

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

**PETROLOGIA DO GRANITO TRÊS FIGUEIRAS, SUDESTE DO CINTURÃO DOM
FELICIANO, RS**

FERNANDO GALVÃO KLEIN

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

Porto Alegre, 2017

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

**PETROLOGIA DO GRANITO TRÊS FIGUEIRAS, SUDESTE DO CINTURÃO DOM
FELICIANO, RS**

FERNANDO GALVÃO KLEIN

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Ana Cláudia Dantas da Costa

Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

Prof. Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP)

Prof. Dr. Lauro Valentim Stoll Nardi

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

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

Porto Alegre, 2017

CIP - Catalogação na Publicação

Klein, Fernando Galvão

Petrologia do Granito Três Figueiras, Sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS / Fernando Galvão Klein. - 2017.
74 f.

Orientador: Edinei Koester.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. Petrologia. 2. Granito Três Figueiras. 3. Peraluminoso. 4. Datação U-Pb. 5. Cinturão Dom Feliciano. I. Koester, Edinei, orient. II. Título.

RESUMO

O Granito Três Figueiras representa a única ocorrência de granitos peraluminosos no extremo sudeste do Cinturão Dom Feliciano (RS), sendo um granitoide sincinemático à Zona de Cisalhamento Arroio Grande. O objetivo deste trabalho é a caracterização geológica do granito, através de estudos de campo, microscopia óptica, geoquímica de rocha total (ICP-MS) e datações U-Pb em zircão (SHRIMP). O granito é cinza claro, composto por quartzo, K-feldspato, plagioclásio, muscovita, biotita (M¹ 7-10), com granada, turmalina, zircão, monazita e apatita como minerais acessórios. Nas porções afetadas pela zona de cisalhamento, desenvolve uma trama milonítica com foliação tectônica subvertical com mergulho > 70° para SE e lineação de estiramento sub-horizontal marcada pelas micas e agregados estirados de quartzo e feldspato, com direção N80°E e caimento de até 10° para ENE, que demonstram o caráter transcorrente desta zona. Nos termos milonitizados, o arranjo da matriz chega a apresentar textura granoblástica poligonal, recristalização parcial de dos cristais de feldspatos e a formação de mirmequitos por deformação, o que indicam temperaturas de deformação de pelo menos 550°C. Indicadores cinemáticos como feldspatos com cauda de recristalização assimétricas, pares S-C, atestam uma cinemática dextral para essa zona. O granito é classificado como peraluminoso, com teores de A/CNK entre 1,07 e 1,21 e coríndon normativo entre 1,2 a 3 %. Possui altos teores de SiO₂, Al₂O₃, álcalis, e baixos teores de FeO, MgO e TiO₂. Apresenta correlação negativa para a maioria dos elementos maiores, o que indica que o principal processo de evolução magmática foi a cristalização fracionada. Uma fonte homogênea é sugerida a partir da relação entre elementos traços e ETR. Com a datação U-Pb se obteve uma idade de cristalização magmática de 585 ± 16 Ma, que registra um importante eventode fusão crustal para o extremo sudeste do Cinturão Dom Feliciano.

ABSTRACT

The TrêsFigueiras Granite represents the occurrence of peraluminous granite in the southeastern Dom Feliciano Belt, representing a sinkynematic rock to the Arroio Grande Shear Zone. The aim of this work is to make the geologic characterization of the granite through field studies, optic microscopy, geochemistry and U-Pb geochronology. The granite is light grey coloured composed by quartz, K-feldspar, plagioclase, muscovite, biotite (M' 7-10), with garnet, tourmaline, zircon, monazite and apatite as accessory minerals. When affected by shear zone, it develops a mylonitic fabric with subvertical tectonic foliation with dip $>70^\circ$ for SE and a stretching lineation marked by elongated micas and aggregates of quartz and feldspar, both with a $N80^\circ E$ trend dipping 10° ENE. On the mylonitic terms the matrix shows granoblastic polygonal texture, partial recrystallization of feldspar and formation of microcline by deformation which indicates deformation temperatures of at least $550^\circ C$. Kinematic indicators like asymmetric tails in feldspar and S-C pair define a dextral kinematic to this zone. The granite is classified as a peraluminous granite with A/CNK content ranging between 1.07 and 1.21 and normative corundum from 1.2 to 3 %. It has high SiO_2 , Al_2O_3 and alkalis ($K_2O + NaO$) and low FeO, MgO and TiO_2 contents. In Harker diagrams shows negative correlation for most of the major elements in response to the fractional crystallization process. An homogeneous source is suggested based on the relation between trace elements and ETR. Zircon U-Pb SHRIMP dating yielded an age of 585 ± 16 Ma, interpreted as magmatic crystallization an important record of Neoproterozoic peraluminous magmatism in the southeastern portion of the Eastern Domain of Dom Feliciano Belt.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	5
1. INTRODUÇÃO	6
1.1 Estrutura da Dissertação	6
1.2 Contexto Geológico	7
CAPÍTULO II	12
2. ESTADO DA ARTE.....	13
2.1 Granitoides peraluminosos	13
2.2 Granitoides peraluminosos no Cinturão Dom Feliciano, RS	17
2.2.1 Suíte Granítica Cordilheira	17
2.2.3 Granito Três Figueiras	19
CAPÍTULO III	21
3. METODOLOGIA.....	22
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
CAPÍTULO IV	33

CAPÍTULO I

1.INTRODUÇÃO

1.1 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno do artigo científico submetido à revista “Pesquisas em Geociências”, intitulado “Geologia do Granito Três Figueiras: magmatismo peraluminoso de 585 Ma no sudeste do Cinturão Dom Feliciano”, conforme a Norma 103 de submissão de Teses e Dissertações do Programa de Pós-graduação em Geociências do Instituto de Geociências da UFRGS.

Está estruturada em quatro capítulos, de modo que no primeiro é apresentada uma breve introdução, a localização da área, o contexto geológico da área objeto de pesquisa e os objetivos.

No capítulo II é apresentado o estado da arte, em que é feita uma caracterização de granitoides peraluminosos do ponto de vista petrológicos. Neste capítulo também é feita uma revisão sobre granitoides peraluminosos reportados para o Escudo Sul-Rio-Grandense.

No capítulo III é realizada uma breve descrição da metodologia adotada.

No capítulo IV é apresentado o artigo propriamente dito, onde são descritos os resultados e principais conclusões da pesquisa.

Por fim são apresentados os anexos.

1.2 Contexto Geológico

A área objetivo de estudo neste trabalho está localizada na região do município de Arroio Grande, aproximadamente 300 km à sudoeste de Porto Alegre, sendo o principal acesso pela BR-116 sentido sul, no Escudo Sul-Rio-Grandense e faz parte do Cinturão Dom Feliciano.

Este cinturão orogênico (Figura 1), de idade neoproterozoica, se formou durante o ciclo Brasileiro pela amalgamação dos crátons Rio de La Plata e Kalahari (Heilbroner *et al.*, 2004). Compreende uma série de rochas e é constituído por arcos magmáticos de pelo menos dois eventos distintos, sendo eles o Arco Mágmatco São Gabriel e Arco Dom Feliciano. Na literatura, diversos trabalhos propõem compartimentações tectônicas distintas para o Cinturão Dom Feliciano (Chemale *et al.*, 1995; Chemale, 2000; Fernandes *et al.*, 1992; Fernandes *et al.*, 1995; Hartmann *et al.*, 2007; Saalman *et al.*, 2011). Neste trabalho será utilizada a subdivisão de Fernandes *et al.* (1995) que baseado em dados geofísicos subdivide o Cinturão Dom Feliciano em três domínios, sendo eles o Domínio Leste (Oriental), Domínio Central e Domínio Oeste (Occidental).

O Domínio Oeste é formado predominantemente por rochas granitoides cálcico-alcálinas, baixo a médio K, bacias sedimentares metamorfizadas e ofiolitos associados à uma zona de subducção com idades próximas a 750 Ma, com fragmentos de embasamento paleoproterozoico (Leite *et al.*, 2000).

O Domínio Central é dividido em: a) Central Oeste, formado por rochas metasedimentares de baixo a médio grau, intercaladas com rochas vulcânicas, com idades de vulcanismo de 780 Ma e sedimentação Neoproterozoicas (780-613 Ma) e gnaisses de alto grau paleoproterozoicos. Este domínio é parcialmente coberto por rochas vulcano-sedimentares (Porcheret *et al.*, 2000; Pertille *et al.*, 2015); b) Central leste, composto por gnaisses paleoproterozoicos, anortositomesoproterozoicos, gnaisses orto e para derivados de alto grau metamórfico neoproterozoicos e granitoides diversos associados à zonas de cisalhamento (Chemale Jr. *et al.*, 2012; Martil, 2016).

O Domínio Leste compreende dominamente rochas granitoides cálcio-alcálicos alto-K vinculados à zona de subducção e subordinadamente septos do embasamento (Philip *et al.*, 2002, Ramos & Koester, 2014, Vieira *et al.*, 2016). Em todos os domínios ocorrem rochas granitoides de idades <600 Ma de composições peralcalinas, cálcio-alcálica alto-K e shoshoníticas que obliteram as texturas e estruturas das rochas encaixantes.

O granito estudado neste trabalho está localizado no Domínio Leste do Cinturão Dom Feliciano, também conhecido na literatura por Batólito Pelotas (Fragoso César, 1986).

O Batólito Pelotas representa uma extensa faixa de magmatismo polifásico e multi intrusivo, com 400 km de extensão e 120 km de espessura, estendendo-se desde o Uruguai até Santa Catarina. É composto pelo Complexo Pinheiro Machado, Suíte Intrusiva Erval, Suíte Intrusiva Viamão, Suíte Intrusiva Encruzilhada do Sul, Suíte Intrusiva Cordilheira, Suíte Intrusiva Dom Feliciano e septos do embasamento (Philipp, 1998; Philipp *et al.*, 2000; Philipp *et al.*, 2013).

Este intenso magmatismo granítico tem seu posicionamento afetado e controlado por zonas de cisalhamento, que caracterizam as principais feições tectônicas do batólito e formam um série de zonas de cisalhamento transcorrentes anastomosadas, com foliação sub-vertical e lineação sub-horizontal, com direção dominante NS a N60E e registros de cinemática tanto destrais quanto sinistrais, denominado por Bittencourt & Nardi, (2000) de Cinturão de Cisalhamento Sul Brasileiro (CCSB). Dentre estas zonas, a mais pronunciada é a Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal do Canguçu, que possui um importante evento de magmatismo peraluminosointectônico associado, de idade 630~617 Ma, relacionado às rochas da Suíte Intrusiva Cordilheira e ao Metagranito Quitéria (Koester *et al.*, 2001a, 2001b). Na porção SE do Domínio Leste, são conhecidas a Zona de Cisalhamento Ayrosa Galvão, Zona de Cisalhamento Erval e Zona de Cisalhamento Arroio Grande à qual o Granito Três Figueiras está associado (Philipp, 1998).

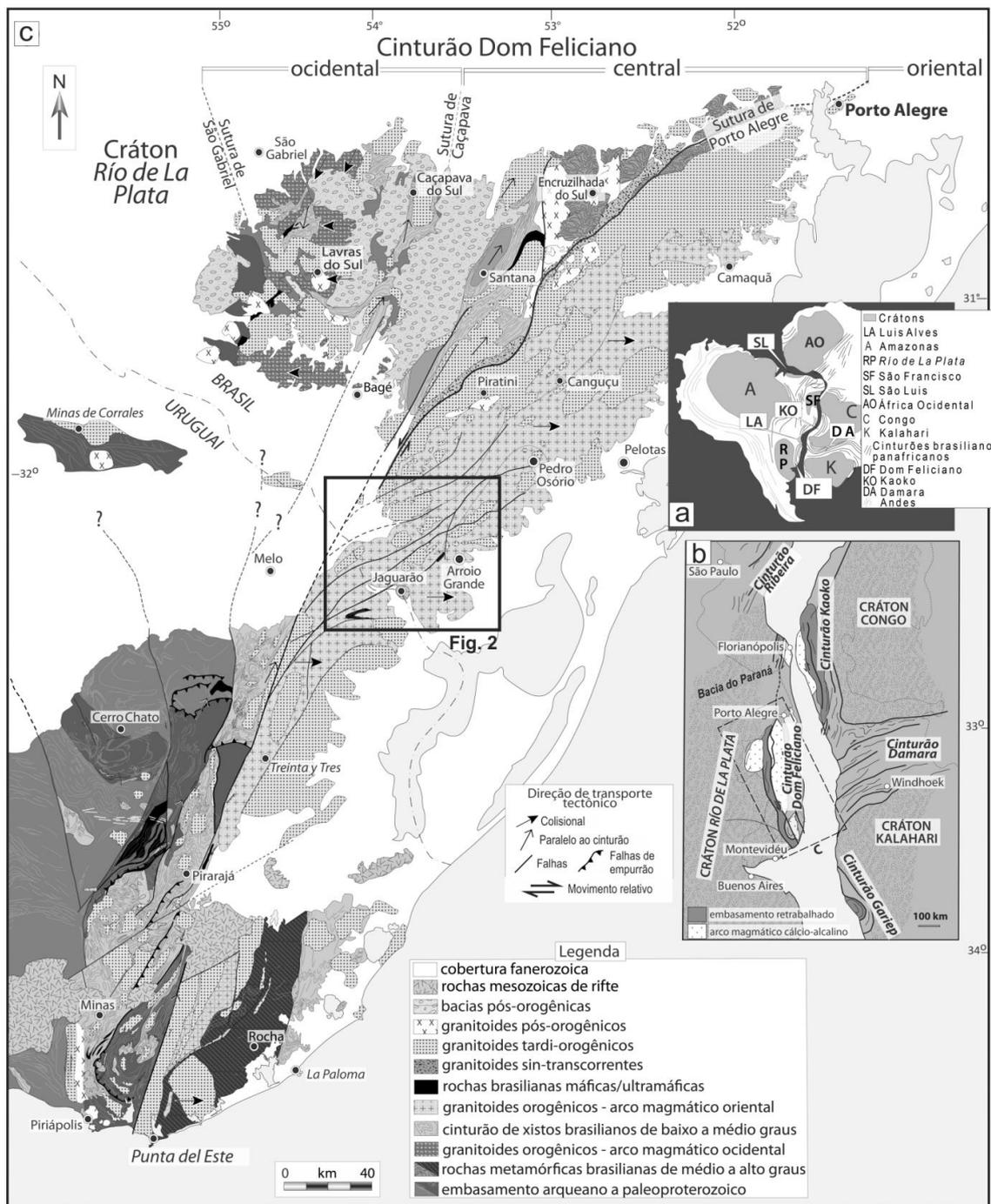


Figura 1 - Esboço geológico do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-sul-riograndense. A) Configuração do Gondwana com as principais áreas cratônicas e cinturões relacionados ao Cinturão Dom Feliciano; B) Mapa geológico do Cinturão Dom Feliciano e Cráton Rio de La Plata no sul do Brasil e Uruguai; C) Localização do Cinturão Dom Feliciano e cinturões africanos adjacentes na configuração do Gondwana (modificado de Masquelinet *et al.*, 2012).

Na área de estudo, afloram principalmente rochas metamórficas máficas e ultra-máficas do Complexo Ofiolítico Arroio Grande, do Complexo Pinheiro Machado, Granito Chasqueiro, Granito Três Figueiras e Granito Capão do Leão (Philipp, 1998; Ramos, 2011; Ramos, 2013; Ramos & Koester, 2015; Silva & Koester, 2014).

Em trabalhos recentes na região (Ramos & Koester 2014, 2015) descrevem o Complexo Ofiolítico Arroio Grande, que são compostos por serpentinitos, talco-xistos, esteatitos, tremolítos e clorititos, bem como mica xistos e quartzitos que são as rochas metamórficas mais abundantes na região. Estas rochas são interpretadas como fragmentos de crosta oceânica anexados ao continente por processos de obdução.

O Complexo Pinheiro Machado compreende rochas granitoides de composições variadas e enclaves de rochas metamórficas e compõe uma área expressiva no Batólito Pelotas. Na área de estudo predominam granitoides cinzentos equigranulares a porfíricos, com origem relacionada a subdução de crosta oceânica sob margem continental espessada (Philipp *et al.*, 2001; Loureiro, 2013; Ramos & Koester, 2014).

O Granito Chasqueiro é um granitoide encaixado na Zona de Cisalhamento Arroio Grande, de coloração cinza claro, porfírico com megacristais de K-feldspato imersos em uma matriz equigranular média. Nas zonas afetadas pelo cisalhamento desenvolve texturas protomiloníticas a miloníticas. Apresenta contatos bruscos e intrusivos com a litologias encaixantes (Philipp, 1998). Vieira *et al.* (2016) interpreta este granito como produto de fusão predominantemente crustal, com componente mantélico subordinado.

O Granito Capão do Leão é um corpo em forma elíptica com estrutura maciça. São leucogranitos de textura equigranular média a grossa de composição sienita a monzogranítica, com granada como principal fase acessório (Silva & Koester, 2014).

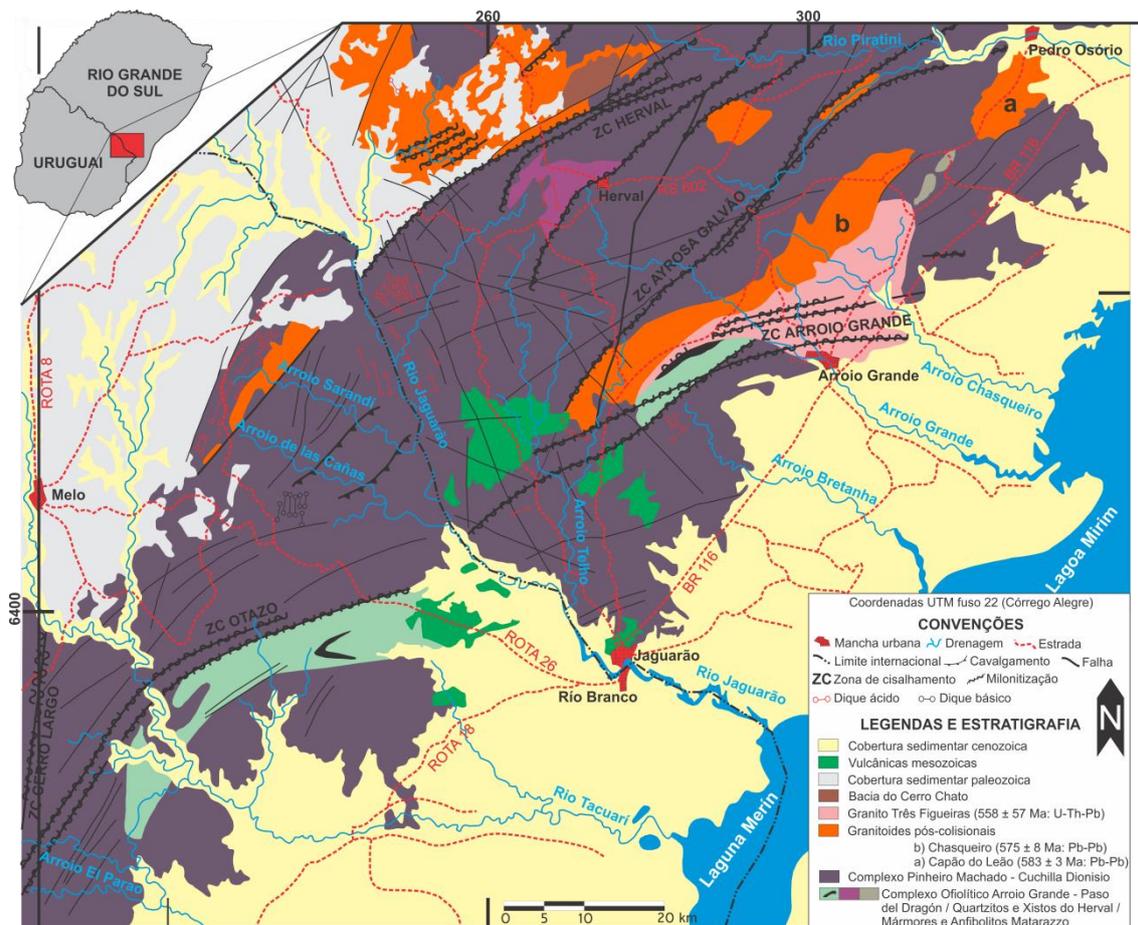


Figura 2 – Mapa Geológico da Região de Arroio Grande. (modificado de Ramos *et. al.* 2015).

CAPÍTULO II

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Granitoides peraluminosos

Rochas granitoides são classificadas com base em diversos critérios, mas são definidas principalmente pelas proporções modais de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio (Streckeisen, 1976). Quimicamente, o termo peraluminoso foi primeiro introduzido pela classificação de Shand (1927) para determinação do grau de saturação em alumínio da rocha. Essa classificação é baseada na proporção molar dos elementos, conforme a fórmula:

$$A/CNK = Al_2O_3 / (CaO + K_2O + Na_2O) > 1$$

Com base nesta fórmula, Shand (1927) propôs quatro grupos distintos: rochas peralcalinas ($A > CNK$), metaluminoso ($CNK > A > NK$), subaluminoso ($A < CNK$) e Peraluminoso ($A > CNK$). Rochas peraluminosas são aquelas que possuem razão molecular $A/CNK > 1$. Conforme Chapell & White (1974) granitoides tipo S, produto de fusão de metassedimentos, possuem teores de $Na_2O > 3.2\%$ com conteúdos variados de FeO e MgO. Granitoides peraluminosos geralmente variam de composições graníticas a granodioríticas com teores de Fe + Mg entre 2 e 12 %. Esta variação apresenta correlações positivas com TiO_2 e CaO e negativas para K_2O e SiO_2 .

Estes granitos possuem mineralogia com a presença uma ou mais fases características ricas em alumínio como muscovita, granada, turmalina e cordierita, sendo comum fases acessórios como zircão, monazita e ilmenita (Clarke, 1981).

Rochas peraluminosas podem se formar por diferentes mecanismos, o que reflete em variações composicionais, por exemplo, rochas peraluminosas tendem a se formar pela fusão de metassedimentos a partir de líquidos leucocráticos. Entretanto variações composicionais podem ser observadas neste tipo de magma, de modo a refletir possivelmente variações na rocha fonte ou por processos de diferenciação magmática durante a ascensão e cristalização. Desta forma, variações geoquímicas e petrográficas de granitos peraluminosos podem indicar informações importantes a respeito do ambiente tectônico ao

qual está associado, bem como a natureza da rocha fonte e processos de evolução magmática.

A origem e modelos de granitoides peraluminosos vêm sendo amplamente discutidos na literatura. Inicialmente, Chapell & White (1974) propuseram a formação de granitos peraluminosos a partir de rochas metassedimentares denominando-os granitos tipo-S. Clarke (1981) apresenta um resumo no qual três modelos eram aceitos para explicar a origem destes granitos: fusão parcial, diferenciação a partir de magmas metaluminosos e perda metasomática de álcalis induzidos por transporte na forma de vapor (Zen, 1988).

O modelo do *restitounmixing*, muito aplicado durante a década de 80 e baseado em estudos iniciais de Chapell & White (1974) foi embasado por diversos autores (Wall *et al.*, 1987; White & Chappell, 1988; Zen, 1988) e sugere que magmas peraluminosos podem se formar a partir da diferenciação de líquidos gerados pela fusão parcial de protólitos de composições máficas, sendo preservados os minerais mais resistentes a fusão nos protólitos. Neste modelo, o restito corresponde ao resíduo sólido da fusão parcial, o que implica que o caráter máfico dessas variações composicionais destes líquidos leucocráticos peraluminosos são herdados da rocha fonte (Villaseca & Herreros, 2000).

A falta de evidências de campo, entretanto, levou à alguns questionamentos à respeito deste modelo, de forma que outras alternativas e modelos foram levados em consideração para a geração deste tipo de granito, como por exemplo a mistura de magmas (Didier, 1982 e 1984; Di Vincenzo *et al.*, 1996; Collins & Hobbs, 2001), cristalização fracionada (Clemens, 1981, 2003) e assimilação de rochas crustais (Jung *et al.*, 1999; Clarke & Carruzo, 2007).

Na década de 90, trabalhos começaram a relacionar a produção de magmas peraluminosos a ambientes colisionais onde há espessamento crustal, a partir da colisão entre dois continentes, de forma que sua gênese seria controlada não apenas pela natureza da fonte, mas também pelas condições de anatexiacrustal destes ambientes.

