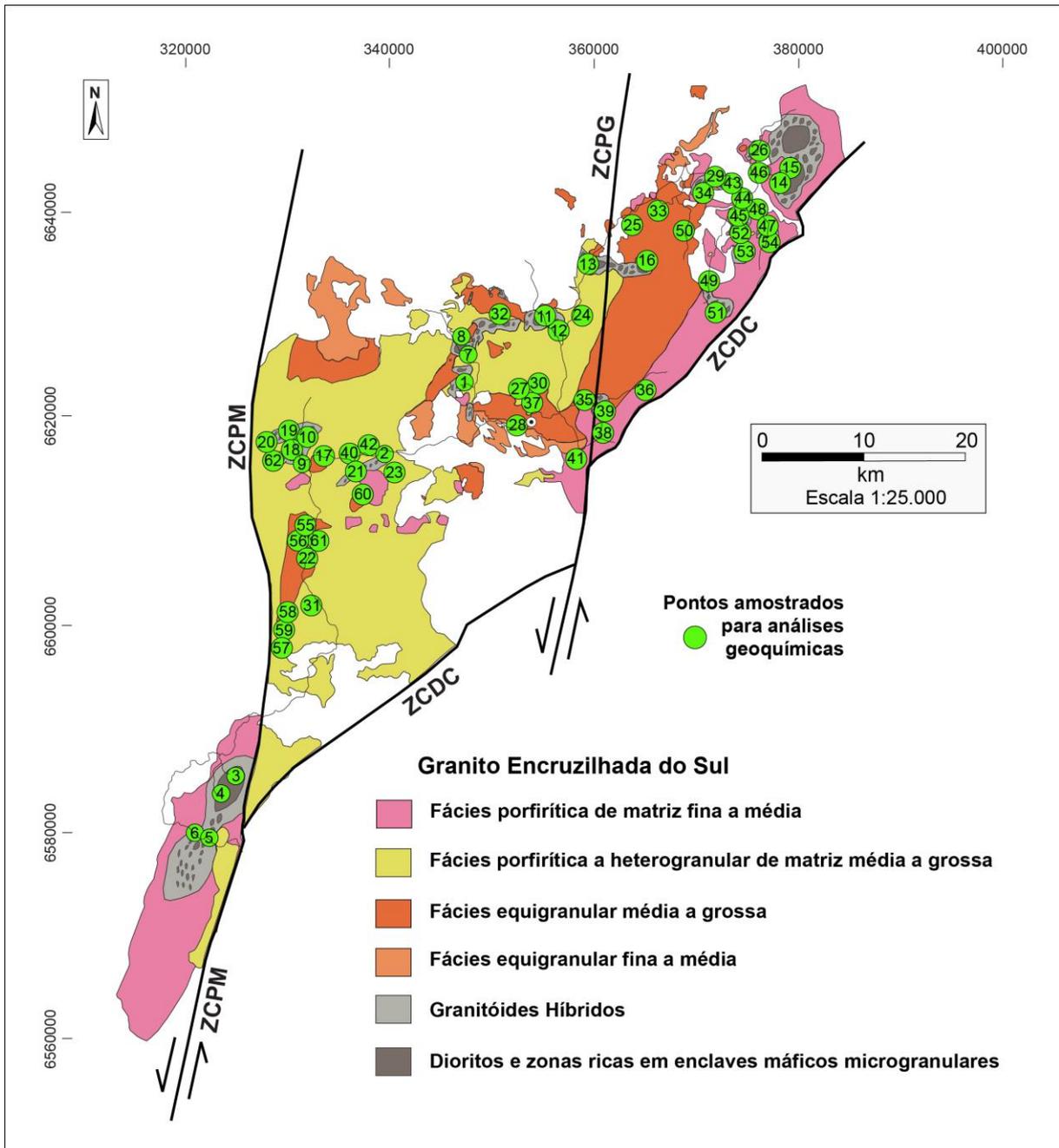


Figura 2. Localização dos pontos amostrados para análises geoquímicas nas litologias da Suíte Encruzilhada do Sul.

Tabela 1. Com relação a figura 2, designa os pontos das amostras coletadas para análises geoquímicas, informando as procedências.