Barbarin (1996, Tabela 1) subdividiu os granitos peraluminosos podem ser divididos em Muscovite-bearing Peraluminous Granitoids (MPG) e Cordierita-

bearing Peraluminous Granitoids (CPG). Ambos são de origem crustal, mas suas principais diferenças químicas estão relacionadas com o caráter peraluminoso destes magmas, que apresentam tendências de aumento da peraluminosidade com a diferenciação para o MPG, enquanto decresce ou aumenta levemente para os CPG. Conforme Barbarin (1996), granitoides peraluminosos, produtos de fusões em ambientes colisionais, são produzidos onde há espessamento crustal durante a colisão entre continentes, sendo sua gênese controlada não apenas pela natureza da fonte, mas também pelas condições de anatexia crustal destes ambientes. Nesse sentido, os MPG se formam quando há anatexia favorecida por zonas de cisalhamento de grande escala e tendem a se hospedar em zonas transcorrentes ou de *thrust*, enquanto os tipo CPG são produzidos por *underplating* ou injeções locais de material derivado do manto e tendem a se dispersar pelo cinturão montanhoso ou estarem relacionados com rochas metamórficas de alto grau na raiz destes cinturões (Barbarin, 1999).

Em trabalhos recentes Sawyer *et al.* (2011) discute a produção de magmas peraluminosos a partir de fusão incongruente ou por influxo de água no sistema. Diversos trabalhos demonstram que rochas da crosta continental, como metapelitos e quartzo-feldspáticas, começam a fundir parcialmente a temperaturas de 650° C gerando um líquido de composição granítica (Montel & Vielzeuf, 1997; Patiño-Douce, 1999; Patiño-Douce & Harris, 1998; Stevens *et al.*, 1997; Vielzeuf & Schmidt, 2001; Weinberg, R., 2016). Desta forma, se haverá ou não fusão, bem como a quantidade de material gerado, depende da quantidade de água disponível no sistema. As rochas podem fundir quando o conteúdo de H₂O está ocupando os poros e limites de grãos como um líquido livre a temperaturas mais baixas por um processo denominado *fluid-present melting* (fusão na presença de água), ou por fusão incongruente pela quebra de minerais hidratados como biotita, muscovita e anfibólio. Considerando-se que rochas cristalinas possuem baixa porosidade e muito pouca água, os produtos de fusão neste caso gerariam um volume de magma pouco expressivo, enquanto que grandes volumes de magmas poderiam ser gerados por fusão incongruente. Entretanto, em zonas que já estão em altas temperaturas, quando há entrada ou circulação de volumes expressivos de

água os processos de fusão são facilitados e podem ocorrer em larga escala (Sawyer *et al.*, 2011).

Tabela 1. Principais diferenças entre granitos peramiluminosos MPG e CPG (modificado de Barbarin, 1999). Legenda: x = presente xx = comum xxx = abundante 0 = ausente.

Minerais	MPG	CPG	Petrografia	MPG	CPG
Biotita	X	XXX	Tipos petrográficos	Leucogranitos, granitos	Leucogranitos, granitos, granodioritos, qzo-dioritos
Muscovita	XXX	X	Rochas associadas		
Cordierita	0	XX	Metamórficas	0	Migmatitos, anateXitos
Sil-and	0	X	Vulcânicas	0	0
Anfibólio	0	0	Máficas	0	Qzo-dioritos
PiroXênio	0	0	Enclaves		
Apatita	XXX	XXX	Xenólitos	X	0 - X
Zircão	X	XX	Restitos	X	XXX
Monazita	X	X	Enclaves microgranularesfélsicos	X	X - 0
Granada	XX	X	Enclaves microgranularesmáficos	0	X
Turmalina	XXX	XX	Processos de diferenciação	Crist. Fracionada	Crist. Fracionada, restiteunmiXing
Alanita	0	X	Química		
Titanita	0	0	Índice de saturação em alumínio	A >= CNK	
Ilmenita	X	X			
Magnetita	0	0	A/CNK	>=1	
Plag- anortita %	0-20	15-40			

Conforme Sawyer *et al.* (2011) rochas pelíticas produzem líquidos de composição granítica a partir de fusão incongruente a temperaturas da ordem de 720~820° C. Fusões de composições tonalíticas são obtidas por este tipo de fusão em temperaturas da ordem de 750° C em fontes como metagrauvas e 800° C de anfibólitos. Este processo de fusão incongruente por quebra de minerais hidratados explica de forma satisfatória fusões destas composições para estes tipos de rochas, entretanto não é adequado para rochas quartzo-

feldspáticas que geralmente contêm poucos minerais hidratados em sua composição, como leucogranitos, trondhjemitos e tonalitos. Estudos recentes mostram que terrenos metamórficos podem fundir parcialmente em quantidades significativas com a entrada de líquidos aquosos no sistema, levando a fusão por *water-fluxed melting* a temperaturas em torno de 700 °C. A origem do líquido neste caso pode ser pelas reações de desidratação de metapelitos ou câmaras próximas, por infiltrações profundas de águas meteóricas, ou ainda oriundos do manto (Sawyer *et al.*, 2011).

2.2 Granitoides peraluminosos no Cinturão Dom Feliciano, RS

2.2.1 Suíte Granítica Cordilheira

No Rio Grande do Sul, granitoides peraluminosos são bastante conhecidos e descritos para a região de Encruzilhada do Sul, na Dorsal do Canguçu, sendo que diversos trabalhos acerca da origem e evolução deste magmatismo vem sendo desenvolvido desde a década de 60 (Picada, 1965; Isler, 1982; Fragozo César, 1986; Koester, 1995; Nardi & Frantz, 1995; Koester *et al.*, 2001 a e b; Koester, 2002; Philipp, 2013).

Num primeiro momento, os registros de granitoides a duas micas foram feitos por Picada (1965) que, reconheceu estas rochas junto a zonas de cisalhamento e as classificou como migmatitos e granitos estratoides. Posteriormente estas zonas foram caracterizadas por Picada (1969) como Sistema de Falhas Dorsal do Canguçu, composto por falhamentos de direção NE-SW.

Os estudos e interpretações dessas rochas começaram a evoluir a partir da década de 80. Isler (1982) interpretou e descreveu as rochas da Suíte Cordilheira como produto da colisão entre os crátons Rio de La Plata e Kalahari. Fragozo César (1986) descreveu os granitoides à duas micas da Suíte Cordilheira e atribuiu sua geração à fusão de rochas pelíticas.

A partir da década de 90 começaram a surgir os primeiros modelos de evolução destes granitoides. Fernandes (1993) elaborou um dos primeiros modelos tectônicos para formação das zonas de cisalhamento e granitoides e

associados e caracterizou a direção de transporte NE-SW desta zona. Koester (1995) propôs um modelo de evolução tectônica para estes granitoides, baseado em características de campo, geologia estrutural e geoquímicas, em que demonstrou a natureza sintectônica destas rochas à Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu. Nardi & Frantz (1995) também discutem a petrogênese destas rochas principalmente com base em dados geoquímicos e interpretam estes granitoides como tipo S da literatura, bem como aferem como processos na formação destas rochas a diferenciação controlada por fusão parcial, associada localmente a segregação mineral.

Em trabalhos recentes, Koester *et al.* (2001a, 2001b) realiza uma síntese com a caracterização geológica, petrográfica, estrutural e geoquímica dos metagranitos Cordilheira e Arroio Francisquinho reforçando o modelo de geração tectônica associada à Zona de Cisalhamento Dorsal do Canguçu. Estas rochas são datadas e interpretadas por estes autores, como um importante evento de magmatismo sincolisional neoproterozoico, com idades entre 630 a 617 Ma. Frantz *et al.* (2003) obtém uma idade de cristalização de 634 ± 6 Ma para estes granitos.

Embora muitos trabalhos tenham sido realizados nesta região e os processos de emplacamento e evolução do magmatismo sejam relativamente bem conhecidos, a fonte deste magmatismo ainda é controverso. Koester *et al.* (2002) com base em trabalho de geologia experimental sugere como possível fonte para o Metagranito Cordilheira e Metagranito Arroio Francisquinho os gnaisses tonalíticos Arroio dos Ratos. Philipp *et al.* (2013) indica, com base em estudos geotermobarométricos e composicionais uma fusão de rochas pelíticas, como os gnaisses do Complexo Várzea do Capivarita.

2.2.2 Granito Butiá

Para a região de Encruzilhada do Sul, Niessing (2007) descreve também a presença de um granitóide com silimanita, de caráter peraluminoso, denominado Granito Butiá. É um granito com foliação ígnea bem desenvolvida, concordante à foliação das rochas encaixantes do Complexo Várzea do Capivarita (gnaiesses e sienitos). Conforme Niessing (2007), com base em

dados petrológicos, de química mineral e temobarometria, estabelece temperaturas de cristalização entre 660°C e 750°C e pressão entre 3.0 e 4.2 kbar, resultando em profundidades da ordem de 9-13 km. As condições de formação.

Em trabalho recente, Bitencourt *et al.* (2015) apresenta uma idade de cristalização magmática U-Pb ID-TIMS em monazitas de $629,2 \pm 6,8$ Ma para o Granito Butiá, valor este concordante a idade de ~ 629 Ma obtidos por LA-MC-ICPMS em Zircões. De acordo com os autores, com base nos dados petrológicos e geocronológicos, o Granito Butiá é um granito de origem crustal, com fonte homogênea, e classificam como granitos portadores de cordierita – Granitóides CPG de Barbarin (1996).

2.2.3 Granito Três Figueiras

O Granito Três Figueiras foi reportado pela primeira vez na literatura por UFRGS (1972) que identificou um corpo granítico alongado, descrito como um granito à muscovita, com estrutura foliada disposto em uma crista de orientação E-W, com contatos tectônicos marcados por falhamentos E-W, que denominaram Granito Figueirinha. UFRGS (1972) sugerem ainda uma correlação estratigráfica, devido ao posicionamento tectônico semelhante ao das encaixantes (com a foliação concordante), a disposição lenticular e as evidências de hidrotermalismo, marcadas pela muscovitização e turmalinização, com o Granito Cordilheira, embora ressaltem a importância de uma datação para confirmar a correlação. Em um mapa metalogenético, Trainini (1987) também reporta a presença deste corpo granítico na região.

Philipp (1998) descreve este granito e o denomina Granito Três Figueiras, sugerindo também uma correlação deste granito com os demais granitos da Suíte Granítica Cordilheira, e destaca o caráter sintectônico deste granito à Zona de Cisalhamento Arroio Grande, ao qual está associado. Neste trabalho são apresentadas também as primeiras análises geoquímicas que atestam a natureza peraluminosa deste granito.

Em trabalhos mais recentes uma datação para o Granito Três Figueiras é proposta por Tickyjvet *et al.* (2004), na qual foram utilizadas monazitas e

aplicado o método Th-U-Pb em microsonda eletrônica, a idade obtida foi de 558 ± 57 Ma, interpretada como de cristalização. Ramos (2011) descreve intensas zonas de turmalinitização e muscovitização ao longo da Zona de Cisalhamento Arroio Grande e associa este evento ao posicionamento do Granito Três Figueiras.

Em trabalhos mais recentes, Klein (2012) apresenta um mapeamento geológico mais detalhado deste corpo, bem como a caracterização petrográfica, estrutural e novos dados geoquímicos, a partir dos quais é possível identificar uma evolução da deformação associada à Zona de Cisalhamento Arroio Grande, bem como diferenças químicas em relação aos demais granitos da SGC.

Philippot *et al.* (2013) sugere para o Granito Três Figueiras uma fusão de rochas quartzo-feldspáticas, como os gnaisses Arroio Pedrado, a partir da composição mineralógica mais rica em plagioclásio (mais granodiorítica) e razões de elementos maiores.

CAPÍTULO III

3.METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho abrangeu de forma integrada uma série de métodos. Inicialmente foi necessária uma etapa de pesquisa bibliográfica, com posteriores trabalhos de campo. Foram utilizados dados de geologia estrutural, petrografia, geoquímica e geocronológicos.

Os trabalhos de campo se deram em duas etapas totalizando 09 dias de atividades, nas quais foram realizadas seções geológicas com a finalidade de mapear o corpo granítico, bem como a aquisição de dados estruturais, descrições de afloramentos, elaboração de croquis e coleta de amostras.

Para petrografia, foram selecionadas ao todo 15 amostras para confecção de lâminas delgadas, que foram confeccionadas junto ao Laboratório de Apoio Analítico e Preparação de Amostras do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) da UFRGS. As amostras selecionadas foram coletadas tomando-se em campo a anotação da atitude para que não fossem perdidas as informações espaciais como atitudes planares e lineares, bem como orientação geográfica das mesmas. As descrições das lâminas foram realizadas com auxílio de microscópio *Meiji Techno®*, série ML9000, modelo ML9720. Foram realizadas contagens modais em 5 amostras com cerca de 500 pontos por lâmina.

Para análises geoquímicas de elementos maiores e traço, foram selecionadas 15 amostras representativas do granito. As amostras selecionadas foram encaminhadas para preparação e análise no *Acme AnalyticalLaboratorieLtd.*, no Canadá, onde foram determinados elementos maiores, traço e terras raras, por meio de ICP-MS. O tratamento e geração dos gráficos geoquímicos foi realizado utilizando o software *GCDkit* (Janouseket *al.*, 2006).

As determinações das idades U-Pb SHRIMP foram conduzidas no Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo (CPGeo-USP), Brasil. Os cristais de zircão foram separados usando as convencionais técnicas de separação dos líquidos pesados e magnética. Posteriormente, foi preparado o *mount* com os cristais em *epoxi* e polidos para exposição do interior dos grãos, sendo utilizado o padrão TEMORA-2 (Black *et al.*, 2004). As

amostras foram revestidas com ouro e os *mounts* polidos foram examinados de forma abrangente com Microscópio Eletrônico de Varredura FEI Quanta 250 equipado com detectores de elétrons secundários e CL no Igc-CPGeo-USP. As condições mais comuns de análise foram: emissão de corrente de 60 μA , voltagem de aceleração de 15 kV, diâmetro de irradiação de 7 μm , tempo de aquisição de 200 μs e resolução de 1024 x 884. Posteriormente, foi realizada a análise U-Pb dos *mounts*, utilizando um equipamento SHRIMP-II e conforme os procedimentos analíticos descritos por Williams (1988). A correção do Pb comum foi feita com base no ^{204}Pb medido, e a razão típica de erro $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi menor que 2%. A abundância de Urânio e razão U-Pb foram calibrados pelo padrão TEMORA e as idades calculadas por meio do *software* *elsoplot* versão 3.0 (Ludwig, 2003). Os erros são referidos como desvios de 1σ e as idades foram calculadas com intervalo de confiança de 95%.

4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbarin, B. 1996. Genesis of the two main types of peraluminous granitoids. *Geology*, 24(4): 295-298.
- Barbarin, B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*. 46: 605-626.
- 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(1): 186-189.
- Bitencourt, M.F., Nardi, L.V.S., Florisbal, L.M., Heaman, L. 2015. Geology, geochronology and petrogenesis of a Neoproterozoic, syntectonic sillimanite-muscovite-biotite granite from southernmost Brazil. In: EIGHTH HUTTON SYMPOSIUM ON GRANITES AND RELATED ROCKS, 2015, Florianópolis, Brasil, Book of Abstracts, PT.153.
- Black, L.P., Kamo, S.L., Allen, C.M., Davis, D.W., Aleinikoff, J.N., Valley, J.W., Mundil, R., Campbell, I.H., Korsch, R.J., Williams, I.S. 2004. Improved $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element-related matrix effect: SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. *Chemistry Geology* 205: 115-140.
- Chappell, B.W. & White, A.J.R. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology* 8: 174-184.
- Chemale Jr., F. 2000. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense, in: Holz, M., De Roz, L.F. (Eds), Geologia do Rio Grande do Sul. CIGO/UFRGS, Porto Alegre, pp. 13-52.
- Chemale Jr., F., Mallmann, G., Bitencourt, M.F., Kawashita, K. 2012. Time constraints on magmatism along the Major Gercino Shear Zone, southern

Brazil: Implications for West Gondwana reconstruction. *Gondwana Research* 22 (1),194-189.

Clarke, D. B. & Carruzo, S. 2007. Assimilation of country-rock ilmenite and rutile in the south mountain batholith, Nova Scotia, Canadian Mineral. 45:31-42.

Collins, W.J., Hobbs, B.E. 2001. What caused the Early Silurian change from mafic to silicic (S-type) magmatism in the eastern Lachlan Fold Belt? *Aust. J. Earth Sci.* 48, 25–42.

Di Vincenzo G., Andriessen P. A. M., and Ghezzi C., 1996. Evidence of two different components in a Hercynian peraluminous cordierite-bearing granite: The San Basilio intrusion (Central Sardinia, Italy). *Journal Petrology* 37:1175-1206

Didier J. 1982. Mantle and crustal granites: Genetic classification of orogenic granites and the nature of their enclaves. *Journal Volcanic Geology Research* 14:125-132.

Didier J., 1984. The problem of enclaves in granitic rocks, a review of recent ideas on their origin. In, *Geology of Granites and Their Metallogenic Relations*. K. T. Xu, G. Beijing, Science Press: 137-144.

Fernandes, L. A. D., Menegat, R., Costa, A. F. U., Koester, E., Kramer, G., Tommasi, A., Porcher, C. C., Ramgrab, G. E., Camozzato, E. 1995. Evolução tectônica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte II – uma contribuição a partir das assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências* 25:375-384.

Fernades, L.A.D, Tommasil, A., Porcher, C.C. 1992. Deformation patterns in the southern Brazilian branch of the Dom Feliciano Belt: a reappraisal. *Journal of South American Earth Sciences*, 5(1):77-9.

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. 13-22.

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: constrains on the temporal evolution of the Dorsal de Canguçutranscurrent Shear Zone and Eastern Dom Feliciano Belt. *In: South American Symposium on Isotope Geology IV, Short Papers*, Salvador 1: 174-177.

Hartmann, L.A., Chemale Jr., F., Philipp, R.P. 2007. Evolução geotectônica do Rio Grande do Sul no Pré-Cambriano, in: Ianuzzi, R., Frantz, J.C. (Org.), 50 anos de Geologia. Editora Comunicação e Identidade, Porto Alegre, v. 1, pp. 97-123.

Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M., Silva, L.C., Trouw, R.A.J., Janasi, V.C. 2004. A Província Mantiqueira. *In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Eds.), O desvendar de um continente: a moderna geologia da América do Sul e o legado da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*, pp. 203-234.

Issler, R.S. 1982. Evento geodinâmico brasileiro e fechamento de oceano e colisão continental dos Crátons Rio de La Plata e Dom Feliciano: granitos a duas micas e foliões. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 32, Anais, Salvador, vol. 1, pp. 24-38.

Janoušek, V., Farrow, C.M., Erban, V. 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (gcdkit). *Journal of Petrology*.47(6):1255-1259.

Jung, S., Hoernes, S., Masberg, P., Hoffer, E. 1999. The Petrogenesis Of Some Migmatites and Granites (Central Damara Orogen, Namibia): Evidence for

disequilibrium melting, wall-rock contamination and crystal fractionation.

Journal of Petrology 40:1241-1269.

Klein, F.G . 2012. *Petrologia do Granito Três Figueiras, Arroio Grande, RS. Porto Alegre, 69 p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.*

Koester, E. 1995. *Petrologia e geocronologia dos granitoides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu. Porto Alegre, 240 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.*

Koester, E., Fernandes, L. A. D., Soliani JR., E., Kraemer, G., Nardi, L. V. S., Roisenberg, A. 2001a. *Geologia e geoquímica dos granitoides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu, Encruzilhada do Sul, RS. Revista Brasileira de Geociências, 31(2):141-154.*

Koester, E., Roisenberg, A., Fernandes, L.A.D., Soliani Jr., E., Nardi, L.V.S., Kraemer, G. 2001b. *Petrologia dos granitoides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu, Encruzilhada do Sul, RS. Revista Brasileira de Geociências, 31(2): 131-140.*

Koester, E., Pawley, A.R. , Fernandes, L.A.D , Porcher, C. C., Soliani JR., E. 2002. *Experimental melting of cordierite gneiss and the petrogenesis of syntranscurrent peraluminous granites in the southern Brazil. Journal of Petrology, 48(43): 1595-1616.*

Leite, J.A.D., Hartmann, L.A., Fernandes, L.A.D., McNaughton, N.J., Soliani, E., Koester, E., Santos, J.O.S., Vasconcellos, M.A.Z. 2000. *Zircon U-Pb SHRIMP dating of gneissic basement of the Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil. Journal of South American Earth Sciences 13, 739–750.*

Loureiro, P. O. 2013. *Evolução Magmática do Complexo Pinheiro Machado na região de Monte Bonito, Pelotas, RS. Porto Alegre, 75p. Monografia de*

Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ludwig, K. R. 2003. User's manual for Isoplot 3.0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, 71 p.

Martil, M. M. D. 2016. O magmatismo de Arco Continental Pré-Colisional (790 Ma) e a reconstituição espaço-temporal do regime transpressivo (650 Ma) no Complexo Várzea do Capivarita, Sul da Província Mantiqueira. Porto Alegre, 168 p. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

Montel, J. M. & Vielzeuf, D. 1997. Partial melting of metagreywackes
.2. compositions of minerals and melts. *Contributions Mineral Petrology*
128:176-196.

Nardi, L.V.S. & Frantz, J.C. 1995. The Cordilheira intrusive suite: late
Proterozoic peraluminous granitoids from the southern Brazil. *Journal of South
American Earth Sciences* 8(1): 55-63.

Niessing, M. 2007. Geology and Stratigraphy Definition of The Butiá Granite a
syllimanite bearing syntectonic leucogranite from the Sul-rio-grandense
Shield. Dissertação de Mestrado. Munique. Technische Universität München.

Patiño Douce, A.E. 1999. What do experiments tell us about the relative
contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? *In: Castro, A.,
Fernandez, C., Vigneresse, J.E. (Eds.) Understanding Granites: New and
Classical Techniques*. Geological Society of London, Special Publications, v.
168, p. 55-75.

Patiño-Douce, A. E. & Harris, N., 1998. Experimental constraints on
himalayan anatexis. *Journal of Petrology* 39:689-710.

Pertille, J., Hartmann, L.A., Philipp R.P. 2015. Zircon U-Pb age constraints on the Paleoproterozoic sedimentary basement of the Ediacaran Porongos Group, Sul Rio-grandense Shield, southern Brazil: *Journal of South American Earth Sciences*, 63:334-345.

Philipp, R.P. 1998. *A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul*. São Paulo, 255p. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1998.

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 de geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2): 277-290.

Philipp, R.P., Mesquita, M.J.M., Gomes, M.E.B., Almeida, D.P.M. 1993. Reconhecimento estrutural e geoquímico dos granitóides Brasilianos na região de Pelotas, RS. *Revista Pesquisas em Geociências* 20(2): 3-13.

Philipp, R.P., Nardi, L.V.S., Bitencourt, M.F. 2000. O Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul. In: Holz, Michel, De Ros, L.F. (Org.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. 1 ed. Porto Alegre, Ed. UFRGS p. 133-160.

Philipp, R.P., Massone, H.J, Campos, R,S. 2013. Peraluminousleucogranites 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: 08-24.

Picada, R.S. 1965. Ocorrências de migmatitos, granitos e gnaiss controlados por fraturas regionais, Encruzilhada do Sul, RS. UFRGS, Porto Alegre. Boletim da Escola de Geologia 14, 7- 59.

- Picada, R.S. 1969. Faixa de granitos sincinemáticos no Escudo Sul-Riograndense. In:SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 23, Resumo de Comunicações, Salvador, no 86.
- Porcher, C.A. (Coord.) 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Folha Cachoeira SH.22-Y-A. Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:250.000. Brasília, CPRM, 131p.
- Ramos, R.C. 2011. *Geologia da Região de Arroio Grande, RS*. Porto Alegre 88p., Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Ramos, R. C.& Koester, E. 2014. Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-Riograndense. *Pesquisa em Geociências* 41(1): 25-38.
- Ramos, R. C. & Koester, E. 2015. Litho-geochemistry of the meta-igneous units from Arroio Grande Ophiolitic Complex, southernmost Brazil. *Brazilian Journal of Geology* 45(1): 65-78.
- Saalmann, K., Gerdes, A., Lahaye, Y., Hartmann, L.A., Remus, M.V.D., Läufer, A. 2011. Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de la Plata craton: the prolonged Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. *International Journal Earth Sciences* 100: 355-378
- Sawyer, E.W., Cesare, B., Brown M. 2011. When the continental crust melts. *Elements* 7: 227-232
- Shand, S.J. 1927. *Eruptive Rocks, Their Genesis, Composition Classification and Their Reaction to Ore-Deposits, with a Chapter on Meteorites*. Murby, London.

Silva, R. F. & Koester, E. 2014. Petrologia do Granito Capão do Leão, Domínio Leste do Escudo Sul-Rio-Grandense, RS. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 47., 2014, Salvador. *Anais...* Salvador, SBG, p. 860.

Stevens, G., Clemens, J.D., Droop, G.T.R. 1997. Melt production during granulite-facies anatexis: experimental data from “primitive” metasedimentary protoliths. *Contribution Mineral Petrology* 128, 352–370.

Streckeisen, A.L. 1976. Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: a provisional attempt. *Neues Jahrbuch für Mineralogie* 1: 1-15.

Tickyj, H., Hartmann, L. A., Vasconcellos, M., Philipp, R. P., Remus, M. V. D. 2004. Electronmicroprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the southern Brazilian Shield. *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 699-713.

Trainini, D. R. 1987. *Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais*, Folhas SI-22 Jaguarão-Rio Grande. 8 mapas. Escala 1:250.000, Convênio DNPM/CPRM, Porto Alegre.

UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1972. Geologia das folhas de Arroio Grande, Erval, Basílio e Cerro Chato. Porto Alegre. Monografia de Conclusão de Curso de Graduação, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Vieira, D.T., Koester, E., Bertotti, A.L. 2016. Petrology of Chasqueiro Granite, Arroio Grande region, southeastern Sul-Rio-Grandense Shield. *Brazilian Journal of Geology*, 46(1): 49-78.

Vielzeuf, D. & Schmidt, M. W. 2001. Melting relations in hydrous systems revisited: application to metapelites, metagreywackes and metabasalts. *Contribution Mineral Petrol.* 141:251-267.

- Villaseca, C. Herreros, V. 2000. A sustained felsic magmatic system: the Hercynian granitic batholith of the Spanish Central System. *Trans Roy SocEdinb*, Earth Sciences 91: 207–219.
- Wall, V.J., Clemens, J.D., Clarke, D.B. 1987. Models for granitoid evolution and source compositions. *Journal of Geology* 95, 731–750.
- Weinberg., R. F. 2016. Himalayan leucogranites and migmatites: nature, timing and duration of anatexis. *Journal of Metamorphic Geology* 34 (8): 821-843.
- White A. J. R. & Chappell B. W., 1988. Some supracrustal (S-type) granites of the Lachlan Fold Belt. *Trans. Royal Soc. Edinburgh*, Earth Sciences 79:169-181.
- Williams, I.S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: McKibben, M.A., Shanks, W.C., Ridley, W.I. (Eds.), *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes*, *Reviews in Economic Geology*, 7, pp. 1-35
- Zen, E-An. 1988. Bedrock geology of the Vipond Park 15-minute, Stine Mountain 7 1/2 -minute, and Maurice Mountain 7 1/2-minute quadrangles, Pioneer Mountains, Beaverhead County, Montana: U.S Geological Survey Bulletin. 49p.

CAPÍTULO IV

Porto Alegre, 19 de julho de 2017.

Ao Fernando Galvão Klein 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. Contudo, para dar prosseguimentos às atividades editoriais, é necessário realizar ajustes, necessitando, portanto, de nova submissão.

Os principais problemas encontrados dizem respeito ao conteúdo do resumo/abstract.

Agradeço a seleção de *Pesquisas em Geociências* para a publicação de sua contribuição. Uma nova versão é aguardada até o dia 26/07/2017.

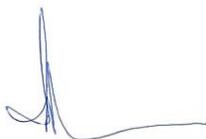
Observações:

- a) Salvar a nova versão em pdf como o nome Man 665 Klein et al v3
- b) Na mensagem eletrônica, no campo "assunto", inserir: Man 665 Klein et al.

Manuscrito 665: Geologia do Granito Três Figueiras: magmatismo peraluminoso de 585 Ma no sudeste do Cinturão Dom Feliciano.

Autores: Fernando Galvão Klein, Edinei Koester, Daniel Triboli Vieira, Carla Cristine Porcher, Ruy Paulo Philipp & Rodrigo Chaves Ramos.

Atenciosamente,



Prof. Dr. Paulo Alves de Souza - Editor Chefe

Pesquisas em Geociências

Instituto de Geociências – Departamento de Paleontologia e Estratigrafia

Av. Bento Gonçalves, nº 9500 - Bloco 1 - Prédio 43127

CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil.

Email: paulo.alves.souza@ufrgs.br

1 **Geologia do Granito Três Figueiras: magmatismo peraluminoso de 585 Ma** 2 **no sudeste do Cinturão Dom Feliciano**

3 4 **Geology of the Três Figueiras Granite: peraluminous magmatism at 585** 5 **Ma in Southeastern Dom Feliciano Belt**

6
7 Fernando Galvão KLEIN ¹, Edinei KOESTER ², Daniel Triboli VIEIRA ¹,
8 Rodrigo Chaves RAMOS ¹, Carla Cristine PORCHER ² & Ruy Paulo PHILIPP ³

9
10 1. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Caixa
11 Postal 15.001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: fergklein@gmail.com, danieltriboli@hotmail.com,
12 rodrigo.chaves@ufrgs.br.

13 2. Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves,
14 9500, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: koester@ufrgs.br, carla.porcher@ufrgs.br.

15 3. Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av.
16 Bento Gonçalves, 9500, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: ruy.philipp@ufrgs.br.

17
18 **Resumo.** O Granito Três Figueiras representa a única ocorrência de granitos
19 peraluminosos no extremo sudeste do Cinturão Dom Feliciano (RS). Este tipo de granito
20 pode conter informações importantes a respeito do ambiente tectônico e evolução
21 tectônica e termal de um cinturão orogênico. O objetivo deste trabalho é a caracterização
22 geológica do Granito Três Figueiras, com base em dados de campo, geologia estrutural,
23 petrografia, geoquímica e geocronologia. O granito é cinza claro, composto por quartzo,
24 K-feldspato, plagioclásio, muscovita, biotita (M' 7-10), com granada, turmalina, zircão,
25 monazita e apatita como minerais acessórios. É um granito sincinemático à Zona de
26 Cisalhamento Arroio grande, onde desenvolve uma trama milonítica com foliação
27 tectônica subvertical com mergulho > 70° para SE e lineação de estiramento sub-
28 horizontal marcada pelas micas e agregados estirados de quartzo e feldspato, com direção
29 N80°E e caimento de até 10° para ENE, que demonstram o caráter transcorrente desta
30 zona. As microestruturas e texturas indicam temperaturas de deformação de pelo menos
31 550°C e cinemática dextral para esta zona de cisalhamento. O granito é classificado como
32 peraluminoso, com teores de A/CNK entre 1,07 e 1,21 e coríndon normativo entre 1,2 a 3
33 %. Possui altos teores de SiO₂, Al₂O₃, álcalis, e baixos teores de FeO, MgO e TiO₂.
34 Apresenta correlação negativa para a maioria dos elementos maiores, o que indica que o
35 principal processo de evolução magmática foi a cristalização fracionada. Uma fonte
36 homogênea é sugerida a partir da relação entre elementos traços e ETR. Com a datação
37 U-Pb se obteve uma idade de cristalização magmática de 585 ± 16 Ma, que registra um
38 importante de evento fusão crustal para o extremo sudeste do Cinturão Dom Feliciano.

39
40 **Palavras-chave.** Petrologia, Geoquímica, U-Pb, SHRIMP

41
42 **Abstract.** The Três Figueiras Granite represents the unique occurrence of peraluminous
43 granite in the southeastern Dom Feliciano Belt. Peraluminous granite may contain

44 important data about the tectonic environment and thermal evolution of a Mountain Belt.
45 The main goal of this work is to make the geologic characterization of the Três Figueiras
46 Granite, based on field data, structural geology, petrography, geochemistry and
47 geochronology. The granite is light grey coloured composed by quartz, K-feldspar,
48 plagioclase, muscovite, biotite (M₁ 7-10), with garnet, tourmaline, zircon, monazite and
49 apatite as accessory minerals. It is synkinematic to the Arroio Grande Shear Zone, where
50 it develops a mylonitic fabric with subvertical tectonic foliation with dip >70° for SE and
51 a stretching lineation marked by elongated micas and aggregates of quartz and feldspar,
52 both with a N80°E trend dipping 10° ENE. The observed microstructures and textures
53 show deformation temperature of at least 550 °C and dextral kinematic. It's classified as a
54 peraluminous granite with A/CNK content ranging between 1.07 and 1.21 and normative
55 corundum from 1.2 to 3 % It has high SiO₂, Al₂O₃ and alkalis (K₂O + NaO) and low FeO,
56 MgO and TiO₂ contents. In Harker diagrams shows negative correlation for most of the
57 major elements in response to the fractional crystallization process. Multi-element
58 diagrams indicate a uniform source for the entire set of samples. Zircon U-Pb SHRIMP
59 dating yielded an age of 585 ± 16 Ma, interpreted as magmatic crystallization an
60 important record of Neoproterozoic peraluminous *magmatism in the southeastern portion*
61 *of the Eastern Domain of Dom Feliciano Belt.*

62 **Keywords.** Três Figueiras Granite, Peraluminous, Dom Feliciano Belt, Petrology, U-Pb
63 SHRIMP
64

65 1 Introdução

66

67 Rochas graníticas de natureza peraluminosa estão presentes em muitos cinturões
68 orogênicos, de idades variadas desde o Pré-cambriano até o Fanerozoico (White & Chappell,
69 1977; Barbarin, 1996). Diversos trabalhos tratam da importância e discutem a formação
70 destas rochas com base em critérios como a composição da fonte (Chappell & White, 1974 e
71 1992), ambiente tectônico relacionado (Pitcher, 1983; Pearce *et al.*, 1984; Barbarin, 1990 e
72 1996), ou com base em processos de diferenciação magmática (Wilson, 1989). De modo
73 geral, granitos peraluminosos são denominados granitos tipo S (White & Chappell, 1977),
74 cujas implicações tectônicas estão associadas a ambientes colisionais, sendo considerados
75 granitos de fusão crustal (Pitcher, 1983; Barbarin, 1996; Patiño-Douce, 1999), ou tipo I, com
76 origem relacionada à fusão de rochas ígneas (Pérez-Soba & Villaseca, 2010).

77 Conforme Barbarin (1999) os granitos peraluminosos podem ser divididos em MPG
78 (*muscovite-bearing peraluminous granitoids*) e CPG (*cordierite-bearing peraluminous*
79 *granitoids*). MPG são granitos a duas micas, com presença de muscovita primária, podendo
80 conter minerais acessórios como turmalina, granada e monazita. Geralmente são rochas com
81 poucos enclaves que, quando presentes, costumam ser xenólitos da rocha encaixante, margens
82 resfriadas ou restitos. Exemplos deste tipo de granito podem ser encontrados no cinturão
83 Hercíniano do oeste europeu (De La Roche *et al.*, 1980; Lamerye, 1980) e nos leucogranitos
84 Himalaianos (Le Fort, 1981). Os CPG constituem granitoides peraluminosos com presença de

85 cordierita, podendo ser abundante e estar associada com silimanita e, mais raramente,
86 andaluzita. Estes granitoides podem hospedar enclaves restíticos ricos em mica ou máficos
87 microgranulares, principalmente em zonas mais profundas quando relacionados com rochas
88 metamórficas de alto grau. Exemplos destes granitoides podem ser encontrados no *Lachlan*
89 *Fold Belt* (White & Chappell, 1983).

90 Com relação à origem de magmas peraluminosos, são quimicamente discriminados
91 por teores de $A/CNK > 1$ (Shand, 1943) e presença de coríndon normativo. Os MPG e CPG
92 são granitos de origem crustal, de modo que suas principais diferenças químicas estão
93 relacionadas com o caráter peraluminoso destes magmas, que apresentam tendências de
94 aumento da peraluminosidade com a diferenciação para o MPG, enquanto decresce ou
95 aumenta levemente para os CPG (Barbarin, 1999).

96 Granitos peraluminosos, produtos de fusões em ambientes colisionais, são produzidos
97 onde há espessamento crustal durante a colisão entre continentes, sendo sua gênese controlada
98 não apenas pela natureza da fonte, mas também pelas condições de anatexia crustal destes
99 ambientes (Barbarin, 1996). Nesse sentido, os MPG se formam quando há anatexia favorecida
100 por zonas de cisalhamento de grande escala e tendem a se hospedar em zonas transcorrentes
101 ou de empurrão, enquanto os tipo CPG são produzidos por *underplating* ou injeções locais de
102 material derivado do manto e tendem a se dispersar pelo cinturão montanhoso ou estarem
103 relacionados com rochas metamórficas de alto grau na raiz destes cinturões (Barbarin, 1999).

104 Rochas da crosta continental como metapelitos e quartzo-feldspáticas começam a
105 fundir parcialmente a temperaturas de 650 °C gerando um líquido de composição granítica. Se
106 haverá ou não fusão e a quantidade de material gerado depende da quantidade de água
107 disponível. Desta forma, as rochas podem fundir quando o conteúdo de H₂O está ocupando os
108 poros e limites de grãos como um líquido livre a temperaturas mais baixas por um processo
109 denominado *fluid-present melting* (fusão na presença de fluido), ou por fusão incongruente
110 pela quebra de minerais hidratados como biotita, muscovita e anfibólio. Considerando-se que
111 rochas cristalinas possuem baixa porosidade e são pouco hidratadas, os produtos de fusão
112 neste caso gerariam um volume de magma pouco expressivo, enquanto que grandes volumes
113 de magmas poderiam ser gerados por fusão incongruente. Entretanto, em zonas que já estão
114 em altas temperaturas, quando há entrada ou circulação de volumes consideráveis de água, os
115 processos de fusão são facilitados e podem ocorrer em larga escala (Sawyer *et al.*, 2011).

116 Conforme Sawyer *et al.* (2011) rochas pelíticas produzem líquidos de composição
117 granítica a partir de fusão incongruente a temperaturas da ordem de 720~820 °C. Magmas de
118 composições tonalíticas são obtidos por fusão incongruente a temperaturas da ordem de 750

119 °C em fontes como metagrauvacas e 800 °C de anfibolitos. Este processo de fusão
120 incongruente por quebra de minerais hidratados explica de forma satisfatória fusões destas
121 composições para estes tipos de rochas. Entretanto, não é adequado para rochas quartzo-
122 feldspáticas que geralmente contém poucos minerais hidratados em sua composição, como
123 leucogranitos, trondhjemitos e tonalitos.

124 Estudos recentes mostram que terrenos metamórficos podem fundir parcialmente
125 quantidades significativas com a entrada de líquido no sistema, levando a fusão por *water-*
126 *fluxed melting* a temperaturas em torno de 700 °C. A origem do líquido nestes casos pode ser
127 por reações de desidratação de metapelitos ou câmaras próximas, por infiltrações profundas
128 de águas meteóricas, fluidos associados às zonas de cisalhamento, ou ainda, oriundos do
129 manto (Sawyer *et al.*, 2011).

130 Desta forma, granitos peraluminosos podem fornecer informações importantes a
131 respeito do ambiente tectônico, bem como auxiliar no entendimento da evolução tectônica e
132 termal de um cinturão orogênico.

133 No contexto geológico do Escudo Sul-rio-grandense, granitos peraluminosos são
134 identificados principalmente na região de Encruzilhada do Sul, no domínio central do
135 Cinturão Dom Feliciano. Estes granitos são descritos por diversos autores a partir de suas
136 características de campo, petrográficas, mineralógicas, estruturais, químicas, bem como
137 discutidos seus processos de gênese e fontes (Fernandes *et al.*, 1995; Koester, 1995; Nardi &
138 Frantz, 1995; Philipp, 1998; Koester *et al.*, 2001a, 2001b, 2002; Frantz *et al.*, 2003; Philipp *et*
139 *al.*, 2013). Dentre este magmatismo, os principais corpos graníticos são os metagranitoides
140 Arroio Francisquinho e Cordilheira, pertencentes a Suíte Granítica Cordilheira, descritos por
141 Koester *et al.* (2001a, 2001b). Estas rochas são datadas e interpretadas por estes autores, como
142 um importante evento de magmatismo neoproterozoico sintectônico à Zona de Cisalhamento
143 Transcorrente Dorsal de Canguçu, com idades de cristalização entre 630 a 617 Ma.

144 Trabalhos de mapeamentos geológicos no sudeste do Cinturão Dom Feliciano
145 (UFRGS, 1972; Trainini, 1987; Philipp, 1998; Wildner *et al.*, 2007, Klein, 2012) reportam a
146 presença de um corpo granítico peraluminoso na região de Arroio Grande, denominado de
147 Granito Figueirinha (UFRGS, 1972), Três Figueiras (Trainini, 1987; Philipp, 1998) e Arroio
148 Grande (Wildner *et al.*, 2007). A idade de cristalização magmática desse granitoide é de $558 \pm$
149 57 Ma, obtida pelo método Th-U-Pb em cristais de monazita a partir de EPMA (Tickyj *et al.*,
150 2004).

151 O objetivo deste trabalho é realizar a caracterização geológica, estrutural, geoquímica
152 e geocronológica do GTF, que representa um importante evento de magmatismo

153 neoproterozoico peraluminoso associado à zona de cisalhamento Arroio Grande no sudeste do
154 Cinturão Dom Feliciano.

155

156 **2 Área de estudo, materiais e métodos**

157 *2.1 Localização da Área*

158

159 A área de estudo está localizada no Cinturão Dom Feliciano, cinturão orogênico
160 neoproterozoico relacionado ao ciclo Brasileiro/Pan-Africano. Esse cinturão se estende de
161 Punta del Este (Uruguai) até o leste do estado de Santa Catarina no Brasil (Heilbron *et al.*,
162 2004).

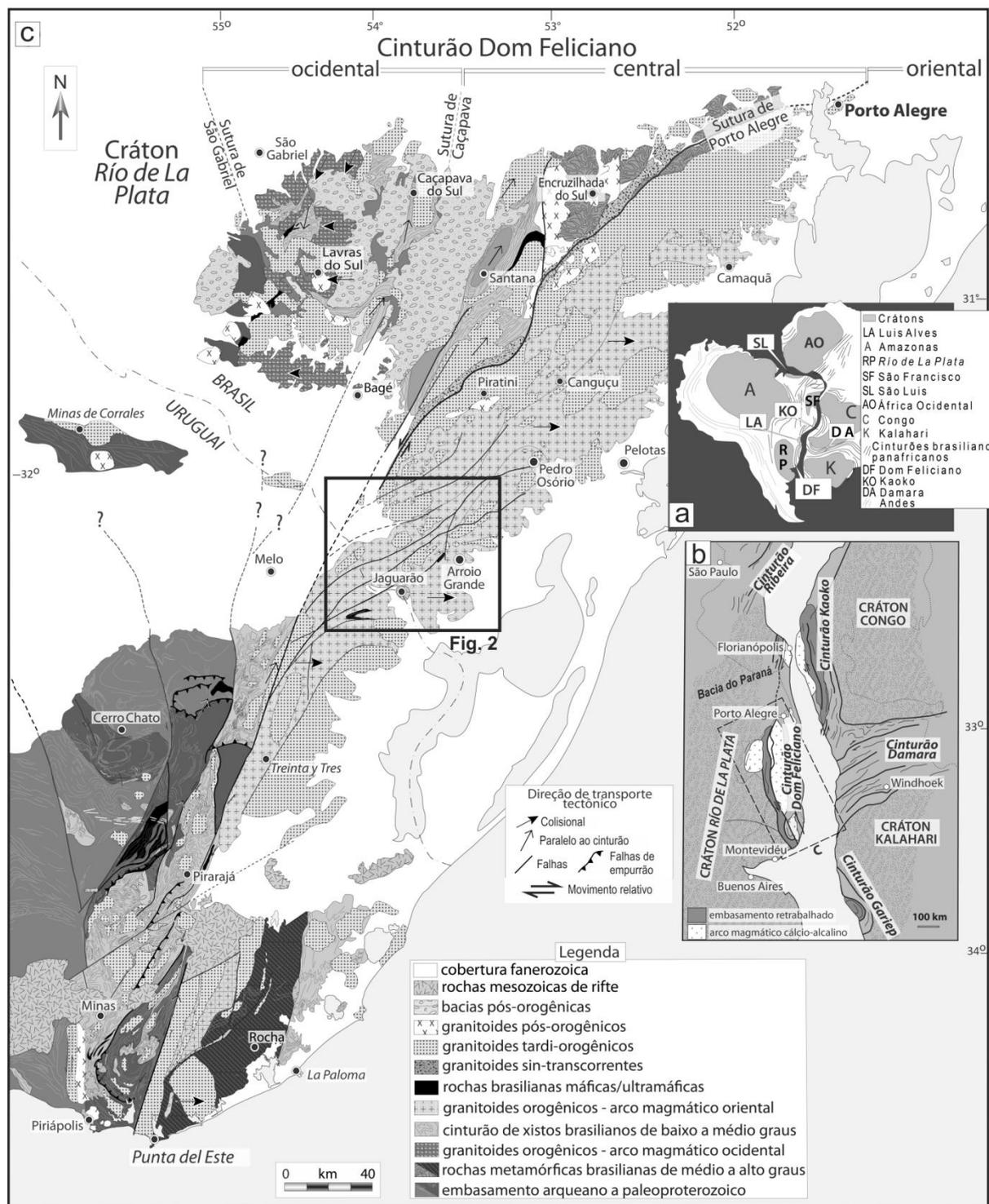
163 No Rio Grande do Sul o Cinturão Dom Feliciano é dividido em três domínios, baseado
164 em critérios geológicos e geofísicos (Fernandes *et al.* 1995): domínios Ocidental, Central e
165 Oriental. O Domínio Oriental, onde está situado o GTF, é limitado a oeste pela Zona de
166 Cisalhamento Dorsal do Canguçu e Sutura de Porto Alegre, que o separam do Domínio
167 Central. A leste, é limitado pela Planície Costeira (sedimentos quaternários). A norte, por
168 rochas metassedimentares paleozoicas e mesozoicas da Bacia do Paraná. A sul o domínio se
169 estende até Punta del Este, no Uruguai.

170 No Domínio Oriental no Rio Grande do Sul, parcialmente equivalente ao Batólito
171 Pelotas (Fragoso-César *et al.* 1986), predominam granitoides cálcio-alcalinos alto-K de idade
172 neoproterozoica, vinculados à zona de subducção. Subordinadamente, são encontrados
173 xenólitos métricos a quilométricos de rochas metamórficas diversas, que representam crosta
174 continental e oceânica pretérita (Fragoso César *et al.*, 1986; Philipp *et al.*, 2002).

175 As unidades graníticas dos Domínios Oriental e Central foram agrupadas em seis
176 suítes graníticas intrusivas (Philipp, 1998; Philipp *et al.*, 2002), sendo elas: Pinheiro
177 Machado, Erval, Encruzilhada do Sul, Viamão, Dom Feliciano e Cordilheira. Por sua
178 composição, o GTF é incluído junto aos granitos da Suíte Cordilheira, de afinidade
179 peraluminosa (Philipp *et al.*, 2013).

180 O Domínio Oriental é marcado pela presença de zonas de cisalhamento que controlam
181 o magmatismo pós-orogênico, denominadas por Bitencourt & Nardi (2000) de Cinturão de
182 Cisalhamento Sul Brasileiro, o qual compreende uma série de zonas de cisalhamento
183 transcorrentes anastomosadas, com direção predominantemente N-S a N60°E, com cinemática
184 tanto dextral quanto sinistral. Dentre essas zonas destaca-se a Zona de Cisalhamento
185 Transcorrente Dorsal do Canguçu, que possui um importante evento de magmatismo
186 peraluminoso sintectônico associado, de idade 630~617 Ma, relacionado às rochas da Suíte

187 Cordilheira (Koester *et al.*, 2001a, 2001b). Já na porção SE do Domínio Oriental, Machado *et al.*
 188 *al.* (1995) descrevem as Zonas de Cisalhamento Ayrosa Galvão, Zona de Cisalhamento Erval
 189 e Zona de Cisalhamento Arroio Grande, estando o GTF associado a essa última estrutura.



190

191 **Figura 1.** Esboço geológico do Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-sul-rio-
 192 grandense. A) Configuração do Gondwana com as principais áreas cratônicas e cinturões
 193 relacionados ao Cinturão Dom Feliciano; B) Mapa geológico do Cinturão Dom Feliciano e

194 Cráton Rio de La Plata no sul do Brasil e Uruguai; C) Localização do Cinturão Dom Feliciano
195 e cinturões africanos adjacentes na configuração do Gondwana (modificado de Masquelin *et*
196 *al.*, 2012).