Número	Designação da Amostra	Procedência	Número	Designação da Amostra	Procedência	Número	Designação da Amostra	Procedência
1	MJ 01	Jacobs (2012)	22	MV 28	Vasquez (1997)	43	PQC I 56	TG-UFRGS (1988)
2	MJ 02	Jacobs (2012)	23	MV 34	Vasquez (1997)	44	PQC II 09	TG-UFRGS (1988)
3	MJ 03	Jacobs (2012)	24	MV 36	Vasquez (1997)	45	PQC II 10	TG-UFRGS (1988)
4	MJ 04	Jacobs (2012)	25	MV 38	Vasquez (1997)	46	PQC II 61	TG-UFRGS (1988)
5	MJ 05	Jacobs (2012)	26	MV 42	Vasquez (1997)	47	PQC II 197	TG-UFRGS (1988)
6	MJ 06	Jacobs (2012)	27	MV 46	Vasquez (1997)	48	PQC II 199	TG-UFRGS (1988)
7	MJ 07	Jacobs (2012)	28	MV 47	Vasquez (1997)	49	PQC VII 36	TG-UFRGS (1988)
8	MJ 08	Jacobs (2012)	29	MV 48	Vasquez (1997)	50	PQC VII 57	TG-UFRGS (1988)
9	MJ 09	Jacobs (2012)	30	MV 49	Vasquez (1997)	51	PQC VII 77	TG-UFRGS (1988)
10	MJ 10	Jacobs (2012)	31	MV 51	Vasquez (1997)	52	PQC IX 63	TG-UFRGS (1988)
11	MJ 11	Jacobs (2012)	32	MV 56	Vasquez (1997)	53	PQC IX 74	TG-UFRGS (1988)
12	MJ 12	Jacobs (2012)	33	MV 57	Vasquez (1997)	54	PQC IX 87	TG-UFRGS (1988)
13	MJ 13	Jacobs (2012)	34	MV 58	Vasquez (1997)	55	PCA III 10	TG-UFRGS (1989)
14	MJ 14	Jacobs (2012)	35	PED I 23	TG-UFRGS (1992)	56	PCA III 11	TG-UFRGS (1989)
15	MJ 15	Jacobs (2012)	36	PED I 25	TG-UFRGS (1992)	57	PCA IV 161	TG-UFRGS (1989)
16	MJ 16	Jacobs (2012)	37	PED II 22	TG-UFRGS (1992)	58	PCA IV 166	TG-UFRGS (1989)
17	MV 02	Vasquez (1997)	38	PED II 94	TG-UFRGS (1992)	59	PCA IV 167	TG-UFRGS (1989)
18	MV 05	Vasquez (1997)	39	PED II 181	TG-UFRGS (1992)	60	PCA AN 05	TG-UFRGS (1989)
19	MV 06	Vasquez (1997)	40	PED III 12	TG-UFRGS (1992)	61	PCA AN 08	TG-UFRGS (1989)
20	MV 09	Vasquez (1997)	41	PED III 35	TG-UFRGS (1992)	62	PCA AN 09	TG-UFRGS (1989)
21	MV 25	Vasquez (1997)	42	PED III 107	TG-UFRGS (1992)			

Tabela 2. Teores de elementos maiores, menores e traços nas amostras das litologias da Suíte Encruzilhada do Sul. * * D - Dioritos, EM - Enclaves Máficos, GH - Granitóides Híbridos, GPFM - Granito Porfírico Fino a Médio, borda nordeste, GPMG - Granito Porfírico Médio a Grosso, porções centrais, GE - Granito Equigranular, porções centrais.