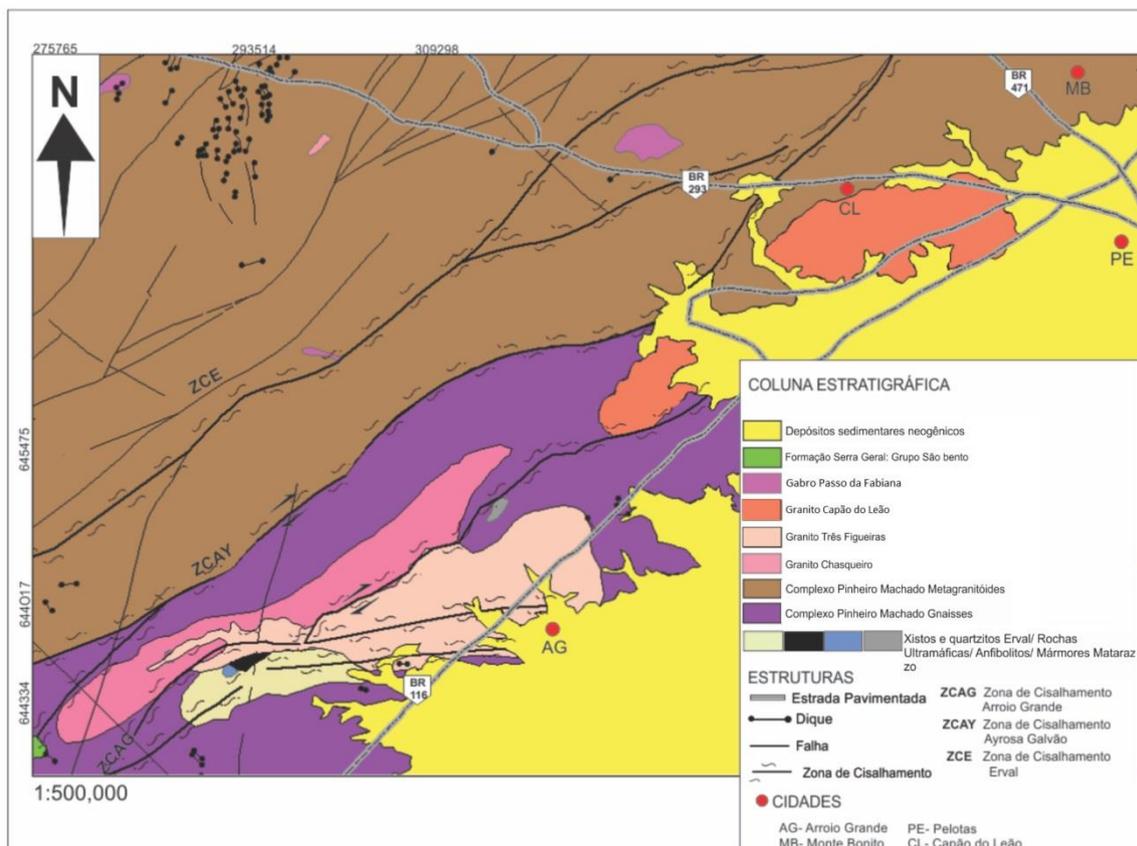
197 **Figure 1.** *Geological context of Dom Feliciano Belt in the Uruguayan-sul-rio-grandense*
198 *Shield. A) Gondwana configuration with main cratonic areas and mountain belts related to*
199 *Dom Feliciano Belt; B) Geologic map of Dom Feliciano Belt and Rio de La Plata Craton in*
200 *south Brazil and Uruguay; C) Location of Dom Feliciano Belt and adjacent African Belts on*
201 *Gondwana configuration (modified from Masquelin et al., 2012).*

202

203 Na área de estudo (Fig. 2), além do GTF, são encontradas unidades neoproterozoicas
204 relacionadas ao (i) Complexo Ofiolítico Arroio Grande; (ii) Complexo Pinheiro Machado;
205 (iii) Granito Chasqueiro; e (iv) Granito Capão do Leão. Dessas, apenas o granito Capão do
206 Leão não faz contato com o GTF. A porção leste do GTF é recoberta por sedimentos da
207 Planície Costeira.

208 O Complexo Ofiolítico Arroio Grande (Ramos & Koester, 2014, 2015) é composto
209 por anfibolitos, serpentinitos e xistos magnesianos cromíferos (metaultramáficas), além de
210 rochas metassedimentares químicas (mármore Matarazzo) e clásticas (xistos e quartzitos
211 Arroio Grande), estas últimas sendo as rochas metamórficas mais abundantes na região. Estas
212 rochas são interpretadas como fragmentos de crosta oceânica e sedimentos marinhos
213 associados, anexados ao continente por processos de obdução e posteriormente
214 metamorizados.

215



216
217 **Figura 2.** Mapa geológico da região de Arroio Grande.

218 *Figure 2.* Geologic map of the Arroio Grande region.

219

220 O Complexo Pinheiro Machado na área de estudo é caracterizado por granitoides
221 cinzentos equigranulares a porfiríticos, com origem relacionada à subducção de crosta
222 oceânica sob margem continental espessada, com fragmentos de gnaisses e anfibolitos
223 (Philipp *et al.*, 2000; Loureiro, 2013; Ramos & Koester, 2014).

224 O Granito Chasqueiro é um granito de coloração cinza claro, porfirítico com
225 megacristais de K-feldspato imersos em uma matriz equigranular média, encaixado na Zona
226 de Cisalhamento Arroio Grande. Nas zonas afetadas pelo cisalhamento desenvolve texturas
227 protomiloníticas a miloníticas. Apresenta contatos bruscos e intrusivos com a litologias
228 encaixantes (Philipp, 1998; Vieira *et al.*, 2016).

229 O Granito Capão do Leão é um corpo em forma elíptica com estrutura maciça. São
230 leucogranitos de textura equigranular média a grossa, composição sieno a monzogranítica,
231 com granada como principal fase acessória (Silva & Koester, 2014).

232

233

234

235 2.2 Materiais e Métodos

236

237 Para este trabalho foram realizadas etapas de campo, as quais foram descritos 79
238 pontos. Foram realizados croquis, tomadas atitudes de estruturas planares e lineares,
239 fotografias de feições de meso- e macroescala, bem como mapeada as dimensões do corpo
240 granítico e suas relações de contato com outras litologias. O tratamento dos dados estruturais
241 foi realizado utilizando o software *Stereonet*.

242 Foram selecionadas 15 amostras para confecção de lâminas delgadas junto ao
243 Laboratório de Apoio Analítico e Preparação de Amostras do Centro de Estudos em
244 Petrologia e Geoquímica. As descrições das lâminas foram realizadas com auxílio de
245 microscópio Meiji Techno® ML9720. Foram realizadas contagens modais em 5 amostras
246 correspondentes à porção magmática indeformada, com cerca de 500 pontos por lâmina.

247 Foram selecionadas 15 amostras representativas do granito para análises químicas. As
248 amostras selecionadas foram encaminhadas para preparação e análise no *Acme Analytical*
249 *Laboratorie Ltd.*, no Canadá, onde foram determinados elementos maiores, traço e terras
250 raras, por meio de ICP-MS. O tratamento e geração dos gráficos geoquímicos foi realizado
251 utilizando o *software* GCDkit (Janousek *et al.*, 2006).

252 As determinações das idades U-Pb SHRIMP foram conduzidas no Centro de Pesquisas
253 Geocronológicas da Universidade de São Paulo, Brasil. Os cristais de zircão foram separados
254 usando as convencionais técnicas de separação dos líquidos pesados e magnética.
255 Posteriormente, foi preparado o *mount* com os cristais em resina epóxi e polidos para
256 exposição do interior dos grãos, sendo utilizado o padrão TEMORA-2 (Black *et al.*, 2004). As
257 amostras foram revestidas com ouro e os *mounts* polidos foram examinados de forma
258 abrangente com microscópio eletrônico de varredura FEI Quanta 250 equipado com
259 detectores de elétrons secundários e catodoluminescência no IGc-CPGeo-USP. As condições
260 mais comuns de análise foram: emissão de corrente de 60 μA , voltagem de aceleração de 15.0
261 kV, diâmetro de irradiação de 7 μm , tempo de aquisição de 200 μs e resolução de 1024 x 884.
262 Posteriormente, foi realizada a análise U-Pb dos *mounts*, utilizando um equipamento
263 SHRIMP-IIe conforme os procedimentos analíticos descritos por Williams (1998). A correção
264 do Pb comum foi feita com base no ^{204}Pb medido, e a razão típica de erro $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ foi
265 menor que 2 %. A abundância de urânio e razão U-Pb foram calibrados pelo padrão
266 TEMORA e as idades calculadas por meio do *software* Isoplot versão 3.0 (Ludwig, 2003). Os
267 erros são referidos como desvios de 1σ e as idades foram calculadas com intervalo de
268 confiança de 95 %.

269 **3 Resultados**

270 *3.1 Geologia*

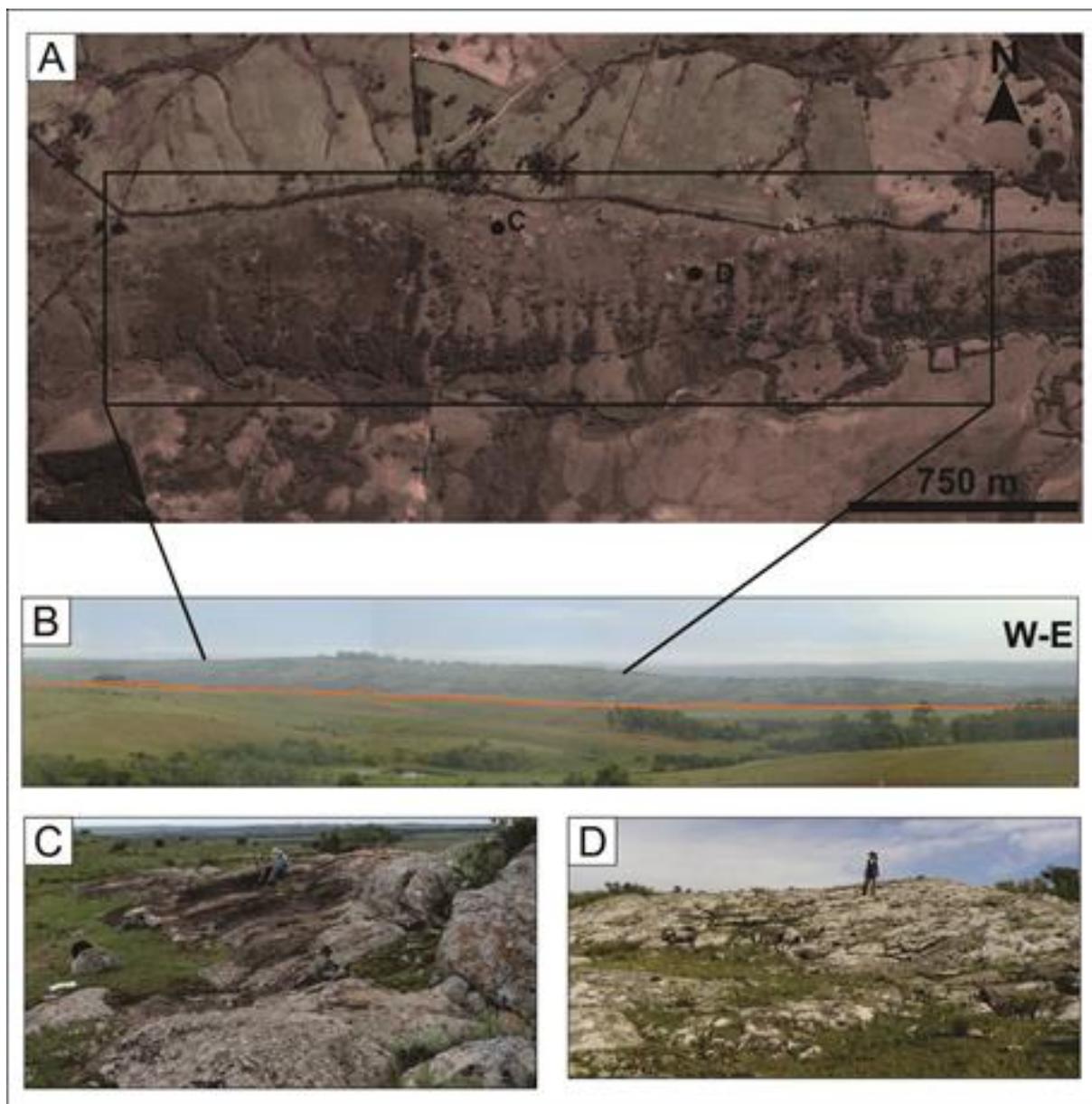
271

272 Trabalhos anteriores (UFRGS, 1972; Philipp, 1998) descrevem a geologia estrutural
273 da região de Arroio Grande, destacando a importância e controle de falhamentos com
274 disposições NE-SW, sendo que o principal é um sistema de deformação dúctil de alto ângulo,
275 com direção N70°E, denominado Zona de Cisalhamento Arroio Grande, à qual o GTF está
276 associado espacialmente.

277 A tectônica da região tem um controle estrutural WSW-ENE, que se manifesta em
278 todas as escalas de observação. UFRGS (1972) descreve o GTF como um corpo granítico
279 alongado, com estrutura foliada, que aflora em uma crista com orientação E-W, com largura
280 de 0,5 a 1 km e uma extensão de 14 km. No terreno, essas cristas são destacadas na paisagem
281 e configuram quebras de relevo na região (Fig. 3).

282 O GTF é um granito com duas micas que constitui em planta um corpo com formato
283 alongado segundo uma direção E-W, com aproximadamente 32 km de extensão variando de 6
284 km de espessura na porção oeste até 12 km de espessura na porção leste. Aflora na forma de
285 matacões e lajeados com dimensões variadas. Sob o ponto de vista textural e estrutural, possui
286 duas porções com características distintas, sendo i) porção magmática indeformada e ii)
287 porção deformada com texturas e estruturas tectônicas de caráter predominantemente dúctil. São
288 granitos *strictu sensu*, de coloração alaranjada variando em tons de cinza nos termos
289 miloníticos.

290



291
 292 **Figura 3.** Afloramentos típicos do granito estudado. A) Imagem de satélite (*Google Earth*®)
 293 das cristas formadas pelo Granito Três Figueiras; B) Cristas alongadas com orientação W-E,
 294 que configuram quebras de relevo e se destacam na paisagem da região; C) Afloramento em
 295 lajeado alongado W-E; D) Cristas alongadas W-E.

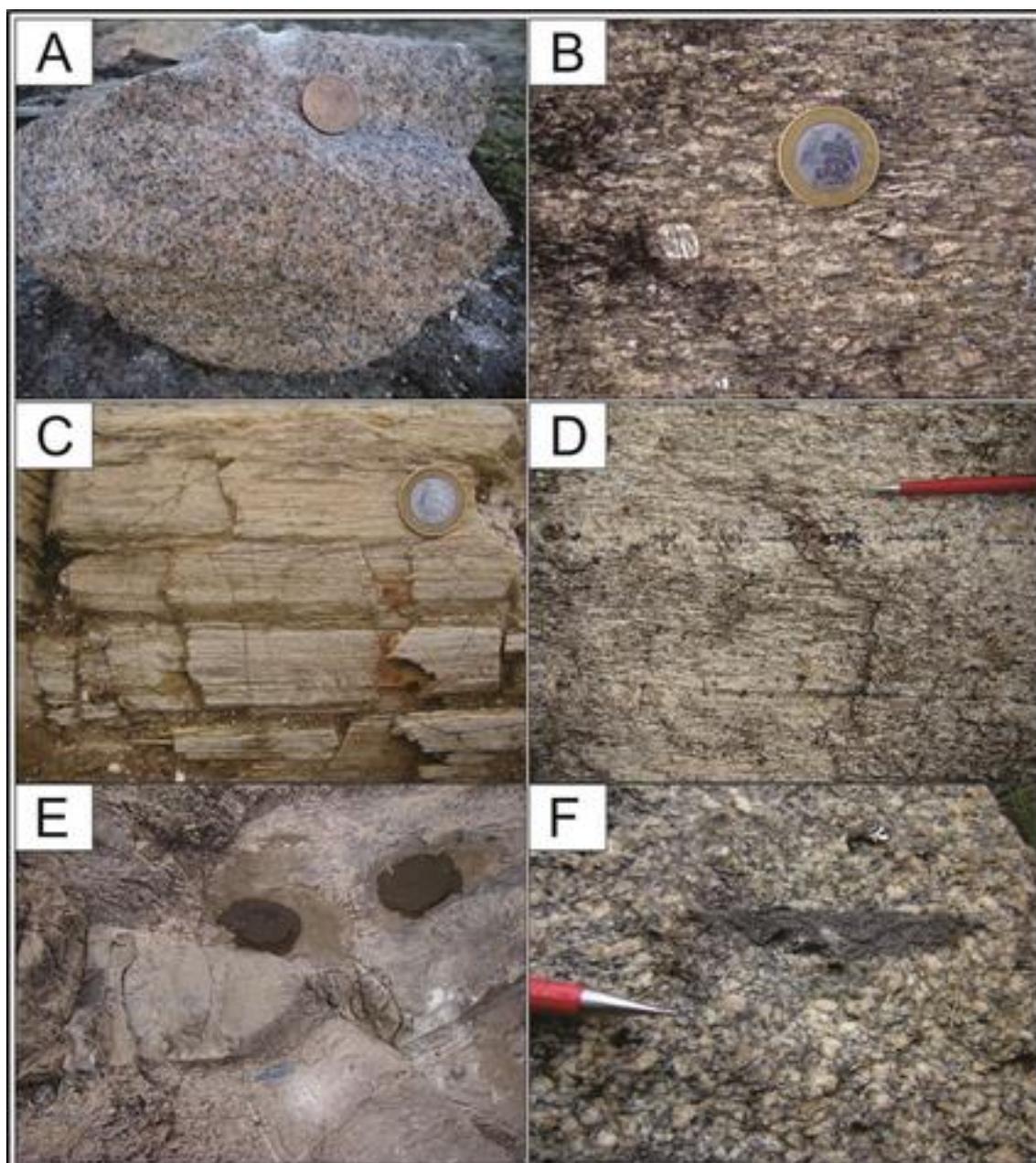
296 **Figure 3.** Typical outcrops of the studied granite. A) Satellite image (*Google Earth*®) of the
 297 *Três Figueiras Granite crest*; B) *W-E oriented, elongated crest, which marks a relief*
 298 *contrast*; C) *W-E elongated outcrop*; D) *W-E elongated crest*.

299

300 Este granito possui textura equigranular média, localmente heterogranular com cristais
 301 mais desenvolvidos de muscovita formando palhetas de até 1,5 cm. Sua mineralogia essencial
 302 é composta por K-feldspato, plagioclásio, quartzo, muscovita e/ou biotita. A presença de

303 minerais acessórios como granada e turmalina é comum, tendendo a ocorrer em concentrados.
304 Os termos indeformados possuem estrutura maciça, sendo possível observar localmente uma
305 foliação incipiente marcada pelo alinhamento das micas. A foliação milonítica é bem
306 desenvolvida nos termos deformados, marcada por trilhas de micas e/ou agregados alongados
307 de quartzo, formando protomilonitos e milonitos.

308 Embora raras, há ocorrências localizadas de xenólitos anfibolíticos centimétricos (Fig.
309 4). Injeções pegmatíticas centimétricas a decimétricas concordantes e discordantes aos planos
310 de foliação são comuns. Localmente foram encontradas injeções tardias de granulação muito
311 fina que intrudem paralelas à foliação (Fig. 4).



313 **Figura 4.** Feições de campo do Granito Três Figueiras. A) Granito indeformado; B)
 314 Protomilonito com porfiroclasto de muscovita; C) Textura milonítica; D) Níveis concentrados
 315 de turmalina (em preto); E) Intrusão tardia de textura fina; F) Xenólito centimétrico de
 316 composição anfibolítica.

317 **Figure 4.** Field characteristics of the Três Figueiras Granite. A) Undeformed granite; B)
 318 protomylonitic texture with muscovite porphyroclast; C) Mylonitic texture; D) Turmaline
 319 concentrations (black layers); E) Late-intrusions with fine equigranular texture; F)
 320 Centimeter-sized xenolith with amphibolitic composition.

321

322 3.2 Geologia Estrutural

323

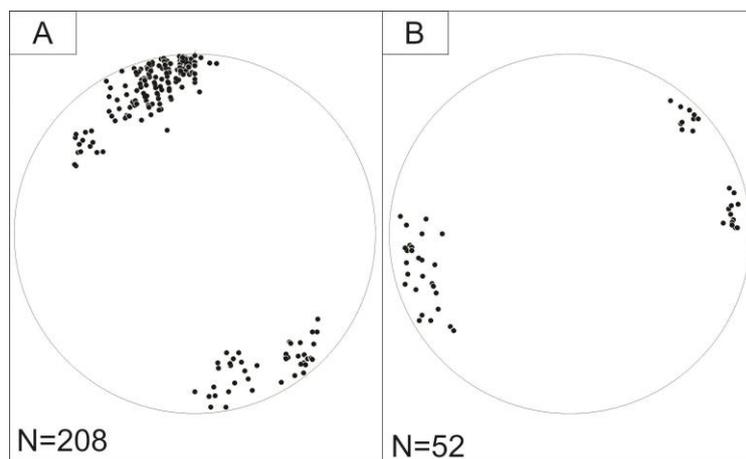
324 O GTF tem seu posicionamento controlado e afetado pela Zona de Cisalhamento
 325 Arroio Grande, a qual lhe confere uma grande variedade de texturas e estruturas e uma
 326 foliação de origem tectônica que são dominantes. As zonas de deformação dúctil formam
 327 protomilonitos, localmente milonitos, com textura porfiroclástica marcada por porfiroclastos
 328 de K-feldspato e plagioclásio de até 1 cm e cristais de muscovita (*mica-fish*). A foliação é
 329 marcada por textura lepidoblástica em cristais de muscovita e biotita ou por agregados
 330 estirados de quartzo.

331 A trama milonítica desenvolvida é marcada por uma foliação tectônica subvertical de
 332 cisalhamento (foliação C) com ângulo de mergulho $> 70^\circ$ predominantemente para SE e
 333 subordinadamente para NW marcada pelo alinhamento preferencial das micas e agregados
 334 estirados de quartzo e feldspato, com direção WSW-ENE. Pode-se observar uma leve
 335 concentração de pontos tendendo para NE, que correspondem a medidas coletadas no extremo
 336 oeste do corpo, onde este inflete levemente para SW. Em diagrama de contagem de polos, a
 337 foliação apresenta um valor médio de 081 com mergulho de 83° para SE. Associado a essa
 338 foliação, apresenta uma lineação de estiramento do quartzo, com caimento sub-horizontal, ora
 339 para NE, ora para SW. No diagrama de contagem, é possível observar três tendências
 340 distintas, sendo a predominante com sentido 083 e caimento de 10° para ENE, e duas
 341 subordinadas, uma com sentido de 045 e caimento de 10° , e outra com sentido 263 e caimento
 342 de 14° (Fig. 5).

343 Localmente apresenta o desenvolvimento de uma foliação S-C, com a progressão da
 344 deformação, especialmente na porção oeste do corpo onde este inflete para NE-SW. A
 345 foliação de cisalhamento C é formada pela orientação dos cristais de micas, seja por

346 reorientação ou por recristalização formando finas trilhas enquanto a S é marcada pela
 347 inflexão dos cristais de mica-*fish*, cristais de K-feldspato e plagioclásio.

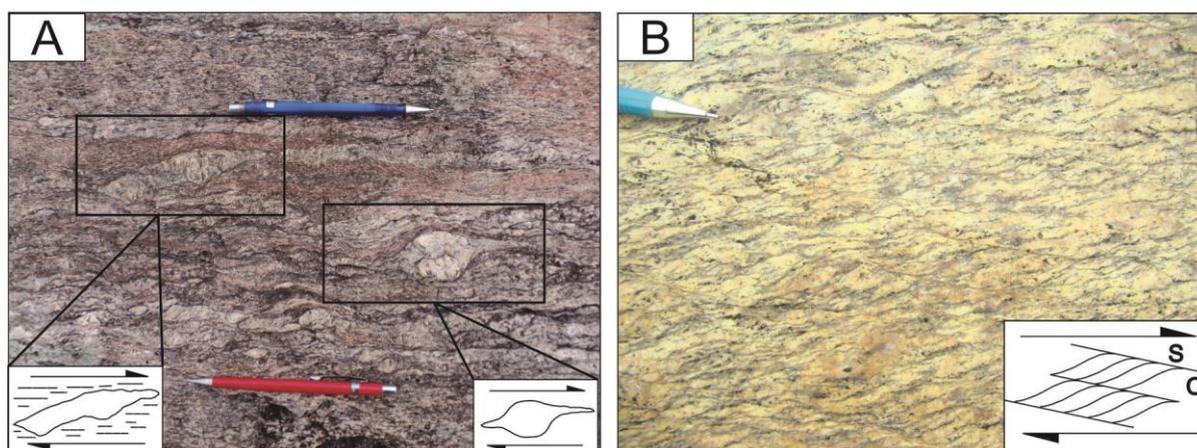
348 A cinemática da zona de cisalhamento é evidenciada neste granito por indicadores de
 349 macro e micro escala como pares S-C, assimetria de porfiroclastos de feldspato e mica-*fish*.
 350 As injeções pegmatíticas tendem a registrar a cinemática, preservando cristais de feldspato
 351 com caudas assimétricas destrais (Fig. 6).



352
 353 **Figura 5.** Estereogramas da foliação e lineação do Granito Três Figueiras mostrando a
 354 direção principal W-E e o mergulho preferencial para SE. A) Polos das foliações; B)
 355 Estereograma com as lineações de estiramento do quartzo.

356 **Figure 5.** Foliation and lineation stereograms of Três Figueiras Granite showing a W-E
 357 preferred orientation with dip to SE. A) Foliation poles; B) Quartz stretching
 358 lineation stereograms.

359



360
 361 **Figura 6.** Indicadores cinemáticos do Granito Três Figueiras. A) Porfiroclastos com caudas
 362 assimétricas destrais; B) Pares S-C destrais.

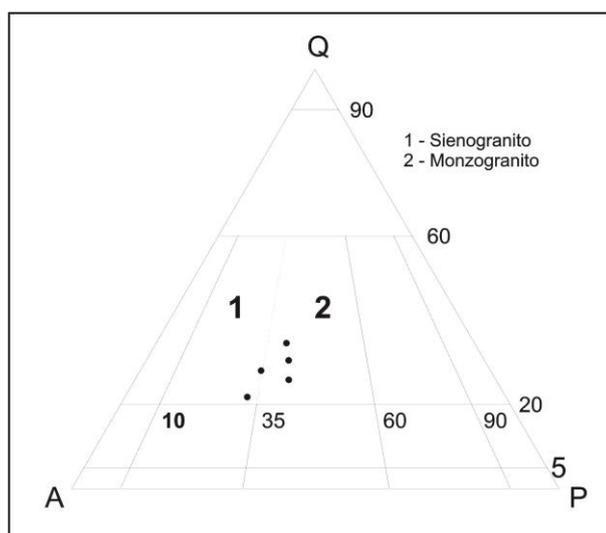
363 **Figure 6.** Kinematic indicators of Três Figueiras Granite. A) Porphyroclasts with dextral
 364 asymmetric tails; B) Dextral S-C pairs.

365 3.3. Petrografia

366

367 O GTF é constituído por sieno a monzogranitos (Fig. 7, Tab. 2). Possui cor alaranjada
 368 a cinza. A mineralogia principal é composta por K-feldspato (35-50 %), quartzo (19-30 %),
 369 plagioclásio (23-28 %) e muscovita + biotita (7-10 %), sendo que nos termos menos
 370 evoluídos a biotita é predominante (6~8 %), enquanto a muscovita predomina nos mais
 371 evoluídos (5~8 %). Os minerais acessórios são granada, turmalina, zircão, monazita e apatita.
 372 De modo geral, possui textura equigranular média, localmente inequigranular com cristais
 373 mais desenvolvidos de muscovita, quartzo ou feldspato imersos em uma matriz fina. Possui
 374 predominantemente estrutura maciça, embora localmente apresente uma leve tendência a uma
 375 foliação magmática marcada pelo alinhamento incipiente das micas.

376



377

378 **Figura 7.** Composições modais das amostras indeformadas do Granito Três Figueiras
 379 dispostas no diagrama QAP (modificado de Streckeisen, 1976).

380 **Figure 7.** Modal composition of the undeformed Três Figueiras Granite samples, plotted on
 381 QAP diagram (modified from Streckeisen, 1976).

382

383 Ao microscópio, nos termos indeformados (Fig. 8), o K-feldspato e o quartzo são os
 384 constituintes principais, ocorrendo como cristais anédricos com contatos curvilíneos, que
 385 imprimem uma textura alotriomórfica nestes granitos.

386

387 O K-feldspato ocorre predominantemente sem macla, por vezes com macla xadrez ou
 388 *carlsbad* desenvolvidas principalmente nas bordas dos grãos. O tamanho dos cristais varia de
 388 0,5 a 3 mm, sendo predominantes os cristais com tamanho entre 0,7 a 2 mm. O quartzo possui
 389 extinção ondulante e tende a formar agregados de cristais com formas irregulares e alongados,

390 de tamanho entre 0,3 a 3,2 mm. O plagioclásio é anédrico a subédrico (até 2 faces retas), e
391 possui macla polissintética pouco desenvolvida, nem sempre visível, por vezes levemente
392 deformada em forma de cunha. O tamanho dos cristais varia de 0,3 a 3 mm sendo mais
393 comuns os cristais menores com 0,4 a 0,8 mm. Localmente são encontrados mirmequitos, nas
394 bordas dos cristais de plagioclásio quando em contato com o K-feldspato, e mais raramente
395 em contato com o quartzo. A muscovita ocorre como palhetas, os cristais são subédricos com
396 pelo menos duas faces retas. De modo geral os cristais variam entre 0,2 a 0,8 mm, embora
397 ocorram cristais mais desenvolvidos de 3 a 4 mm. Inclusões de muscovita aciculares nos
398 cristais de feldspato são comuns. A biotita é o mineral essencial menos abundante, ocorrendo
399 como cristais pequenos, entre 0,1 até 0,7 mm com pleocroísmo variando em tons de marrom
400 amarelado até castanho escuro. Não raro, ocorre em intercrescimento com cristais de
401 muscovita, se desenvolvendo sobre os planos de clivagem ou nas bordas das mesmas.

402 Nos termos deformados (Fig. 9), apresenta texturas e estruturas oriundas da
403 milonitização. Desenvolve uma foliação tectônica de natureza milonítica, marcada pela
404 reorientação dos cristais das micas e agregados estirados de quartzo. Alguns autores (*e.g.*
405 Bitencourt & Nardi, 1986; Paschier & Trouw, 1996) apontam que as rochas graníticas reagem
406 à deformação de forma heterogênea, de modo que o comportamento dúctil e a intensidade da
407 deformação não se distribuem de forma uniforme pelo corpo rochoso, bem como a diferença
408 de reologia dos minerais faz com que diferentes estruturas se desenvolvam, de acordo com a
409 resistência dos mesmos à deformação. No GTF, é registrada essa diferença na distribuição da
410 deformação em termos mais ou menos afetados, desde feições incipientes até o
411 desenvolvimento de milonitos propriamente ditos.

412 Os efeitos visíveis macroscopicamente são a reorientação das micas e o
413 desenvolvimento de uma estrutura protomilonítica a milonítica, conferindo à rocha uma
414 textura porfiroclástica marcada por porfiroclastos de feldspatos e muscovita (*fish*) imersos em
415 uma matriz quartzo-feldspática.

416 Os primeiros estágios da deformação são evidenciados nos termos com deformação
417 incipiente, em que se observa que as micas tendem a assumir uma orientação preferencial, o
418 quartzo tende a formar agregados e subgrãos e ocorre localmente recristalizado enquanto os
419 feldspatos apresentam extinção ondulante e deformação das maclas (*kinks*).

420 Nos termos proto- e miloníticos, o quartzo adquire forte extinção ondulante e tende a
421 formar agregados, frequentemente recristalizados, com formação de subgrãos na maioria dos
422 cristais. Com incremento da deformação as feições de recristalização por *bulging* e *subgrain*
423 *rotation* são muito comuns, constituindo a principal fase da matriz, ou localmente deformado

424 em forma de fita, contornado cristais de feldspato. Os agregados recristalizados conferem à
425 rocha uma textura inequigranular a seriada com arranjo interlobado, localmente poligonal, de
426 tamanho variando entre 10 a 80 μm .

427 As micas tendem a formar uma foliação irregular e descontínua, por vezes
428 anastomosada, e com incremento da deformação desenvolvem uma forte foliação tectônica
429 marcada por trilhas finas ou com bandas quartzo-feldspáticas mais espessas. Os porfiroclastos
430 de muscovita ocorrem dobrados ou em forma *fish* e variam de tamanho entre 0,3 a 4,2 mm.

431 Os K-feldspatos e plagioclásios tendem a formar porfiroclastos, manteados pelas
432 trilhas de micas ou por agregados estirados de quartzos. Eventualmente ocorre a formação de
433 subgrãos e até recristalização nas bordas dos cristais mais deformados em textura
434 granoblástica poligonal com tamanho em torno de 50 μm . Alguns cristais apresentam apenas
435 um núcleo e a borda totalmente recristalizada (*mantled porfiroclast*). Os cristais de plagioclásio
436 podem apresentar deformação tectônica das maclas formando *kinks*. O tamanho dos
437 porfiroclastos varia entre 0,7 a 3,8 mm sendo predominantes os cristais entre 1 a 2 mm.

438 Os porfiroclastos de muscovitas-*fish* e feldspatos por vezes marcam um sentido dextral
439 para deformação, formando texturas S-C, caudas assimétricas ou cristais mais desenvolvidos
440 orientados em ângulo com a direção da foliação C (Fig. 10).

441 O conjunto de estruturas e texturas observadas no GTF demonstra que seu
442 posicionamento é controlado e afetado pela Zona de Cisalhamento Arroio Grande.
443 Considerando que as rochas respondem à deformação de forma heterogênea, o
444 comportamento dúctil e a intensidade da deformação não são distribuídos uniformemente pela
445 extensão do corpo rochoso. Estas diferenças estão registradas em escala mineral, de modo que
446 a diferença de reologia entre os cristais de quartzo e feldspato fazem com que cada fase
447 responda de forma diferente à deformação (Passchier & Trouw, 2005). No GTF é possível
448 observar essa diferença de comportamento tanto em escala de afloramento quanto lâmina
449 delgada, sendo possível identificar desde porções indeformadas (Fig. 8), com texturas e
450 estruturas magmáticas preservadas, até a formação de protomilonitos (Fig. 9),
451 subordinadamente milonitos.

452

453

454

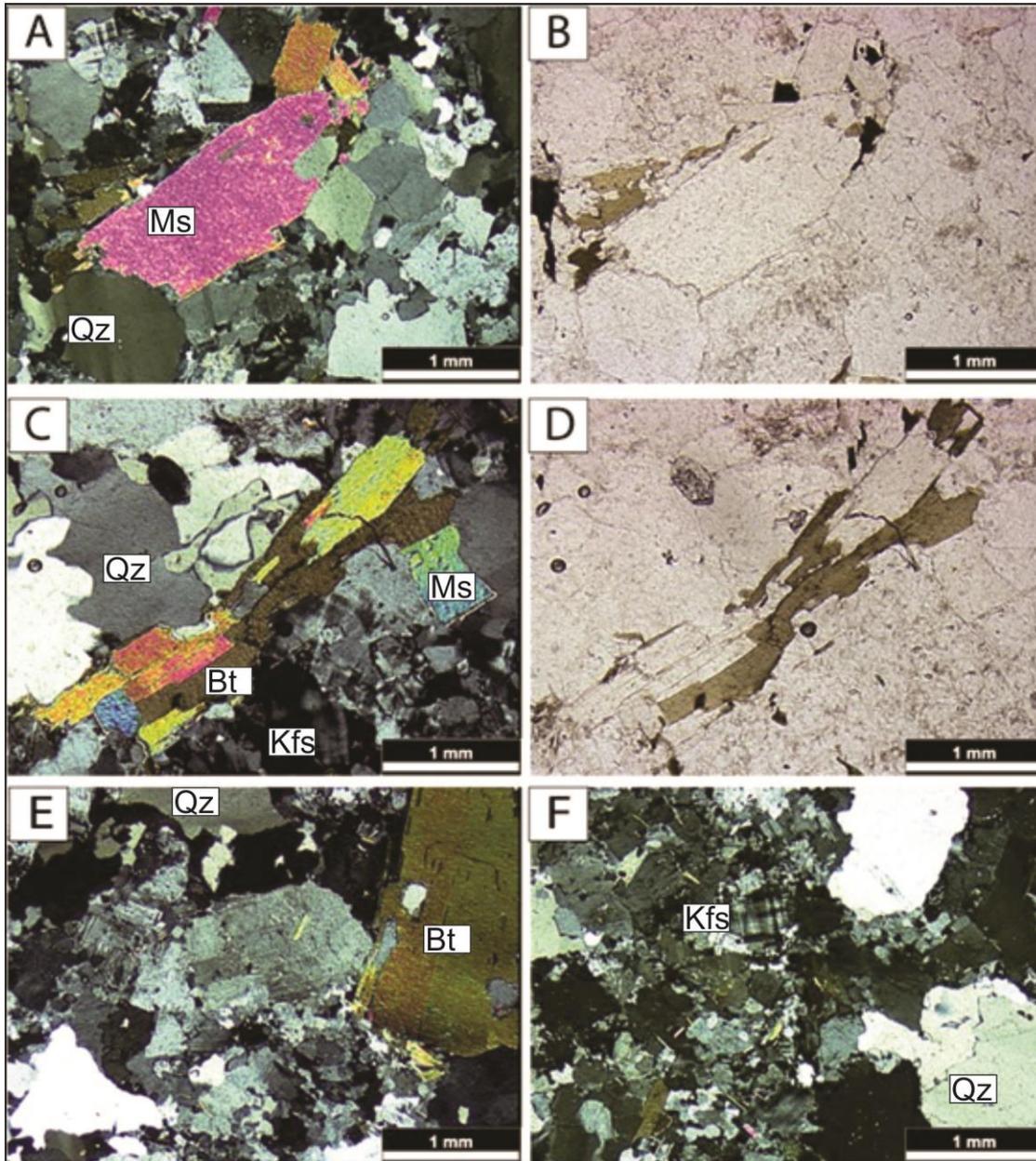
455

456

457

458

459



460

461 **Figura 8.** Aspectos microscópicos dos estágios não deformados do Granito Três Figueiras. A)

462 Cristal de muscovita, nicóis cruzados (NC); B) Cristal de muscovita, luz polarizada (LP); C)

463 Cristais de muscovita e biotita, NC; D) Cristais de muscovita e biotita, LP; E) Textura

464 inequigranular alotriomórfica em quartzo e feldspatos, NC; F) Detalhe da textura

465 alotriomórfica e cristais de K-feldspato com dupla macla. Abreviações: Bt = biotita; Kfs = K-

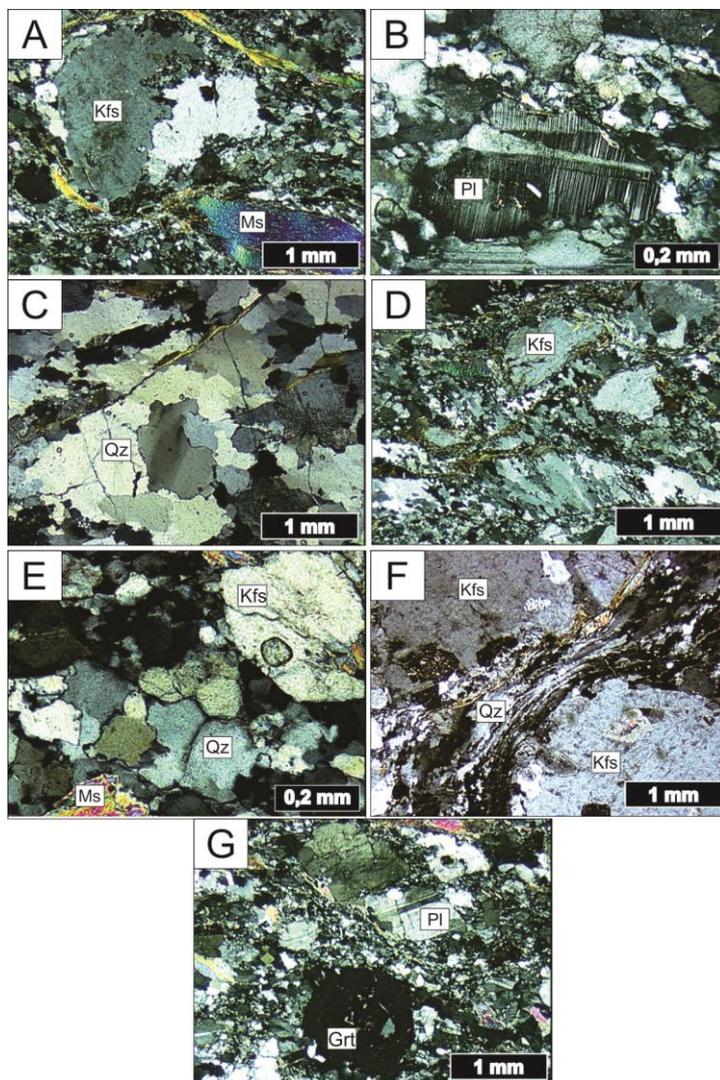
466 feldspato; Ms = muscovita; Qz = quartzo.

467 **Figure 8.** Microscopic aspects of undeformed stage of Três Figueiras Granite. A)

468 muscovite crystal, crossed polars (CP). B) Muscovite crystal, plane-polarized light (PPL). C)

469 biotite and muscovite crystals, CP. D) Biotite and muscovite crystals, PPL. E) Inequigranular

470 *allogriomorphic texture in quartz and feldspar, CP. F) Detail of allogriomorphic texture and*
 471 *twinned K-feldspars. Abbreviations: Bt = biotite; Kfs = K-feldspar; Ms = muscovite; Qz =*
 472 *quartz.*
 473

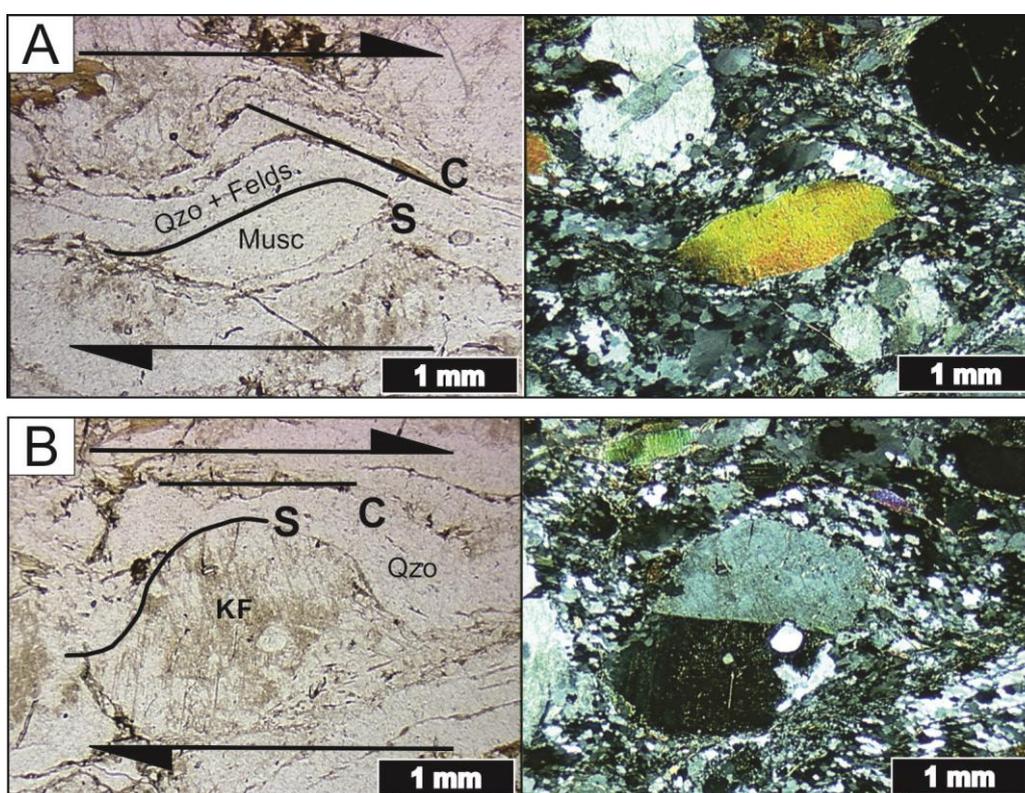


474
 475 **Figura 9.** Aspectos microscópicos (em nicóis cruzados) dos estágios deformados do Granito
 476 Três Figueiras. A) Porfiroclasto de feldspato no centro, foliação marcada por muscovita *fish* e
 477 trilhas recristalizadas; B) Porfiroclasto de plagioclásio com deformação dos planos de macla;
 478 C) Formação de subgrãos e início da recristalização do quartzo; D) Matriz com textura fina
 479 recristalizada; E) Detalhe na recristalização da matriz com textura granoblástica poligonal em
 480 quartzo e feldspato; F) quartzo fitado circundando cristais de feldspato; G) Porfiroclasto de
 481 granada. Abreviações: Bt = biotita; Kfs = K-feldspato; Ms = muscovita; Pl = plagioclásio; Qz
 482 = quartzo.
 483

484 **Figure 9.** Microscopic aspects (in crossed polars) of deformed stages of Três Figueiras
 485 Granite. A) Feldspar porphyroclast at the center, foliation marked by muscovite fish and
 486 recrystallized trails; B) Plagioclase porphyroclast with deformed twinning plans; C)
 487 Subgrain formation and beginning of quartz recrystallization; D) Thin recrystallized matrix;
 488 E) Detail on matrix recrystallization with polygonal granoblastic texture over quartz and
 489 feldspar grains; F) Ribbon quartz around feldspar Crystal; G) Garnet porphyroclast.
 490 Abbreviations: Bt = biotite; Kfs = K-feldspar; Ms = muscovite; Pl = plagioclase; Qz =
 491 quartz.

492

493



494

495 **Figura 10.** Indicadores cinemáticos ao microscópio. A) Cristal de muscovita-*fish* definindo
 496 uma foliação S-C; B) Porfiroclasto de K-feldspato com cauda assimétrica e definindo uma
 497 foliação S-C. Abreviação: Felds e KF = K-feldspato; Musc = muscovita; Qzo = quartzo.

498

499 **Figure 10.** Kinematic indicators on the microscope. A) Muscovite-*fish* crystals showing S-C
 500 foliation; B) K-feldspar porphyroclast with asymmetric tail marking a S-C foliation.

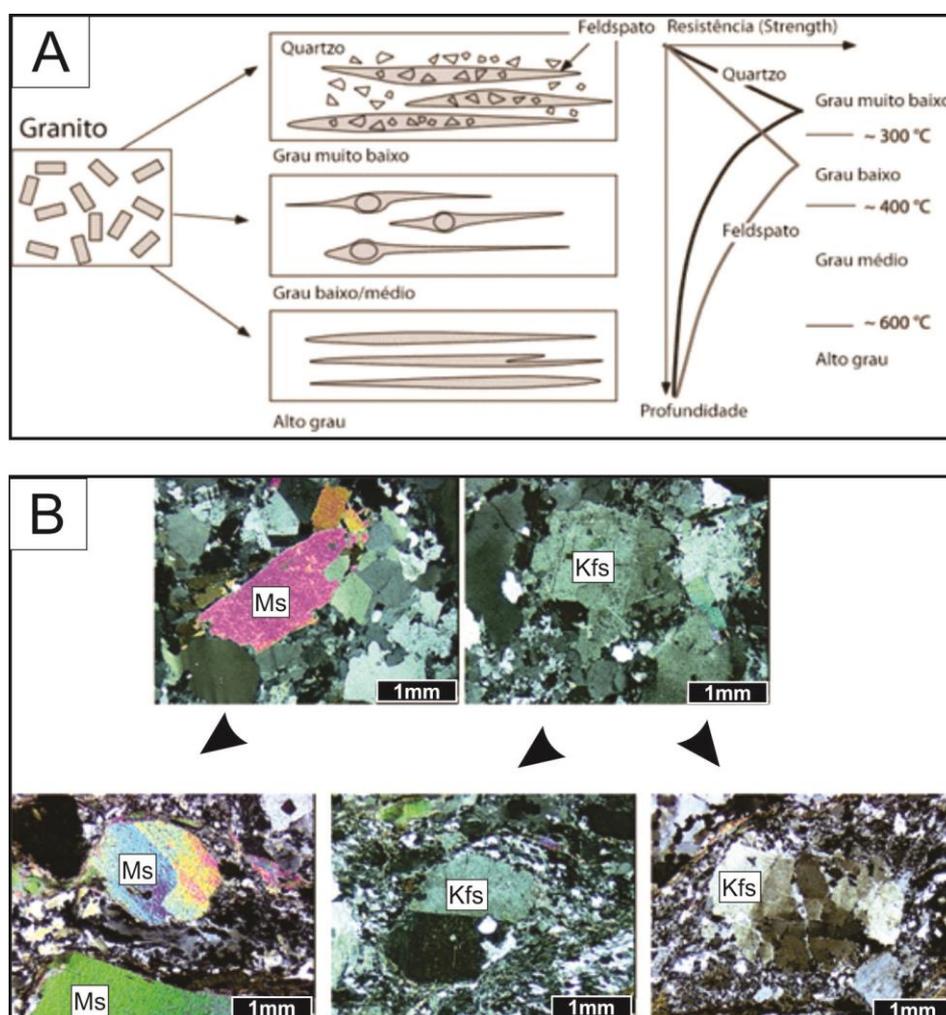
501 Abbreviation: Felds and KF = K-feldspar; Musc = muscovite; Qzo = quartz.