Amostra	**	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs
MJ 03 A	D	43,84	14,57	14,83	5,35	8,80	2,95	1,79	4,26	2,22	0,8	99,60	18,1	57,3	740,2	36,0	166,4	29,8	7,7
MJ 04 D	D	51,37	16,42	10,08	4,75	7,16	3,60	3,05	1,97	0,57	0,5	99,65	20,2	135,5	670,3	30,8	281,3	28,1	5,3
MJ 01 D	D	51,98	16,43	12,28	1,97	3,01	4,05	3,89	1,43	0,97	3,4	99,63	27,4	89,7	652,7	34,2	450,4	65,9	2,7
MJ 04 A	D	52,34	16,11	10,56	3,42	5,78	3,35	4,39	2,18	0,82	0,5	99,61	21,5	194,0	629,3	33,3	387,7	35,8	3,4
MJ 07 A	D	52,69	16,27	9,65	6,61	7,57	2,63	1,93	1,46	0,47	0,2	99,67	16,6	61,4	549,8	26,1	216,6	16,1	1,9
MJ 07 B	D	53,48	15,21	11,06	3,97	6,89	2,96	2,81	2,12	0,76	0,2	99,62	19,4	99,5	473,7	45,0	217,4	28,9	3,9
MJ 16 A	D	57,63	14,99	9,01	3,09	5,44	3,37	3,39	1,62	0,43	0,6	99,68	21,9	157,5	343,3	52,3	381,7	32,3	2,6
PED II 181	EM	57,83	14,73	8,02	2,82	5,08	3,95	3,22	1,41	0,59	1,01	99,19		128	231		273		
MJ 12 A	EM	58,33	15,84	8,35	2,30	4,66	3,25	4,18	1,54	0,56	0,4	99,57	20,1	153,2	478,6	43,0	558,1	29,8	1,6
MJ 08 A	EM	58,52	16,00	8,49	1,89	3,88	3,79	4,17	1,44	0,58	0,7	99,61	25,0	272,6	333,5	95,8	599,0	71,5	11,2
MJ 15 A	EM	59,36	15,09	7,94	2,28	4,49	2,74	4,42	1,66	0,79	0,6	99,53	18,8	160,9	609,3	46,8	549,7	42,5	4,1
MJ 06 A	GH	60,33	15,14	6,64	3,16	4,46	3,07	5,02	1,11	0,33	0,4	99,76	20,2	239,8	308,7	28,0	233,9	24,2	6,7
MJ 05 B	EM	60,42	14,51	8,65	1,61	4,18	3,21	4,24	1,71	0,57	0,4	99,66	20,8	139,7	423,9	35,3	388,9	28,1	5,3
MV 05	EM	60,66	14,68	6,48	1,57	3,78	4,72	4,70	1,59	0,60	0,81	99,23		201	201		246		
MV 06	EM	60,82	15,06	6,64	0,08	3,79	3,37	4,51	1,60	0,60	0,95	99,24		198	265		243		
PQC II 61	EM	61,44	15,37	6,32	1,82	3,87	3,37	4,25	1,17	0,55	1,35	100,10		150	435		335		
MV 42	EM	61,49	14,20	6,84	1,82	3,74	4,45	4,37	1,39	0,46	0,82	99,45		128	404		273		
MJ 13 A	D	61,52	15,29	7,12	2,13	4,07	3,10	3,98	1,26	0,39	0,6	99,60	20,2	152,4	437,3	35,8	458,1	27,5	2,9
MV 58 D	EM	61,59	14,30	6,1	2,20	3,83	4,25	4,70	1,36	0,40	0,98	99,96		175	422		287		
MV 58 E	GH	61,59	13,86	5,95	2,20	3,88	4,25	4,70	0,40	0,40	0,98	99,69		284	205		237		
PQC IX 87	EM	61,84	14,51	6,78	1,82	3,59	3,24	3,95	1,32	0,43	1,18	99,03		201	335		365		
PQC II 10	GH	63,10	14,97	5,49	1,88	3,25	3,50	4,08	1,19	0,43	1,39	99,58		266	210		285		
MJ 08 B	GH	63,24	15,24	6,53	1,44	2,61	3,53	4,80	1,01	0,43	0,8	99,73	20,1	280,5	257,0	42,5	334,3	26,8	5,8
PQC IX 63	EM	63,61	14,73	6,38	1,49	3,23	3,24	4,40	1,17	0,37	0,99	99,95		204	335		360		
PQC I 56	EM	63,81	15,06	4,71	1,99	3,26	3,91	4,35	1,45	0,38	1,22	100,20		217	360		345		
PQC VII 36	GH	63,96	14,95	3,26	1,41	3,26	3,64	3,97	1,34	0,30	0,50	99,60		212	255		155		
PQC II 197	GH	65,25	15,57	4,81	1,49	2,63	3,37	4,25	0,99	0,34	0,81	99,92		239	255		285		
MJ 04 C	GH	65,45	14,95	6,19	1,68	3,10	3,21	3,96	0,90	0,32	-0,1	99,73	23,6	153,6	393,0	30,7	315,7	21,0	4,3

(Continua ...)