502

503 Com base em Passchier & Trouw (2005) (Fig. 11A), é possível estabelecer para o GTF
 504 um grau médio e temperaturas de recristalização e deformação da ordem de 400 a 600°C.
 505 Quando analisadas as feições microscópicas, a temperatura de recristalização e o grau de
 506 deformação podem ser inferidos a partir das texturas e reações observadas nos cristais,
 507 principalmente nos porfiroclastos de feldspato e no arranjo da matriz. O arranjo da matriz
 508 chega à textura granoblástica poligonal que, associada à recristalização parcial dos feldspatos,
 509 inclusive o plagioclásio, e a formação de mirmequitos por deformação, sugerem que esta se
 510 deu sob fácies anfibolito inferior a médio com temperaturas mínimas da ordem de 550°C.

511 Ainda, as feições de sobreposição entre estruturas rúpteis sobre dúcteis, bem como o
 512 fraturamento de cristais de feldspato com preenchimento de material da matriz (Fig. 11B)
 513 mostra que a progressão da deformação acompanha o resfriamento do magma.

514



515

516 Figura 11. Comparativo entre texturas do Granito Três Figueiras. A) Mudanças de
 517 comportamento na deformação de agregados de quartzo e feldspato em função da
 518 profundidade e temperatura. Linhas retas representam comportamento rúptil, linhas curvas,

519 comportamento dúctil. Em graus muito baixos, ambos possuem comportamento rúptil. Em
 520 grau baixo a médio, o quartzo começa a deformar ductilmente e o feldspato começa a formar
 521 porfiroclastos com bordas recristalizadas. Em alto grau o quartzo e o feldspato apresentam
 522 comportamento semelhante e deformam ductilmente (Modificado de Passchier & Trouw,
 523 2005); B) Muscovita e feldspato formando porfiroclastos e quartzo formando agregados
 524 estirados e recristalizando para grãos mais finos. Fotomicrografias em nicóis cruzados.
 525 Abreviações: Kfs = K-feldspato; Ms = muscovita.

526 **Figure 11.** *Comparative Três Figueiras Granite textures. A) Changes in deformation*
 527 *behavior of quartz and feldspar, as a function of temperature and depth. Straight lines*
 528 *represent brittle behavior. Curved lines represent ductile behavior. Both minerals show*
 529 *brittle behavior at very low-grade conditions. At low- to medium-grade conditions, quartz*
 530 *starts to show ductile deformation, while feldspar grains tend to form porphyroclast with*
 531 *recrystallized edges. At high-grade, both quartz and feldspar show similar behavior with*
 532 *ductile deformation (Modified from Passchier & Trouw, 2005); B) Muscovite and feldspar*
 533 *forming porphyroclast, while quartz grains form stretched aggregates and recrystallize.*
 534 *Crossed polar photomicrographs. Abbreviations: Kfs = K-feldspar; Ms = muscovite.*

535

536 3.4 Geoquímica

537

538 O GTF é um granito de caráter peraluminoso a duas micas com índices de A/CNK
 539 variando entre 1,07 e 1,21. A norma CIPW deste granito mostra que a soma dos componentes
 540 quartzo, ortoclásio e albita compreendem entre 80 e 90 % da rocha, com coríndon normativo
 541 entre 1,2 a 3 %, o que corrobora a natureza peraluminosa deste granito. Possui alto teor de
 542 SiO₂ entre 69,87 a 74,72 %, teores de Al₂O₃ entre 13,44 e 15,13 %, e teores elevados de
 543 álcalis (K₂O + NaO) entre 7,32 e 9,55 %. Apresenta baixos teores de FeO + TiO₂ + MgO com
 544 valores entre 1,13 e 3,78 %. Com relação à classificação, as amostras plotam no campo dos
 545 granitos subalcalinos segundo o diagrama TAS (Cox *et al.*, 1979). No diagrama de
 546 discriminação de granitos peraluminosos propostos por Villaseca *et al.* (1998), baseado no
 547 diagrama A-B (Debon & Le Fort, 1983), as amostras se distribuem predominantemente no
 548 campo dos granitos peraluminosos altamente félsicos (f-P).

549

550 Tabela 1. Análises química de elementos maiores e traço do Granito Três Figueiras. LOI =
 551 perda ao fogo.

552 *Table 1. Chemical analysis of major and trace elements of Três Figueiras Granite. LOI = loss*
 553 *on ignition.*

Amostra	PF 01	PF 02	PF 15	PF 32	PF 46	PF 52	PF 44A	PF 48A	PF 69B	PF 65	PF 73B	PF 71	PF 72	PF FER3
Elementos maiores (wt%)														
SiO ₂	72,75	73,37	71,95	73,94	74,68	72,01	74,72	74,68	72,28	73,7	72,54	70,33	71,89	69,87
Al ₂ O ₃	14,81	14,27	15,08	14,55	13,82	14,63	14,79	13,44	14,54	14,49	14,88	14,88	14,85	15,13
MgO	0,31	0,17	0,40	0,18	0,18	0,51	0,10	0,25	0,18	0,08	0,06	0,73	0,35	0,61
MnO	0,04	0,03	0,02	0,04	0,03	0,04	0,01	0,07	0,02	0,05	0,18	0,04	0,05	0,06
Na ₂ O	3,39	3,49	3,57	4,1	3,28	3,84	5,64	3,19	3,44	3,70	4,78	3,17	3,32	3,90
CaO	1,50	0,90	1,87	0,91	0,90	1,74	0,91	1,40	0,90	0,83	0,39	2,09	1,09	1,51
K ₂ O	4,56	4,71	3,83	3,88	4,69	3,86	1,78	4,13	5,15	4,80	4,77	4,32	4,47	4,64
P ₂ O ₅	0,13	0,10	0,13	0,11	0,12	0,14	0,02	0,04	0,13	0,02	0,25	0,20	0,19	0,11
TiO ₂	0,14	0,08	0,21	0,08	0,09	0,20	0,03	0,12	0,09	0,03	<0,01	0,30	0,16	0,34
FeO _t	1,52	1,64	1,85	1,16	1,47	1,97	1,1	1,54	1,55	0,92	1,23	2,48	1,78	2,34
LOI	0,6	1,0	0,7	0,9	0,5	0,7	0,7	0,7	1,4	1,1	0,7	1,0	1,5	1,0
Total	99,92	99,93	99,8	99,96	99,94	99,86	99,93	99,75	99,84	99,84	99,92	99,77	99,86	99,72
Elementos traço (ppm)														
Rb	176,8	192	136,8	162,8	181,3	165,9	103,5	158,5	209	250,2	359,1	123,3	200,2	92,9
Ba	472	466	1031	282	358	643	15	1114	556	706	52	953	417	1235
Sr	169,7	129,0	443,6	125,6	121,7	295,7	36,2	251,3	156,8	87,9	16,2	291,3	147,6	374,3
Nb	9,8	10,4	6,4	7,8	9,7	9,6	7,6	9,2	8,6	11,4	19,0	8,4	13,1	6,0
Zr	51,0	55,9	134,5	44,5	51,0	114,3	18,7	76,3	73,0	23,9	22,5	121,5	60,2	211,2
Y	14,9	8,0	6,6	11,9	11,7	11,9	25,6	15,4	7,5	25,3	2,6	11,8	14,0	12,6
Be	6	<1	3	6	2	7	1	4	2	<1	22	<1	7	2
Ta	1,2	0,9	0,6	0,9	0,8	1,0	1,4	1,1	1,2	1,7	2,5	0,6	2,1	0,5
Tb	0,45	0,36	0,35	0,34	0,48	0,57	0,62	0,5	0,36	0,67	0,12	0,49	0,46	0,41
Th	3,6	6,5	8,5	3,1	6,8	15,4	2,4	15,1	8,5	4,8	0,4	8,1	4,0	11,8
Tm	0,2	0,07	0,05	0,22	0,11	0,14	0,28	0,16	0,07	0,28	0,03	0,12	0,16	0,15
U	5,2	4,5	0,9	2,7	1,5	5,0	1,6	2,9	2,1	1,9	1,6	3,1	3,1	0,4
Co	1,4	0,7	1,6	1	1,1	2,7	0,6	2,0	1,1	0,5	0,5	3,6	1,9	2,1
Cs	18,3	4,2	7,4	3,3	3,4	9,0	2,0	10,6	9,9	12,7	16,8	6,0	18,6	3,7
Ga	16,9	19,5	19,4	19,3	19,5	19,2	22,7	14,1	21,3	17	20,9	16,1	18,5	15,8
Hf	1,7	1,6	4,3	1,6	2,2	3,6	0,9	2,2	2,3	1,1	1,8	3,4	1,7	6,3
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	22	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Pr	3,07	4,20	7,84	2,04	4,60	8,74	2,06	9,80	5,60	2,94	0,50	6,98	3,38	8,39
Sc	4	2	2	2	2	3	<1	2	1	1	<1	4	5	3
Sn	8	3	5	4	4	4	4	4	4	3	3	7	12	1
W	0,8	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	0,7	2,0	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	0,7	1,2	<0,5
La	13,1	19,1	34	9,3	20	37,3	8,7	51,1	26,7	13,5	2,1	32,9	14,9	44,7
Ce	25,5	37,3	65,8	21,7	39,1	72,2	15,9	92,6	53,3	26,7	4,6	64,4	30,7	88
Nd	12,7	12,8	27,00	7,6	16,5	33,3	8,0	35,9	19,6	11,0	1,7	25,9	13,0	30,6
Sm	2,54	3,17	4,81	1,86	3,54	6,11	2,54	5,82	3,77	2,99	0,85	4,91	3,16	4,58
Eu	0,67	0,48	0,97	0,35	0,51	0,96	0,24	1,07	0,57	0,47	0,06	1,04	0,63	0,84
Gd	2,57	2,51	3,18	1,83	2,92	4,79	2,85	4,11	2,99	3,25	0,81	3,95	2,94	3,30
Dy	2,95	1,66	1,45	1,89	2,27	2,63	4,16	2,83	1,79	4,55	0,52	2,36	2,53	2,48

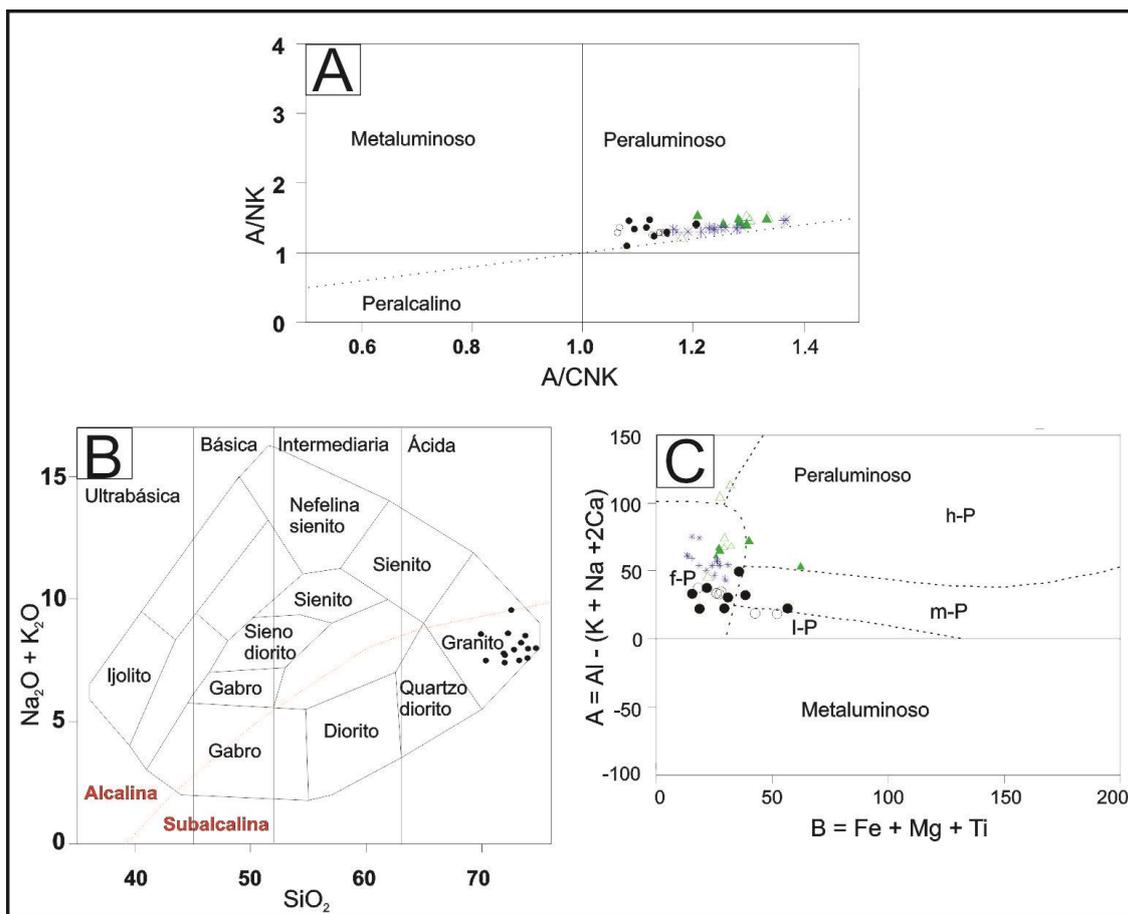
Ho	0,47	0,24	0,15	0,35	0,35	0,38	0,70	0,42	0,21	0,76	0,08	0,37	0,41	0,39
Er	1,45	0,59	0,55	1,21	0,91	1,07	1,91	1,08	0,51	2,04	0,22	0,86	1,22	1,18
Yb	1,12	0,50	0,46	1,73	0,70	0,84	1,62	1,15	0,41	1,77	0,18	0,74	0,98	1,10
Lu	0,18	0,05	0,04	0,25	0,08	0,12	0,24	0,17	0,05	0,22	0,02	0,12	0,15	0,17

554

555 Tabela 2. Norma CIPW para as amostras estudadas. Legenda: Q = quartzo; C = coríndon; Or
 556 = ortoclásio; Ab = albita; An = anortita; Hy = hiperstênio; Mt = magnetita; Il = ilmenita; Hm
 557 = Hm = hematita; Ru = rutilo; Ap = apatita.

558 *Table 2. CIPW norm from the studied samples. Legend: Q = quartz; C = corundum; Or =*
 559 *orthoclase; Ab = albite; An = anorthite; Hy = hypersthene; Mt = magnetite; Il = ilmenite;*
 560 *Hm = hematite; Ru = rutile; Ap = apatite.*

Amostra	Q	C	Or	Ab	An	Hy	Mt	Il	Hm	Ru	Ap	Total
PF01	32,27	1,88	26,95	28,69	6,59	0,77	0,00	0,09	1,69	0,10	0,31	99,33
PF02	33,14	2,03	27,84	29,53	3,81	0,42	0,00	0,06	1,82	0,05	0,24	98,95
PF15	32,29	1,97	22,63	30,21	8,43	1,00	0,00	0,04	2,05	0,19	0,31	99,12
PF32	33,33	2,21	22,93	34,69	3,80	0,45	0,00	0,09	1,29	0,04	0,26	99,09
PF46	35,79	2,00	27,72	27,75	3,68	0,45	0,00	0,06	1,63	0,06	0,28	99,43
PF52	30,81	1,31	22,81	32,49	7,72	1,27	0,00	0,09	2,19	0,16	0,33	99,17
PF44A	33,06	1,98	10,52	47,72	4,38	0,25	0,00	0,02	1,22	0,02	0,05	99,22
PF48A	37,06	1,27	24,41	26,99	6,68	0,62	0,00	0,15	1,71	0,04	0,10	99,03
PF69B	30,73	1,98	30,44	29,11	3,62	0,45	0,00	0,04	1,72	0,07	0,31	98,46
PF65	31,97	1,75	28,37	31,31	3,99	0,20	0,08	0,06	0,97	0,00	0,05	98,72
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82	0,00	0,09	2,75	0,26	0,47	98,82
PF72	33,15	3,02	26,42	28,09	4,17	0,87	0,00	0,11	1,98	0,10	0,45	98,36
PF73B	26,26	1,74	28,19	40,45	0,30	0,15	0,59	0,00	0,96	0,00	0,59	99,23
PF71	30,36	1,67	25,53	26,82	9,06	1,82						



563
 564 **Figura 12.** Diagramas de classificação para granitos. A) Diagrama de Shand (1943); B)
 565 Diagrama TAS (Cox *et al.*, 1979); C) Diagrama de discriminação para granitos peraluminosos
 566 (modificado de Villaseca *et al.*, 1998). Legenda: círculos vazados = Granito Três Figueiras
 567 indeformado; círculos preenchidos = Granito Três Figueiras deformado; triângulos
 568 preenchidos = Granito Cordilheira; triângulos vazados = granitos Hercinianos (oeste da
 569 França); asteriscos = Granito Arroio Francisquinho.

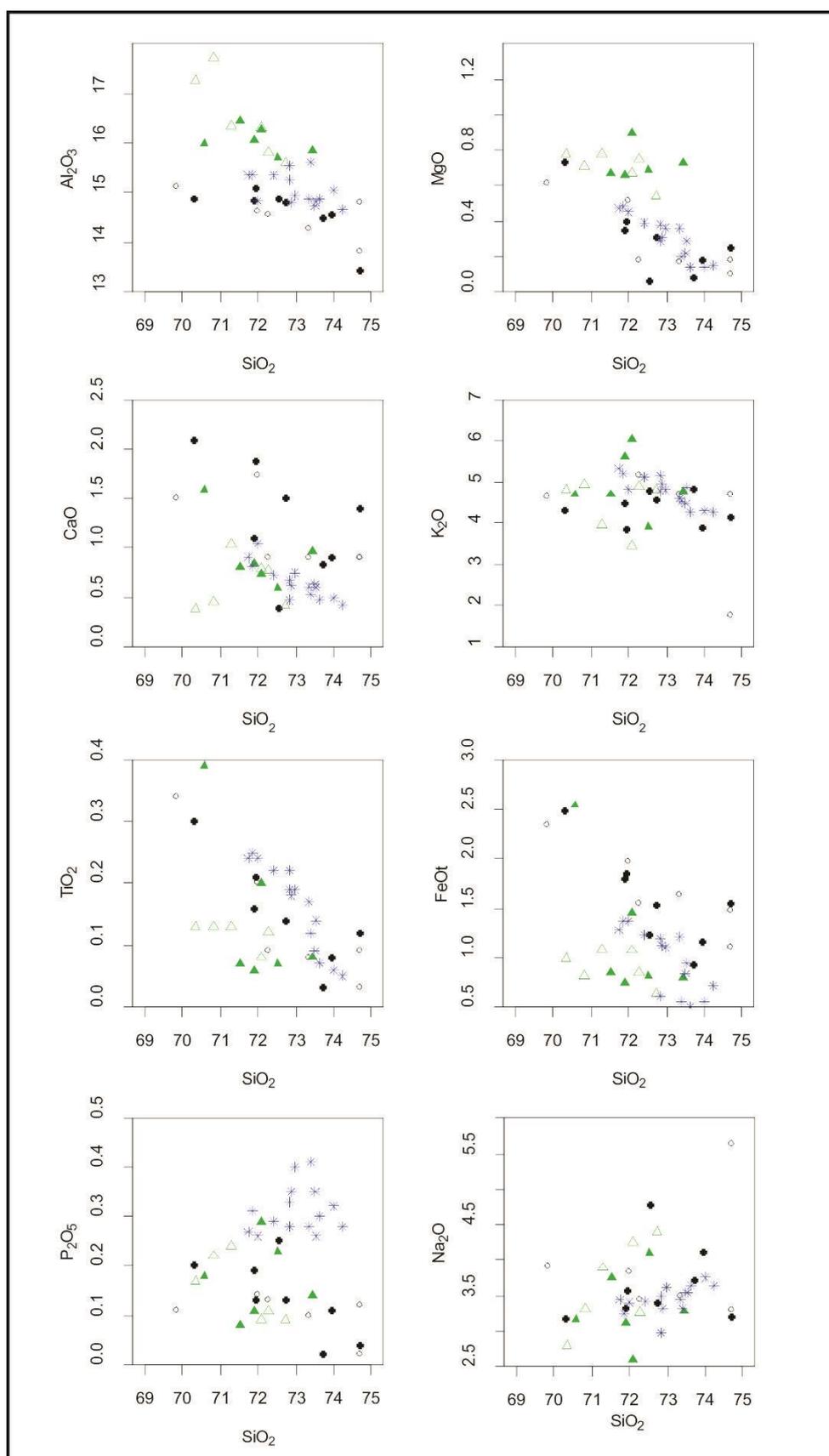
570 **Figure 12.** Granite classification diagrams. A) Diagram of Shand (1943); B) TAS Diagram
 571 (Cox *et al.*, 1979); C) Discrimination diagrams for peraluminous granites (modified from
 572 Villaseca *et al.*, 1998). Legend: unfilled circles = undeformed Três Figueiras Granite; filled
 573 circles = deformed Três Figueiras Granite; filled triangles = Cordilheira Granite; unfilled
 574 triangles = Hercinian granites (Western France); asterisks = Arroio Francisquinho Granite.
 575

576 Nos diagramas de Harker, utilizando a SiO_2 como índice de diferenciação, é possível
 577 observar *trends* de correlação negativos com aumento da diferenciação para a maioria dos
 578 elementos maiores (Fig. 13) como Al_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 , P_2O_5 , FeO , evidenciando que o
 579 processo de cristalização fracionada foi importante na formação destes granitos. Os *trends*
 580 formados possivelmente refletem o fracionamento na cristalização de minerais como a biotita,

581 plagioclásio e apatita. Este fator está relacionado com a diferenciação magmática, por
582 exemplo a biotita, que ocorre como fase principal nos termos menos evoluídos (69-72 % de
583 SiO₂) e como acessório nos mais diferenciados (> 72 % SiO₂).

584 Para os elementos traço (Fig. 14), Ba, Sr, Zr, La e Ce definem *trends* de correlação
585 negativos com a diferenciação, de modo a refletir o fracionamento de minerais acessórios
586 como zircão (Zr) e monazita (La e Ce).