Tabela 2. Continuação

Amostra	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Pb	Th	U
MJ 03 A	709	61,0	137,8	16,59	71,3	12,47	3,25	10,90	1,55	7,66	1,51	3,72	0,46	2,96	0,42	8,6	5,4	1,1
MJ 04 D	900	49,0	107,3	12,05	45,7	8,77	2,23	7,56	1,17	6,91	1,11	3,06	0,46	3,23	0,46	2,2	9,0	2,0
MJ 01 D	1181	77,3	168,7	18,49	75,7	13,64	3,22	11,14	1,57	7,53	1,41	3,62	0,53	3,77	0,47	5,3	8,0	2,4
MJ 04 A	1292	68,0	145,4	16,26	59,6	10,65	2,54	9,33	1,38	8,15	1,34	3,68	0,52	3,61	0,53	3,2	9,5	1,8
MJ 07 A	762	42,7	90,2	10,68	44,4	7,68	1,97	6,60	0,98	5,25	0,98	2,73	0,40	2,57	0,42	2,2	6,3	1,0
MJ 07 B	1361	65,2	146,6	17,05	71,3	13,01	2,69	11,22	1,73	9,81	1,77	4,97	0,68	4,51	0,71	2,8	11,1	2,3
MJ 16 A	761	83,7	168,4	19,22	69,7	13,68	1,93	12,31	1,75	9,64	1,94	5,45	0,78	4,63	0,72	3,8	15,4	2,4
PED II 181	1023																	
MJ 12 A	1663	105,5	224,8	24,27	94,3	15,59	2,45	12,22	1,78	8,27	1,81	4,45	0,64	3,73	0,65	8,7	17,3	2,6
MJ 08 A	1316	94,0	235,4	28,71	122,4	24,96	1,99	20,38	3,44	19,67	3,85	10,65	1,49	9,64	1,26	8,7	32,8	9,5
MJ 15 A	1551	131,6	265,2	30,34	108,3	18,77	3,14	13,67	1,74	8,78	1,57	4,08	0,58	3,93	0,59	8,7	28,8	3,6
MJ 06 A	684	57,6	121,7	13,11	47,5	8,98	1,38	7,32	1,11	5,67	1,14	2,94	0,48	2,84	0,34	5,7	18,8	2,9
MJ 05 B	1370	87,7	182,5	19,67	70,4	11,50	2,16	10,15	1,38	7,67	1,30	3,91	0,52	3,20	0,47	4,2	16,6	2,3
MV 05	927																	
MV 06	997																	
PQC II 61	1352																	
MV 42	1397																	
MJ 13 A	1409	100,2	195,2	22,08	79,3	13,31	2,05	10,17	1,32	7,50	1,26	3,33	0,52	3,21	0,43	8,0	20,4	3,5
MV 58 D	1407																	
MV 58 E	685																	
PQC IX 87	1317																	
PQC II 10	759																	
MJ 08 B	1040	70,5	149,1	15,92	60,8	10,71	1,60	8,54	1,27	7,74	1,48	4,22	0,72	5,05	0,71	6,1	39,0	10,8
PQC IX 63	1412																	
PQC I 56	1466																	
PQC VII 36	682																	
PQC II 197	1050																	
MJ 04 C	874	95,6	199,0	20,92	75,8	12,40	1,67	9,22	1,27	5,88	1,21	3,42	0,41	2,44	0,33	5,9	21,0	2,1

(Continua ...)

Tabela 2. Continuação.

Amostra	**	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs
MJ 01 A	EM	65,79	14,95	6,53	1,27	2,61	3,14	4,09	0,84	0,29	0,2	99,79	18,9	232,8	214,7	29,6	315,2	19,8	3,4
PQC IX 74	GH	66,36	14,15	5,33	1,42	3,22	3,37	4,17	1,14	0,33	1,00	100,80		196	310		388		
MJ 05 A	GH	66,79	13,93	5,84	0,97	2,55	3,03	4,85	0,84	0,27	0,6	99,75	21,3	201,5	296,4	29,4	393,3	24,0	6,6
MJ 01 B	EM	66,98	14,46	6,02	1,01	2,29	2,88	4,76	0,73	0,26	0,3	99,76	20,2	254,1	234,7	27,6	361,3	22,5	3,5
MJ 01 E	EM	67,10	14,41	5,37	1,03	2,26	3,07	4,65	0,71	0,24	0,9	99,77	18,2	243,8	257,2	23,1	324,8	19,2	3,0
MJ 10 B	EM	67,25	14,27	5,60	1,10	2,36	3,83	3,40	0,75	0,24	0,9	99,80	23,4	310,9	189,9	41,7	295,3	23,7	14,4
MJ 04 E	GH	67,48	14,84	5,16	0,91	2,07	3,04	5,12	0,72	0,26	0,1	99,76	21,7	202,3	236,9	20,2	367,2	23,3	5,8
MJ 04 B	GH	68,17	14,48	4,78	1,09	2,31	3,03	4,74	0,71	0,27	0,1	99,74		158,7	377,5	21,0	385,8	20,0	5,6
MV 48 A	GPFM	68,20	13,35	3,40	0,66	1,66	4,72	5,56	0,54	0,15	0,73	99,32		272	150	110	173	23	
MJ 10 A	EM	68,65	14,17	5,19	0,74	1,76	3,38	4,46	0,47	0,15	0,8	99,85	20,8	389,4	107,2	39,2	251,0	21,4	21,1
MV 58 A	GPFM	68,85	13,27	3,31	0,60	1,58	4,56	5,62	0,52	0,14	0,86	99,54	21	350	215	110	279	22	
MJ 14 A	GH	68,92	14,52	3,55	0,71	2,03	2,67	5,75	0,63	0,17	0,7	99,71	21,9	332,5	256,3	18,2	457,6	20,8	5,4
PQC VII 77	GH	69,40	14,37	3,67	1,06	2,63	3,64	4,00	0,63	0,16	0,77	100,60		194	375		325		
MV 58 C	GPFM	69,47	13,15	3,54	0,53	1,52	4,32	5,71	0,45	0,10	0,54	99,96	18	300	181	96	241	18	
PED II 94	GPFM	69,94	13,07	3,64	0,41	1,40	3,98	4,89	0,48	0,18	0,95	99,39		334	140		232		
PQC II 09	GPFM	70,49	14,05	3,27	0,50	1,46	3,50	5,08	0,39	0,11	0,47	100,34		338	130		200		
PED III 107	GPMG	70,57	13,81	2,45	0,28	1,51	4,18	5,18	0,32	0,11	0,45	99,06		359	123		151		
MV 34 A	GPMG	70,66	13,06	2,56	0,37	1,71	4,76	4,43	0,39	0,11	0,94	99,19	18	371	125	120	162	15	
MJ 02 B	EM	71,04	13,36	3,94	0,60	1,51	2,92	5,16	0,48	0,18	0,6	99,81	20,8	307,9	177,2	25,9	294,3	19,1	5,0
MJ 10 C	GH	71,09	13,82	3,71	0,27	1,22	3,15	5,61	0,28	0,07	0,6	99,85	22,2	375,4	85,0	37,7	235,1	22,9	18,7
PED III 12	GPMG	71,12	13,39	2,36	0,28	1,33	5,02	4,90	0,29	0,09	0,44	99,53		390	119		154		
MV 49 A	GPMG	71,15	12,76	2,47	0,37	1,48	5,08	4,99	0,33	0,06	0,79	99,55		352	101		223		
PCA AN 09	GH	71,38	14,04	3,26	0,41	1,32	3,77	4,90	0,41	0,12	0,71	100,60		331	332		223		
PED II 22	GPMG	71,40	13,19	3,07	0,35	1,19	4,04	5,21	0,35	0,11	0,54	99,81		378	86		211		
PQC II 199	GPFM	71,49	14,13	2,69	0,28	0,92	3,24	5,56	0,27	0,09	0,43	100,34		390	95		130		
MV 10	GH	71,57	13,02	3,03	0,32	1,29	3,77	5,07	0,37	0,11	0,39	99,02		348	118		155		
MJ 02 C	GPMG	71,80	13,43	3,82	0,39	1,37	3,01	5,21	0,34	0,11	0,3	99,87	19,3	293,8	123,3	32,6	215,1	17,3	6,2
PED I 25	GPFM	71,88	13,02	2,21	0,31	1,10	3,86	5,72	0,37	0,09	0,62	99,50		307	177		202		
MV 56 A	GPMG	72,03	13,04	2,31	0,19	1,15	4,12	5,29	0,23	0,06	0,88	99,94	21	435	116	190	168	27	

(Continua ...)