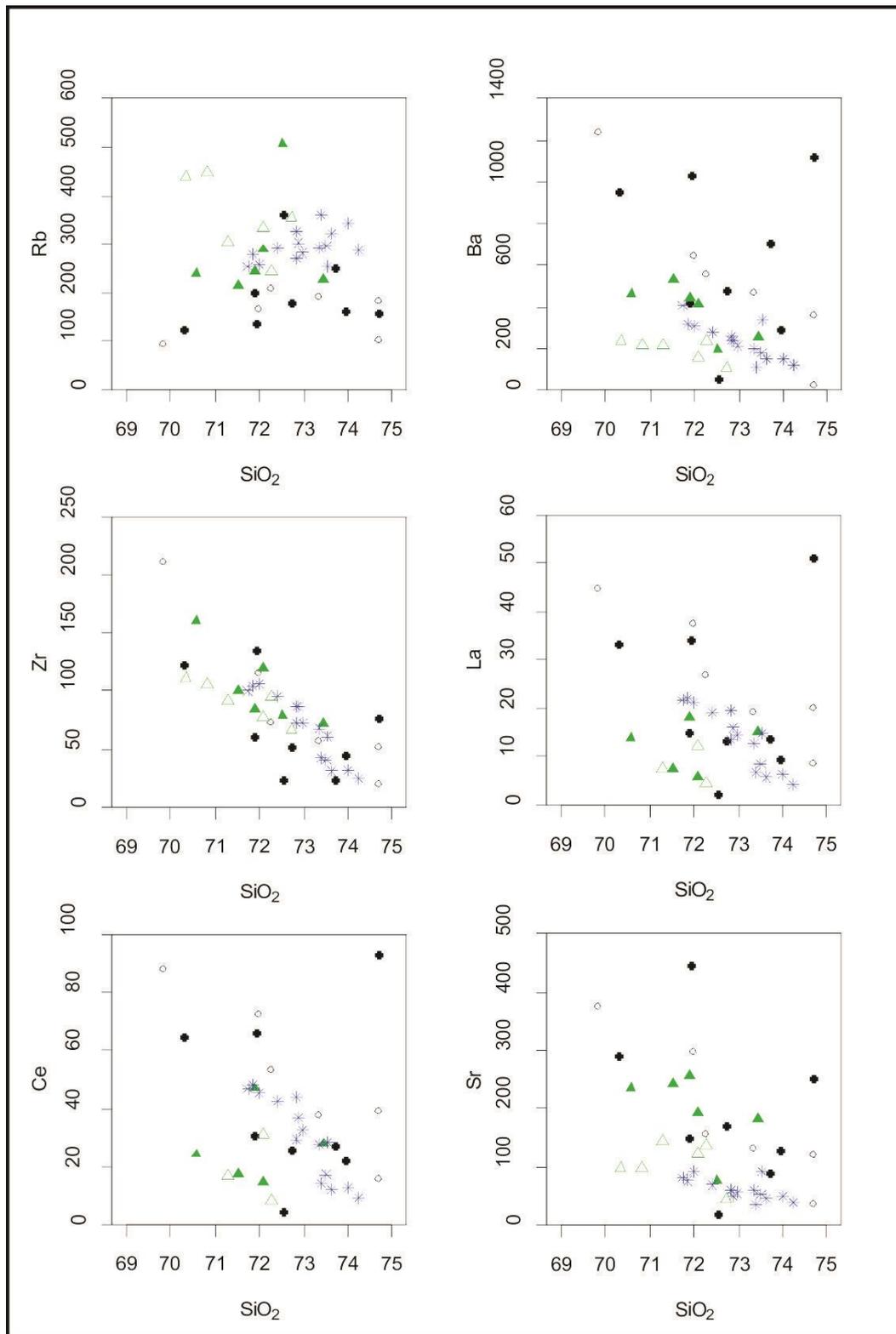
587



588

589 **Figura 13.** Diagramas *Harker* para os elementos maiores (símbolos conforme Fig. 12).590 **Figure 13.** *Harker* diagrams for major elements (symbols as in Fig. 12).

591



592

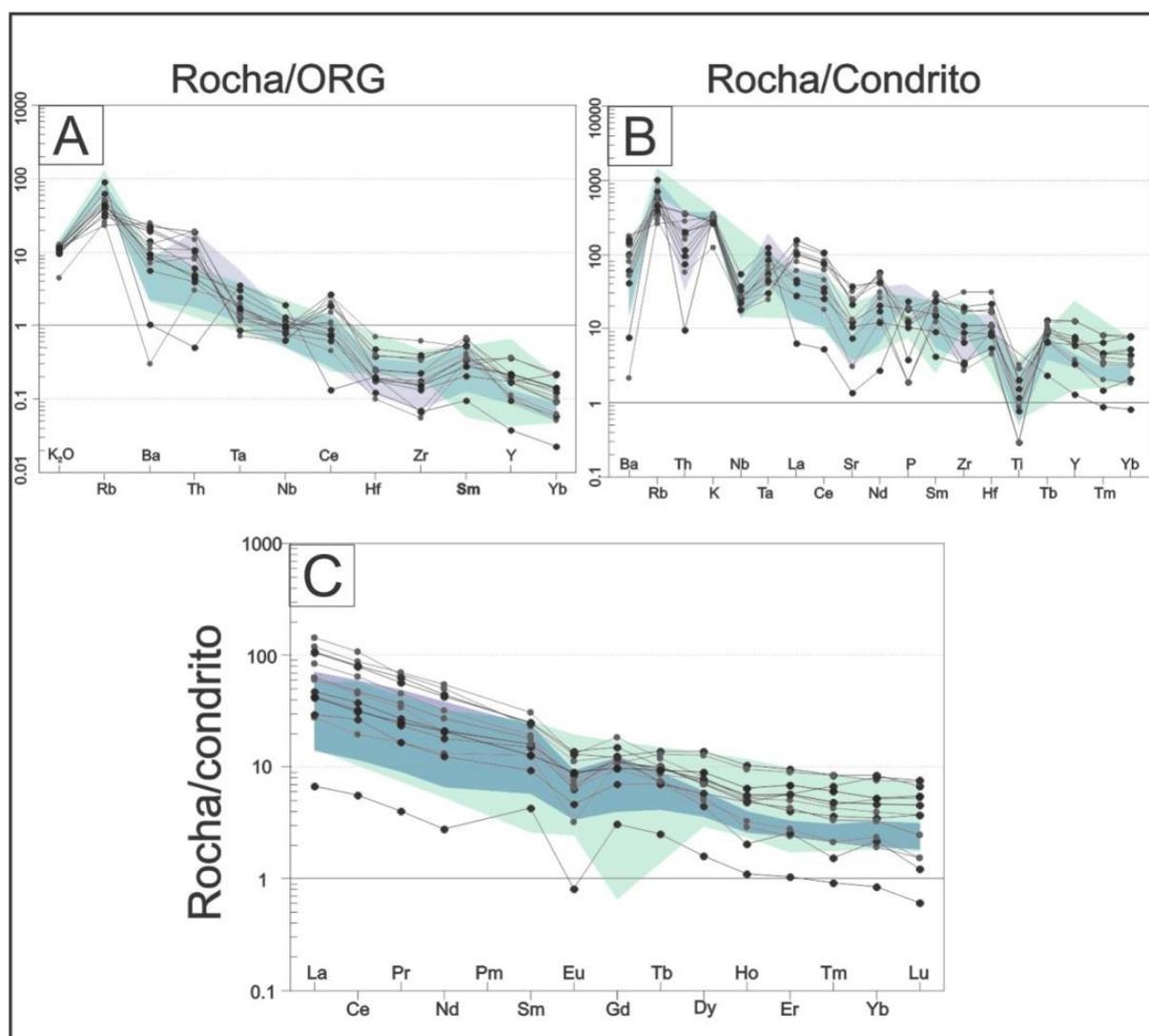
593 **Figura 14.** Diagramas *Harker* para os elementos traço (símbolos como na Fig. 12).594 **Figure 14.** *Harker* diagrams for trace elements (symbols as in Fig. 12).

595

596 Os diagramas multielementares normalizados para o ORG (granitos de dorsal
597 oceânica), segundo os valores de Pearce *et al.* (1984) (Fig. 15A), apresentam um
598 enriquecimento dos elementos litófilos de grande raio iônico (LILE) em relação aos
599 elementos terras raras leves (LREE), com padrões semelhantes aos de granitos de ambientes
600 sincolisionais. Quando normalizados para os valores condríticos de Thompson *et al.* (1982)
601 (Fig. 15B) mostram um enriquecimento de elementos como U, Th e Rb, e anomalias
602 negativas para o Nb, Sr, Ti e P.

603 Os padrões dos elementos terras raras (ETR) (Fig. 15C) quando normalizados para
604 valores condríticos (Boynton, 1984) mostram um empobrecimento dos ETR leves em relação
605 aos pesados, com padrões côncavos e leve anomalia negativa de Eu, o que indica a presença
606 de plagioclásio no resíduo. Pode-se observar ainda uma inversão nos teores dos ETR, de
607 modo que os leves tendem a se concentrar nos termos mais diferenciados, enquanto os
608 pesados são mais abundantes nos termos menos diferenciados. O enriquecimento de ETR
609 leves, especialmente Ce e La, indicam a concentração de minerais ricos nestes elementos,
610 como granada e monazita. Os padrões observados são uniformes para todo conjunto de
611 amostras, o que indica uma fonte comagmática e homogênea para o GTF. Os padrões
612 côncavos observados sugerem um magma gerado a partir da fusão de rochas quartzo-
613 feldspáticas com anfibólio no resíduo.

614



615
 616 **Figura 15.** Aranhogramas. A) Diagrama normalizado para ORG, segundo valores de Pearce
 617 *et al.* (1984); B) Diagrama normalizado para o condrito, segundo os valores de Thompson *et*
 618 *al.* (1982); C) Diagrama normalizado para os valores condríticos de Boynton (1984).
 619 **Figure 15.** Spidergrams. A) ORG-normalized diagram (values from Pearce *et al.*, 1984); B)
 620 Chondrite-normalized diagram (values from Thompson *et al.*, 1982); C) Chondrite-
 621 normalized diagram (values from Boynton, 1984).

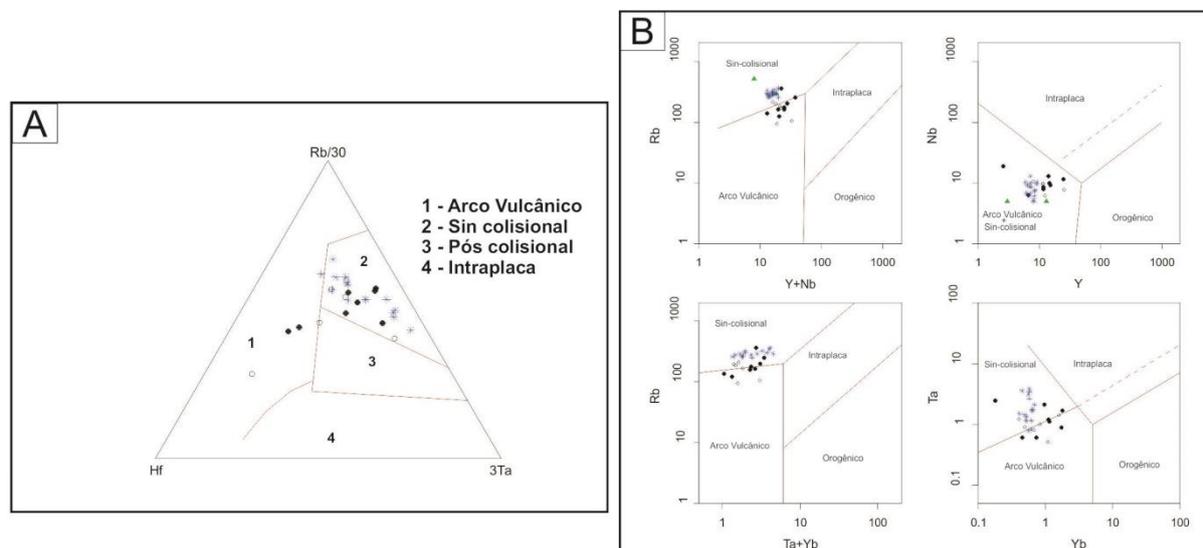
622

623 Nos diagramas de Pearce *et al.* (1984) (Fig. 16A) as amostras plotam predominantemente
 624 na interface entre os granitos sincolisionais e granitos de arco vulcânico. No diagrama de
 625 Harris *et al.* (1986) (Fig. 16B), que diferencia granitos de arco vulcânico, intraplaca e
 626 distinguem os granitos colisionais em sin- e pós-colisionais, as amostras posicionam-se
 627 predominantemente no campo de granitos sincolisionais.

628 Para fins de comparação e discussão, foi realizada uma compilação de dados
 629 geoquímicos com granitos da Suíte Granítica Cordilheira (SGC) do Cinturão Dom Feliciano,

630 extraído de Koester *et al.* (2001b), bem como dos granitos Hercinianos do Oeste da França,
 631 extraído de Tartèse & Boulvais (2010).

632 De modo geral o GTF apresenta teores mais baixos de Al_2O_3 , MgO e Rb e teores mais
 633 elevados de CaO, La e Ce. As rochas da Suíte Cordilheira apresentam maiores dispersões para
 634 os elementos maiores em diagramas de Harker e padrões mais variados nos diagramas
 635 multielementares, o que reflete diferentes fontes e processos na evolução destes granitos. A
 636 cristalização fracionada é a principal diferença, sendo um processo importante para o GTF e
 637 não tendo expressividade na evolução magmática dos demais granitos da Suíte Cordilheira
 638 (Koester *et al.*, 2001b). Quimicamente, o GTF é semelhante aos granitos Hercinianos do oeste
 639 da França, apresentando correlações negativas com a diferenciação para a maioria dos
 640 elementos, bem como padrões semelhantes em diagrama de ETR.



641
 642 **Figura 16.** Diagramas de discriminação tectônica. A) Diagramas de Pearce *et al.* (1984); B)
 643 Diagrama de Harris *et al.* (1986).

644 **Figure 16.** Tectonic discrimination diagrams. A) Diagram of Pearce *et al.* (1984); B)
 645 Diagram of Harris *et al.* (1986).

646

647 Com relação às possíveis fontes, Philipp *et al.* (2013), com base nas diferenças
 648 composicionais observadas no grupo de amostras analisado, sugere para o GTF uma fonte
 649 quartzo-feldspática. Os dados obtidos neste trabalho, com padrões semelhantes e uniformes
 650 para todo grupo de amostras, sugere uma fonte única e homogênea para o GTF. Para as
 651 demais rochas da Suíte Cordilheira, Philipp *et al.* (2013), com base em modelamentos
 652 petrogenéticos, sugere como fonte as rochas metapelíticas da Suíte Metamórfica Várzea do
 653 Capivarita, com temperaturas de fusão da ordem 740~820 °C para o Granito Cordilheira e

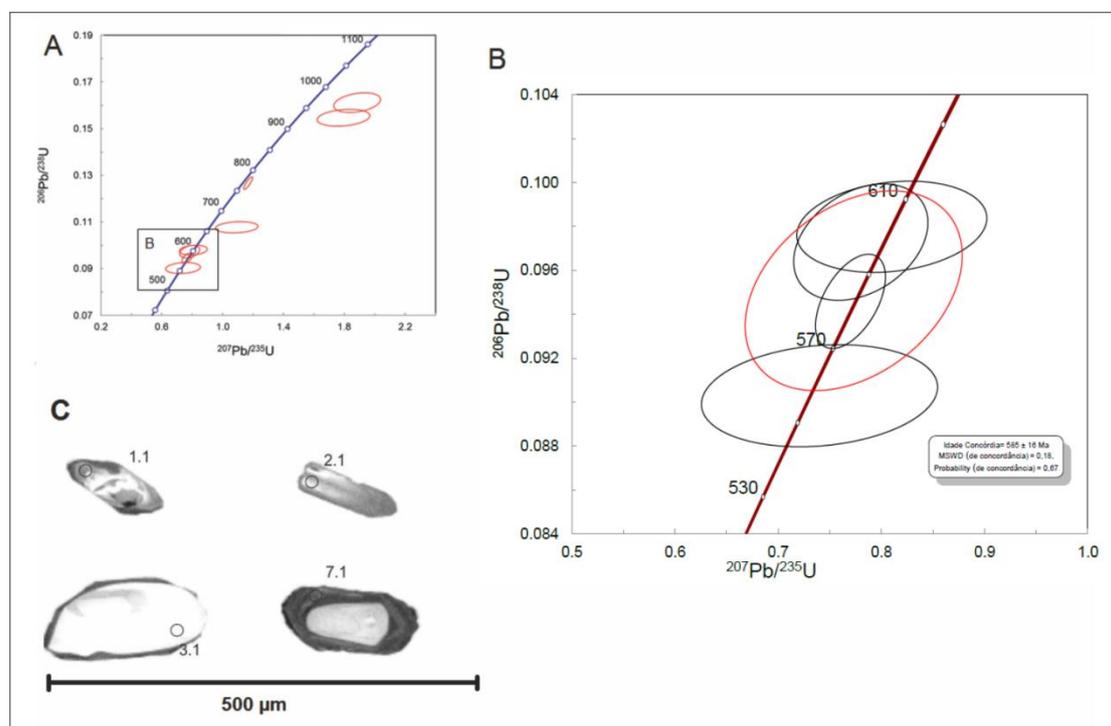
654 760~815 °C para o Granito Arroio Francisquinho. Koester *et al.* (2002), por meio de
 655 petrologia experimental, demonstra que a Suíte Metamórfica Várzea do Capivarita pode ser
 656 uma possível fonte, entretanto não é a mais provável fonte para a Suíte Cordilheira, indicando
 657 como processos e fontes alternativas (i) líquidos anatéticos, representados por diferentes
 658 fusões da mesma fonte; (ii) líquidos anatéticos diferentes, gerados de diferentes fontes ou (iii)
 659 líquidos anatéticos gerados em condições diferentes de pressão, temperatura e fluidos.

660

661 3.5 Geocronologia

662

663 Os resultados das análises em U-Pb SHRIMP para os zircões do GTF são apresentados
 664 na tabela 3 e as imagens de catodoluminescência com a localização dos pontos analisados
 665 podem ser visualizados na figura 17.



666

667 **Figura 17.** Idade U-Pb SHRIMP do Granito Três Figueiras. A) Imagens de
 668 catodoluminescência dos zircões utilizados no cálculo da idade magmática; B) Diagrama
 669 concórdia do Granito Três Figueiras, mostrando todos os pontos analisados; C) Detalhe do
 670 diagrama concórdia apenas com os pontos analíticos utilizados no cálculo da idade magmática
 671 de 585 ± 16 Ma do Granito Três Figueiras.

672 **Figure 17.** U-Pb SHRIMP age of Três Figueiras Granite. A) Cathodoluminescence image
 673 from zircons used on the magmatic age calculation; B) Concordia diagram of Três Figueiras

674 *Granite showing analyzed points; C) Detail of Concordia diagram showing only the*
 675 *calculated points of the 585 ± 16 Ma magmatic age.*

676

677 Tabela 3. Dados analíticos U-Pb para os zircões do Granito Três Figueiras. Apenas os *spots*
 678 em itálico e negrito foram utilizados no cálculo da idade magmática.

679 *Table 3. U-Pb analytical data of zircons from Três Figueiras Granite. Only italic and bold*
 680 *spots where used for magmatic age calculation.*

Spot	<i>PF</i> <i>01-1.1</i>	<i>PF</i> <i>01-2.1</i>	<i>PF</i> <i>01-3.1</i>	PF	<i>PF</i> <i>01-7.1</i>	PF	PF	PF
²⁰⁶ Pb (%)	<i>3,48</i>	<i>3,84</i>	<i>0,99</i>	3,84	<i>0,35</i>	2,74	0,3	4,82
U (ppm)	<i>856</i>	<i>352</i>	<i>37</i>	373	<i>212</i>	225	875	1439
Th (ppm)	<i>132</i>	<i>217</i>	<i>57</i>	101	<i>63</i>	34	59	54
²³² Th/ ²³⁸ U	<i>0,16</i>	<i>0,64</i>	<i>1,61</i>	0,28	<i>0,31</i>	0,16	0,07	0,04
²⁰⁷ corrigido ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U (idade)	<i>604</i>	<i>558,1</i>	<i>600,1</i>	915,2	<i>583</i>	950,5	767,2	652,4
1s (erro)	<i>8,6</i>	<i>9,6</i>	<i>10,8</i>	14,6	<i>8,3</i>	16,5	10,5	10,3
²⁰⁴ corrigido ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb (idade)	<i>595</i>	<i>583</i>	<i>544</i>	1295	<i>559</i>	1310	833	1028
1s (erro)	<i>160</i>	<i>218</i>	<i>113</i>	120	<i>53</i>	99	18	169
% discordância	<i>-1</i>	<i>5</i>	<i>-9</i>	40	<i>-4</i>	36	8	56
²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	<i>0,81</i>	<i>0,74</i>	<i>0,78</i>	1,79	<i>0,77</i>	1,88	1,17	1,09
% erro	<i>7,5</i>	<i>10,2</i>	<i>5,5</i>	6,4	<i>2,9</i>	5,4	1,6	8,5
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	<i>0,098</i>	<i>0,09</i>	<i>0,097</i>	0,155	<i>0,095</i>	0,161	0,127	0,108
% erro	<i>1,4</i>	<i>1,7</i>	<i>1,8</i>	1,5	<i>1,5</i>	1,7	1,4	1,5
erro corrigido	<i>0,189</i>	<i>0,168</i>	<i>0,336</i>	0,241	<i>0,517</i>	0,32	0,854	0,173

681

682 A amostra analisada corresponde ao ponto PF 01. A maioria dos cristais de zircão
 683 varia de 50 a 250 μm e possuem zonação interna, sendo possível observar núcleos mais claros
 684 e bordas mais escuras. Os pontos analisados foram efetuados nas bordas dos cristais. A
 685 maioria dos cristais apresentam as extremidades bipiramidais, com minoria de cristais
 686 arredondados. As amostras apresentam conteúdo variado de Urânio (37 - 875 ppm) com
 687 razões Th/U moderadas a altas (0,16 -1,61). Algumas amostras apresentaram discordâncias e
 688 não foram utilizadas no cálculo da idade, devido a possíveis perdas ou ganhos de Pb no
 689 sistema. As amostras foram plotadas em um diagrama concórdia (Fig. 17). Nela, é possível
 690 visualizar uma concentração de pontos próximo à concórdia, caracterizado por 4 grãos de
 691 zircão, os quais sugerem uma idade de cristalização magmática de 585 ± 16 Ma. Os resultados
 692 dos zircões discordantes são interpretados como zircões herdados e tem idade variando de 833
 693 a 1.310 Ma.

694

695 5 Conclusões

696

697 Considerando os aspectos de campo e o conjunto de dados petrográficos,
698 mineralógicos e químicos, o GTF se encaixa nos granitos MPG da literatura, sendo um
699 granito peraluminoso com duas micas com presença de granada, turmalina e monazita como
700 principais fases acessórias.

701 O GTF é um granito sintectônico à Zona de Cisalhamento Arroio Grande, uma zona
702 de cisalhamento transcorrente subvertical com direção principal W-SW-ENE, com caimento
703 para SE. Associado a essa foliação, apresenta uma lineação de estiramento do quartzo, sub-
704 horizontal com sentido de caimento para ENE.

705 O conjunto de texturas e estruturas impressos neste granito demonstram que o
706 resfriamento do magma é acompanhado pela progressão da deformação, em condições de
707 fácies anfíbolito inferior a médio, a temperaturas de pelo menos 550 °C.

708 O GTF é um granito peraluminoso com teores A/CNK entre 1,07 e 1,21 e coríndon
709 normativo entre 1,2 e 3%, sendo o principal processo de evolução magmática a cristalização
710 fracionada de minerais como biotita, plagioclásio, granada, monazita, apatita e zircão. Os
711 diagramas ETR mostram que este granito possui uma fonte homogênea, provavelmente
712 quartzo-feldspática com anfibólio no resíduo.

713 As principais diferenças deste granito aos demais da Suíte Granítica Cordilheira são
714 teores mais elevados de CaO, La e Ce e mais baixos de Al₂O₃, MgO e Tb, bem como padrões
715 mais homogêneos e uniformes em diagramas multielementares e menos dispersos em
716 diagramas de *Harker*, o que sugere fontes e processos distintos para estes granitos.
717 Quimicamente são semelhantes aos granitos Hercinianos do oeste da França, interpretados
718 como produto de anatexia crustal por fusão parcial, com principal mecanismo de evolução a
719 cristalização fracionada.

720 A idade de cristalização magmática de 585 ± 16 Ma sugere um evento de fusão crustal
721 mais recente em relação aos demais granitoides da Suíte Cordilheira (630 - 617 Ma),
722 demonstrando a existência de dois eventos distintos de movimentação transcorrente no leste
723 do Cinturão Dom Feliciano, cinemática e idades distintas, mas ambos marcados por
724 granitoides peraluminosos do tipo MPG.

725

726 Agradecimentos. Ao CNPq pelo auxílio e bolsa concedida ao aluno Fernando Galvão Klein (Processo
727 n° 132809/2013-3) e pelo Projeto Universal/CNPq n° 480135/2013-4.

728

729 **Referências bibliográficas**

730

731 Barbarin, B. 1990. Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and
732 tectonic setting. *Geology Journal*, 25: 227–238.

733 Barbarin, B. 1996. Genesis of the two main types of peraluminous granitoids. *Geology*, 24(4):
734 295-298.

735 Barbarin, B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and
736 their geodynamic environments. *Lithos*, 46: 605-626.