Tabela 2. Continuação.

Amostra	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Pb	Th	U
MJ 01 A	750	71,6	136,5	14,95	57,8	9,33	0,96	7,10	1,04	5,32	1,15	2,65	0,38	2,77	0,38	6,2	17,2	3,0
PQC IX 74	1356																	
MJ 05 A	1089	59,3	127,5	14,36	54,9	9,84	1,54	7,86	1,15	5,90	1,03	2,89	0,48	2,88	0,41	7,4	17,4	2,9
MJ 01 B	979	95,4	181,2	18,41	63,7	10,00	1,13	8,29	1,08	5,27	1,15	2,79	0,37	2,30	0,32	6,0	23,8	4,1
MJ 01 E	966	84,8	170,6	16,26	58,6	8,36	1,08	6,98	0,87	4,60	0,86	2,39	0,34	1,88	0,30	7,0	19,0	2,6
MJ 10 B	714	54,3	119,0	13,26	50,1	9,92	0,99	8,66	1,37	7,54	1,52	4,62	0,67	3,95	0,61	11,7	20,4	6,5
MJ 04 E	768	112,7	206,9	21,38	73,5	10,29	1,28	8,31	0,87	4,01	0,67	1,82	0,23	2,06	0,27	6,2	26,2	3,0
MJ 04 B	988	101,7	199,0	19,56	63,8	9,66	1,42	7,82	0,96	4,57	0,91	2,30	0,31	1,89	0,31	5,0	25,7	2,7
MV 48 A	618	100,70	263,30		80,38	11,57	1,12	6,23		2,99	0,59	1,54		0,93	0,17			
MJ 10 A	552	68,6	140,2	14,38	46,5	8,84	0,58	7,51	1,16	6,70	1,41	3,68	0,55	3,35	0,44	12,5	21,5	12,9
MV 58 A	831	110,70	245,90		87,47	12,28	1,07	6,14		3,03	0,55	1,19		0,68	0,14			
MJ 14 A	819	131,8	251,3	26,20	89,9	11,89	1,30	7,16	0,80	3,60	0,59	1,60	0,21	1,29	0,17	7,1	74,0	5,0
MV 58 C	797	103,10	216,50		79,99	11,35	1,15	5,92		3,05	0,55	1,18		0,68	0,13			
PED II 94	866																	
PQC II 09	679																	
PED III 107	459																	
MV 34 A	371	56,91	128,80		48,75	8,62	0,69	5,90		5,23	1,03	2,61		2,12	0,31			
MJ 02 B	726	90,8	182,4	18,67	69,2	10,16	0,97	8,33	1,06	5,59	1,08	2,87	0,39	2,21	0,36	8,1	32,4	9,9
MJ 10 C	439	88,7	173,2	19,72	69,5	11,24	0,73	9,50	1,32	6,62	1,31	4,35	0,49	3,18	0,46	11,9	27,1	6,3
PED III 12	358																	
MV 49 A	442																	
PCA AN 09	589																	
PED II 22	465																	
PQC II 199	334																	
MV 10	459																	
MJ 02 C	408	69,0	141,0	15,26	51,2	9,30	0,71	7,13	1,07	5,68	1,08	3,23	0,46	3,08	0,44	9,4	41,5	7,1
PED I 25	619																	
MV 56 A	505	60,27	130,70		7,90	8,41	0,61	5,97		5,65	1,16	3,25		3,35	0,48			

(Continua ...)

Tabela 2. Continuação.

Amostra	**	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs
MV 49 B	GPMG	72,09	11,59	2,58	0,38	1,40	4,99	5,05	0,37	0,08	0,69	99,30		367	95		230		
MV 09	GH	72,15	12,37	2,53	0,41	1,24	4,58	4,61	0,38	0,11	0,65	99,21		380	122		192		
MV 57 A	GE	72,22	12,76	3,37	0,32	1,20	3,64	5,11	0,39	0,12	0,34	99,75		291	96		259		
PED I 23	GPFM	72,27	13,10	2,59	0,26	1,33	4,02	4,99	0,33	0,12	0,66	99,96	20	263	199		174		
PCA III 15	GPMG	72,34	13,09	2,71	0,26	1,12	3,64	5,07	0,27	0,08	0,48	99,19		347	114		158		
MV 51	GPMG	72,51	12,64	2,10	0,29	1,48	5,17	4,56	0,29	0,03	0,64	99,84	19	395	114	140	139	21	
MV 11	GH	72,59	13,33	2,54	0,27	1,15	3,24	4,89	0,30	0,11	0,42	99,04		405	93		192		
MV 25	GH	72,64	12,05	2,24	0,37	1,27	4,67	4,54	0,36	0,07	0,92	99,33		397	124		134		
MV 36 A	GPMG	72,98	12,44	2,29	0,29	1,27	4,75	3,86	0,45	0,05	0,69	99,34		419	64		183		
PCA IV 161	GPMG	73,03	12,17	2,33	0,22	1,15	4,45	4,70	0,22	0,06	0,61	99,21		375	131		149		
PED III 35	GPFM	73,05	12,64	1,95	0,18	0,92	3,91	5,40	0,23	0,08	0,53	99,14		433	81		102		
MV 38 C	GE	73,28	11,34	2,67	0,08	1,05	4,90	4,87	0,22		0,80	99,44	33	280	57	200	196	38	
MJ 09 A	GH	73,40	12,87	3,20	0,28	1,13	2,97	5,28	0,26	0,08	0,4	99,87	22,2	360,2	93,8	55,6	218,6	21,2	11,3
MV 46 A	GPMG	73,45	12,00	2,17	0,29	1,23	4,75	4,38	0,26	0,08	0,63	99,35	16	335	130	170	141	26	
MV 47 A	GE	73,80	11,36	2,43	0,12	1,23	4,72	5,07	0,26	0,01	0,55	99,35		175	137		303		
PCA AN 08	GPMG	74,44	13,41	1,74	0,07	0,88	3,57	4,89	0,12	0,03	0,55	99,82		259	236		79		
MV 38 A	GE	74,46	10,78	2,06	0,12	1,01	4,63	5,28	0,23		0,92	99,57	22	220	98	130	188	23	
MV 38 D	GE	74,85	11,38	2,04	0,08	0,91	4,81	4,66	0,13	0,01	0,55	99,47		551	32		77		
MJ 10 D	GPMG	75,01	11,83	3,57	0,18	0,88	2,65	5,35	0,21	0,05	0,1	99,88	20,5	358,4	63,6	44,6	263,8	21,0	14,7
MV 47 B	GE	75,02	12,08	1,23	0,12	0,88	4,94	4,84	0,10		0,43	99,66		264	144		78		
PCA IV 167	GE	75,05	14,23	0,78	0,05	0,34	3,91	4,53	0,10	0,12	0,19	100,00		459	35		31		
PQC VII 57	GE	75,67	12,38	2,49	0,03	0,88	3,50	5,09	0,22	0,02	0,65	100,90		238	35		295		
PCA IV 166	GE	75,72	13,44	1,01	0,03	0,42	3,91	4,23	0,08	0,09	0,77	99,90		424	40		44		
MV 28	GE	75,94	11,46	1,54	0,08	0,91	4,54	4,26	0,16		0,90	99,95		622			79		
PCA III 11	GE	76,11	13,24	1,25	0,07	0,13	2,56	4,86	0,09	0,01	1,20	99,94		610			55		
PCA III 10	GE	76,13	13,44	1,44	0,04	0,39	3,98	4,34	0,11	0,01	0,60	100,30		485	35		59		
MV 02	GE	76,27	11,36	0,88	0,08	0,64	4,58	4,24	0,10	0,01	0,85	99,53		733			53		
PCA AN 05	GE	76,68	12,93	1,43	0,05	0,64	3,91	4,30	0,07	0,02	0,50	100,70		429	44		71		

(Continua ...)