737 Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S. 1986. Metamorfismo e deformação dúctil de rochas
738 graníticas. *Acta Geológica Leopoldensia*, 11(23): 33-56.

739 Bitencourt, M.F. & Nardi, L.V.S. 2000. Tectonic setting and sources of magmatism related to
740 the Southern Brazilian Shear Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1): 186-189.

741 Black, L.P., Kamo, S.L., Allen, C.M., Davis, D.W., Aleinikoff, J.N., Valley, J.W., Mundil, R.,
742 Campbell, I.H., Korsch, R.J., Williams, I.S. & Foudoulis, C. 2004. Improved
743 ²⁰⁶Pb/²³⁸U microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related
744 matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS and oxygen isotope documentation
745 for a series of zircon standards. *Chemistry Geology*, 205: 115-140.

746 Boynton, W.V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. *In*:
747 Henderson, P. (Ed.). *Rare-Earth Element Geochemistry*. Amsterdã, Elsevier, p. 63–
748 114.

749 Chappell, B.W. & White, A.J.R. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8:
750 174-184.

751 Chappell B.W. & White A.J.R. 1992. I-Type and S-Type granites in the Lachlan Fold Belt.
752 *Transaction Royal Society*, 83: 1-26.

753 Cox, K.G., Bell, J.D. & Pankhurst, R.J. 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. Londres,
754 George Allen & Unwin, 450 p.

755 De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P. & Marchal, M. 1980. A classification of
756 volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major element analyses – its
757 relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29: 183–210.

758 Debon, F. & Lê Fort, P. 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic
759 rocks and associations. *Earth Sciences*, 73: 135-149.

760 Fernandes, L.A.D., Menegat, R., Costa, A.F.U., Koester, E., Kramer, G., Tommasi, A.,
761 Porcher, C.C., Ramgrab, G.E. & Camozzato, E. 1995. Evolução tectônica do Cinturão

- 762 Dom Feliciano no Escudo Sul-rio-grandense: Parte II – uma contribuição a partir das
763 assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 25: 375-384.
- 764 Fragoso-Cesar, A.R.S., Figueiredo, M.C.H., Soliani Jr., E. & Faccini, U.F. 1986. O Batólito
765 Pelotas (Proterozóico Superior/Eo-Paleozóico) no Escudo do rio Grande do Sul. *In:*
766 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986, Goiânia. *Anais... Goiânia*,
767 SBG, v. 3, p. 13-22
- 768 Frantz, J.C., McNaughton, N.J., Marques, J.C., Hartmann, L.A., Botelho, N.F. & Caravaca, G.
769 2003. SHRIMP U-Pb zircon ages of granitoids from southernmost Brazil: constrains
770 on the temporal evolution of the Dorsal de Canguçu transcurrent Shear Zone and
771 Eastern Dom Feliciano Belt. *In:* SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE
772 GEOLOGY IV, Salvador *Short Papers*, v. 1, p. 174-177.
- 773 Harris, N.B.W., Pearce, J.A. & Tindle, A.G. 1986. Geochemical characteristics of collision
774 zone magmatism. *In:* Coward, M.P., Ries, A.C. (Eds.). *Collision Tectonics.*
775 *Geological Society of London, Special Paper*, 19: 115-158.
- 776 Heilbron, M., Pedrosa-Soares, A.C., Campos Neto, M., Silva, L.C. & Trouw, R.A.J. 2004. A
777 Província Mantiqueira. *In:* Mantesso Neto, A., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito
778 Neves, B.B. (Eds.). *O desvendar de um continente: a moderna geologia da América*
779 *do Sul e o legado da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Beca,
780 p. 203-234.
- 781 Janoušek, V., Farrow, C.M. & Erban, V. 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data
782 in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (gcdkit). *Journal of*
783 *Petrology*, 47(6): 1255-1259.
- 784 Klein, F.G. 2012. *Petrologia do Granito Três Figueiras, Arroio Grande, RS*. Porto Alegre, 69
785 p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências,
786 Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 787 Koester, E. 1995. *Petrologia e geocronologia dos granitóides sintectônicos à Zona de*
788 *Cisalhamento Dorsal de Canguçu*. Porto Alegre, 240 p. Dissertação (Mestrado) -
789 Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 790 Koester, E., Fernandes, L.A.D., Soliani Jr., E., Kraemer, G., Nardi, L.V.S. & Roisenberg, A.
791 2001a. Geologia e geoquímica dos granitóides sintectônicos à Zona de Cisalhamento
792 Transcorrente Dorsal de Canguçu, Encruzilhada do Sul, RS. *Revista Brasileira de*
793 *Geociências*, 31(2): 141-154.
- 794 Koester, E., Roisenberg, A., Fernandes, L.A.D., Soliani Jr., E., Nardi, L.V.S. & Kraemer, G.
795 2001b. *Petrologia dos granitóides sintectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente*

- 796 Dorsal de Canguçu, Encruzilhada do Sul, RS. *Revista Brasileira de Geociências*,
797 31(2): 131-140.
- 798 Koester, E., Pawley, A.R., Fernandes, L.A.D., Porcher, C.C. & Soliani Jr., E. 2002.
799 Experimental melting of cordierite gneiss and the petrogenesis of syntranscurrent
800 peraluminous granites in the southern Brazil. *Journal of Petrology*, 48(43): 1595-
801 1616.
- 802 Lameyre, J., 1980. Les magmas granitiques: leurs comportements, leurs associations et leurs
803 sources. *Mémoires de la Société Géologique France*, 10: 51–62.
- 804 Le Fort, P. 1981. Manaslu lencogranite: a collision signature of the Himalaya. A model for its
805 genesis and emplacement. *Journal Geophysical Research*, 86: 10545–10568.
- 806 Loureiro, P.O. 2013. *Evolução Magmática do Complexo Pinheiro Machado na região de*
807 *Monte Bonito, Pelotas, RS*. Porto Alegre, 75p. Monografia de Conclusão de Curso,
808 Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do
809 Sul.
- 810 Ludwig, K. R. 2003. *User's manual for Isoplot 3.0: A geochronological toolkit for Microsoft*
811 *Excel*. Berkeley Geochronology Center, 71 p.
- 812 Machado, R., Philipp, R.P. & Mello, F. 1995. Reconhecimento de zonas de cisalhamento
813 dúcteis de alto ângulo com cinemática superposta na extremidade sul do Batólito
814 Pelotas, RS. SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5, 1995,
815 Gramado, *Boletim de Resumos Expandidos*, p. 52-53.
- 816 Masquelin, H., Fernandes, L.A.D., Lenz, C., Porcher, C.C. & McNaughton, N.J. 2012. The
817 Cerro Olivo Complex: a pre-collisional Neoproterozoic magmatic arc in Eastern
818 Uruguay. *International Geology Review*, 54: 1161- 1183.
- 819 Nardi, L.V.S. & Frantz, J.C. 1995. The Cordilheira intrusive suite: late Proterozoic
820 peraluminous granitoids from the southern Brazil. *Journal of South American Earth*
821 *Sciences*, 8(1): 55-63.
- 822 Passchier, C.W. & Trouw, R.A.J. 1996. Shear Zones. In: Passchier, C.W & Trouw R.A.J.
823 (Eds.). *Microtectonics*. Berlim, Springer Verlag, p. 97-129.
- 824 Passchier, C.W. & Trouw, R.A.J. 2005. *Microtectonics*. Berlim, Springer Verlag, 366 p.
- 825 Patiño-Douce, A.E. 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of
826 crust and mantle to the origin of granitic magmas? In: Castro, A., Fernandez, C.,
827 Vigneresse, J.E. (Eds.). *Understanding Granites: New and Classical Techniques*.
828 *Geological Society of London, Special Publications*, 168: 55-75.

- 829 Pearce, J.A, Harris, N.W. & Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for
830 the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: 956–983.
- 831 Pérez-Soba, C. & Villaseca, C. 2010. Petrogenesis of highly fractionated I-type peraluminous
832 granites: La Pedriza pluton (Spanish Central System). *Geologica Acta*, 8(2): 131-149.
- 833 Philipp, R.P. 1998. *A evolução geológica e tectônica do Batólito Pelotas no Rio Grande do*
834 *Sul*. São Paulo, 255p. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em
835 Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- 836 Philipp, R.P., Nardi, L.V.S. & Bitencourt, M.F. 2000. O Batólito Pelotas no Rio Grande do
837 Sul. In: Holz, Michel, De Ros, L.F. (Org.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto
838 Alegre, Ed. UFRGS, p. 133-160.
- 839 Philipp, R.P., Machado, R., Nardi, L.V.S. & Lafon, J.M. 2002. O magmatismo granítico
840 Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil: novos dados e revisão de
841 geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2): 277-290.
- 842 Philipp, R.P., Massone, H.J & Campos, R.S. 2013. Peraluminous leucogranites of the
843 Cordilheira Suite: A record of Neoproterozoic collision and the generation of the
844 Pelotas Batholith, Dom Feliciano Belt, Southern Brazil. *Journal of South American*
845 *Earth Sciences*, 43: 08-24.
- 846 Pitcher, W.S. 1983. Granite: typology, geological environment and melting relationships. In:
847 Atherton, M.P., Gribble, C.D. (Eds.). *Migmatites, Melting and Metamorphism*.
848 Chechire, Shiva Publishing Limited, p. 277-287.
- 849 Ramos, R.C. & Koester, E. 2014. Geologia da associação metamáfica-ultramáfica da região
850 de Arroio Grande, sudeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. *Pesquisas em Geociências*,
851 41(1): 25-38.
- 852 Ramos, R.C. & Koester, E. 2015. Lithogeochemistry of the meta-igneous units from Arroio
853 Grande Ophiolitic Complex, southernmost Brazil. *Brazilian Journal of Geology*,
854 45(1): 65-78.
- 855 Sawyer, E.W., Cesare, B. & Brown, M. 2011. When the continental crust melts. *Elements*, 7:
856 227-232.
- 857 Shand, S.J. 1943. *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their*
858 *Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*. Nova Iorque, John Wiley &
859 Sons, 444 p.
- 860 Silva, R.F. & Koester, E. 2014. Petrologia do Granito Capão do Leão, Domínio Leste do
861 Escudo Sul-Rio-Grandense, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA,
862 47, 2014, Salvador. *Anais...* Salvador, SBG, p. 860.

- 863 Streckeisen, A.L. 1976. Classification of the common igneous rocks by means of their
864 chemical composition: a provisional attempt. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 1: 1-15.
- 865 Tartèse, R. & Boulvais, P. 2010. Differentiation of peraluminous leucogranites “en route” to the
866 surface. *Lithos*, 114: 353-368
- 867 Thompson, R.N., Morrison, M.A., Hendry, G.L. & Parry, S.J. 1982. An assessment of the
868 relative roles of crust and mantle in magma genesis: an elemental approach.
869 *Philosophical Transactions Royal Society of London*, 310: 549-590.
- 870 Tickyj, H., Hartmann, L.A., Vasconcellos, M., Philipp, R.P. & Remus, M.V.D. 2004. Electron
871 microprobe dating of monazite substantiates ages of major geological events in the
872 southern Brazilian Shield. *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 699-713.
- 873 Trainini, D.R. 1987. Projeto *Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais*,
874 *Folhas SI-22 Jaguarão-Rio Grande*. Porto Alegre, Convênio DNPM/CPRM. 8 mapas.
875 Escala 1:250.000
- 876 UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1972. *Geologia das folhas de Arroio*
877 *Grande, Erval, Basílio e Cerro Chato*. Porto Alegre. Monografia de Conclusão de
878 Curso de Graduação, Curso de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 879 Vieira, D.T., Koester, E. & Bertotti, A.L. 2016. Petrology of Chasqueiro Granite, Arroio
880 Grande region, southeastern Sul-Rio-Grandense Shield. *Brazilian Journal of Geology*,
881 46(1): 49-78.
- 882 Villaseca, C., Barbero, L. & Herreros, V. 1998. A re-examination of the typology of peraluminous
883 granite types in intracontinental orogenic belts. *Transactions Royal Society*
884 *Edinburgh*, 89: 113- 119.
- 885 White, A.J.R. & Chappell, B.W. 1977. Ultrametamorphism and granitoid genesis.
886 *Tectonophysics*, 43: 07-22.
- 887 White, A.J.R. & Chappell, B.W. 1983. Granitoid types and their distribution in the Lachlan
888 fold belt, southeast Australia. *Geological Society of America Memoir*, 159: 21-34.
- 889 Wildner, W., Ramgrab, G.E., Lopes, R.C. & Iglesias, C.M.F. 2007. *Mapa Geológico do*
890 *Estado do Rio Grande do Sul*. Brasília, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Escala
891 1:750.000.
- 892 Williams, I.S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. *In*: McKibben, M.A.,
893 Shanks, W.C., Ridley, W.I. (Eds.). Applications of Microanalytical Techniques to
894 Understanding Mineralizing Processes. *Reviews in Economic Geology*, 7: 1-35.
- 895 Wilson, M. 1989. *Igneous Petrology*. Londres, Unwin and Hyman, 466 p.

ANEXO I

Título da Dissertação:

PETROLOGIA DO GRANITO TRÊS FIGUEIRAS, SUDESTE DO CINTURÃO
DOM FELICIANO, RS.

Área de Concentração: Geoquímica

Autora: **Fernando Galvão Klein**

Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester

Examinador: Prof. Lauro Valentim Stoll Nardi

Data: 16/11/2017

Conceito: **B**

PARECER

A dissertação apresentada trata de assunto relevante para o conhecimento da geologia do sul do Brasil, descrevendo alguns aspectos do Granito Três Figueiras. O trabalho em sua forma é satisfatório e os métodos utilizados são adequados, com, de modo geral, boas ilustrações, fotos e texto relativamente claro. Deste modo, consideramos a dissertação aprovada e enumeramos a seguir suas principais deficiências, ao menos a nosso juízo. Nossas observações referem-se principalmente ao trabalho submetido, uma vez que o restante do volume é predominantemente uma repetição de seu conteúdo.

Os pontos que julgamos que deveriam ser revistos, principalmente com respeito ao trabalho submetido, são:

- O uso do termo correlação não está correto, por exemplo no resumo, "Apresenta correlação negativa para a maioria dos elementos maiores...". Quem apresenta correlação com os elementos maiores, creio ser algum índice de diferenciação. O mesmo erro consta no Abstract.

- Erros de digitação no trabalho submetido: Resumo, linha 9; Abstract, última frase em itálico,

- No item metodologia do trabalho submetido consta o local onde foram feitas as lâminas, a marca do microscópio. Informações deste tipo não são adequadas em trabalhos para publicação.

- p. 3, parágrafo 1, a discriminação química com base no A/CNK não é diretamente vinculada à origem dos magmas. No terceiro parágrafo na penúltima frase o termo fusão incongruente está mal utilizado: grandes volumes de fusão podem ser gerados quando a atividade de fluídos é alta, como no *water fluxed melting*.

- p. 4, par 2, ln 126 – a origem da água, pois líquido pode ser a fusão silicatada. Linhas 136-137 frase está incorreta.

- p. 5 par 3, quem afirmou que predominam granitos cálcio alcalinos alto-K no Batólito Pelotas. E vocês estão de acordo com esta afirmação? Creio estar muito desatualizada.

A nosso juízo falta um mapa geológico em escala de maior detalhe, onde se pudesse observar a distribuição das fácies mais e menos deformadas, etc.

p. 21, parágrafo 1. A afirmação de que as texturas de recristalização se deram na fácies anfíbolito sugere que houve um evento metamórfico ou as temperaturas são produzidas pelo magma recém cristalizado? Também consta nas conclusões.

As tabelas geoquímicas devem manter a ordem normal dos óxidos. Também o Pr, que é uma terra rara deveria estar em seu devido lugar.

p. 26 frase 1: frase sem sentido.

p. 29- a descrição dos padrões de ETR não confere com a figura: na realidade os leves são enriquecidos, não vejo padrões côncavos típicos de fracionamento de anfibólio, e as terras raras leves são empobrecidas nos termos mais diferenciados, basta olhar os diagramas de Harker para La e Ce.

p. 33 – ln 684-5: os pontos analisados não foram efetuados... As análises foram feitas nas bordas.

- Existe relação das idades obtidas com os grãos mais ou menos arredondados do zircão?

Espero que as correções auxiliem na revisão do manuscrito submetido.

Assinatura:



Porto Alegre, 16 de novembro de 2017

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

"PETROLOGIA DO GRANITO TRÊS FIGUEIRAS, SUDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS".

Área de Concentração: Geoquímica

Autor: Fernando Galvão Klein

Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester

Examinador: Prof. Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro

Data: 8/12/2017

Conceito: 'C'

PARECER:

PREZADOS, AGRADEÇO PELO CONVITE PARA PARTICIPAR DA BANCA DE DISSERTAÇÕES DE MESTRADO DO ALUNO FERNANDO GALVÃO KLEIN, INTITULADA "PETROLOGIA DO GRANITO TRÊS FIGUEIRAS, SUDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS".

O TEMA É INTERESSANTE, E CONTRIBUI PARA O CONHECIMENTO DA EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA DE ESTUDO. ENTRETANTO, EXISTEM ERROS QUE, SE CORRIGIDOS, PODEM MELHORAR A DISSERTAÇÃO APRESENTADA.

O TEXTO APRESENTA MUITOS ERROS DE DIGITAÇÃO, DE CONCORDÂNCIA VERBAL (ESTA MAL REDIGIDA), AS FIGURAS EM MUITOS CASOS NÃO SÃO ADEQUADAS (NÃO ILUSTRAM O QUE É DITO NO TEXTO), MUITAS DAS LEGENDAS DE FIGURAS ESTÃO INVERTIDAS, ETC. AS DISCUSSÕES, PRINCIPALMENTE DA GEOQUÍMICA, NÃO SUSTENTAM ALGUMAS AFIRMAÇÕES DO CANDIDATO. SUGIRO QUE OS ERROS SEJAM CORRIGIDOS PARA MELHORAR A QUALIDADE DA DISSERTAÇÃO. COMO CONTRIBUIÇÃO, ENVIÓ EM ANEXO CORREÇÕES QUE ACREDITO SEREM RELEVANTES.

O QUE SE ESPERA DE UMA DISSERTAÇÃO É UM TEXTO COM O MENOR NÚMERO DE ERROS. UMA DISSERTAÇÃO NÃO PODE TER TANTOS ERROS.

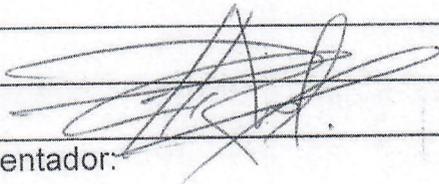
DE DIGITAÇÃO, DE LEGENDAS INVERTIDAS, FIGURAS MAL ELABORADAS, ERROS CONCEITUAIS, ETC. OUTRO DETALHE: LENDO O TEXTO, O FOCO DO TRABALHO NAS É A PETROLOGIA, O TEXTO Foca PRINCIPALMENTE NA GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA. TALVEZ SEJA MELHOR MODIFICAR O TÍTULO. ALGUMAS PARTES "PARECEM CÓPIA DO TCC DO ALUNO". COM BASE NISSO JUSTIFICO MINHA NOTA C.

ESPERO TER CONTRIBUÍDO E AGRADEÇO A OPORTUNIDADE E O CONVITE PARA PARTICIPAR DA BANCA.

Att.

PROF. Dr. Guillermo Rafael B. Navarro

Assinatura:



Data: 08/12/2017

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“PETROLOGIA DO GRANITO TRÊS FIGUEIRAS, SUDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS. ”
Área de Concentração: Geoquímica
Autor: Fernando Galvão Klein
Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinadora: Profa. Dra. Ana Cláudia Dantas da Costa
Data: 06/12/2017
Conceito: B (BOM)
PARECER:

O trabalho de dissertação de mestrado está bom e tem notável embasamento teórico. Possui dados inéditos e mostra contexto geológico bem fundamentado na literatura, bem como acerca do magmatismo peraluminoso, de idade Ediacarana.

Com relação ao artigo (capítulo 4), está bem estruturado, mostrando a caracterização petrológica e temporal do Granito Três Figueiras, porção SE do Cinturão Dom Feliciano. Assim sendo, as sugestões de correções aqui transmitidas visam a colaborar com o autor na tentativa de tornar o artigo mais adequado aos leitores.

Na Linha 26 (Resumo) está grafado “onfd”, deveria ser “onde”.

Na Linha 31 pode ser suprimido “para esta zona de cisalhamento”, visto que na Linha 29/30 já escreve “desta zona”.

Na Linha 45 (Abstract), poderias substituir: “The main goal of this work is to make the geologic characterization” (acredita-se numa tradução muito literal aqui) por: “The Três Figueiras Granite geologic characterization was made from field data, structural...”

Na Linha 60, parte dela está em itálico!!

Na Linha 152, o autor escreve pela primeira vez sobre o Granito Três Figueiras. Desta forma, não deveria usar somente a sigla GTF, e sim o nome completo e entre parênteses (GTF).

Na Linha 159 a palavra “cinturão” está enunciada duas vezes, e ela se repete na segunda linha deste parágrafo (160). Poderia ser: “ A área de estudo está localizada no Cinturão Dom Feliciano, faixa orogênica neoproterozóica relacionada ao ciclo Brasileiro, o qual se estende...”

Página 8, na Linha 216. Mapa Geológico. Faltou escala gráfica. Escala numérica está com uma vírgula, deveria ser ponto. Faltam coordenadas na parte superior do polígono e uma coordenada na parte esquerda do polígono. Deveria colocar um perfil geológico para complementar o entendimento e a estruturação do granito estudado.

Página 9. Tentar substituir (ou reescrever sentença) onde está a palavra “foram”. Ela aparece três vezes no primeiro parágrafo, mais três no segundo e mais três no terceiro parágrafo. Na Linha 242, sugestão: “Do total de amostras coletadas, somente 15 foram separadas...” Na Linha 247, sugestão: “Para as análises químicas, determinou-se no Laboratório Acme... elementos maiores, traço e ... em 15 amostras”.

Página 10. Resultados. Na Linha 278. Como é o início de subcapítulo, seria adequado se referir: “Granito Três Figueiras” em vez da sigla GTF.

Página 15. Linha 367. Como é o início de subcapítulo, seria adequado se referir: “Granito Três Figueiras” em vez da sigla GTF. Na mesma linha (entre parênteses) a “Tab. 2” é a Norma CIPW. E a “Tab. 1” é a tabela de dados geoquímicos.

Nas Linhas 368, 369 e 370 há a proporção mineralógica cuja soma (variação 35-50%) está superior a 100%.

Página 16. Linha 423. Acredita-se que a parte final da frase precisa de um complemento, porque ela fica sem sentido. Está assim: "...constituindo a principal fase da matriz, ou localmente deformado em forma de fita...". Poderia ser "...constituindo a principal fase da matriz, ocorrendo também em porções deformadas em forma de fita, contornado cristais de feldspato."

Página 17. Linha 427. "Os cristais de mica tendem a formar..." Linha 431. "Os grãos (ou cristais) de K-feldspato e de plagioclásio..." Linha 438. "Os porfiroclastos de muscovita-fish e feldspato..." Linha 445. Falta um ponto: "corpo rochoso Estas diferenças".

Página 22. Linha 538. Como é o início de subcapítulo, seria adequado se referir: "Granito Três Figueiras" em vez da sigla GTF. Não citou as Tabelas 1 e 2. Não citou a Figura 12. Texto das linhas 628 a 631 deveria ser trazido para este trecho do artigo, porque o autor já coloca esta comparação na Figura 12.

Página 31. Figura 16. Tamanho poderia ser maior: das figuras "16B"...

Página 32. Geocronologia. Qual (nome) amostra foi datada? Qual a petrografia? Quantos grãos de zircão foram separados? Quais as características morfológicas dos grãos na lupa? (Relação comprimento-largura, inclusões, cor). Figura 17, Linha 667. A legenda da Figura está trocada. '17A) não se refere às imagens de catodo, assim como as duas outras figuras...'

Página 33. A Tabela 3 mostra os dados analíticos U-Pb. As linhas deveriam ser colunas e as colunas deveriam ser linhas. Acredita-se que isto se deve em razão do espaço ou do tamanho do artigo... É incomum desta forma.

Linha 692. Dois grãos de zircão tem a mesma fonte: 1295 e 1310Ma. Outros dois grãos são metamórficos (9.1 e 11.1) pela baixa razão Th/U (0,07 e 0,04). Isto infere que um metamorfismo em zircão herdado entre 833 e 1028Ma.

Assinatura:

Jha Claudia D. da Costa

Data: 06/12/17

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: