

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

**QUÍMICA MINERAL E GEOTERMOBAROMETRIA DE
ROCHAS NEOPROTEROZOICAS DO NORDESTE DO
CINTURÃO DOM FELICIANO, RS**

SUSAN MARTINS DRAGO

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

Porto Alegre, 2020

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

**QUÍMICA MINERAL E GEOTERMOBAROMETRIA DE
ROCHAS NEOPROTEROZOICAS DO NORDESTE DO
CINTURÃO DOM FELICIANO, RS**

SUSAN MARTINS DRAGO

ORIENTADOR – Prof. Dr. Edinei Koester

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Lucelene Martins – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

Prof.^a Dr.^a Maria de Fátima Aparecida Saraiva Bitencourt – Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Rodrigo Vinagre Cintra da Costa – Instituto de Geociências, Universidade
Federal do Rio de Janeiro

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

Porto Alegre, 2020

CIP - Catalogação na Publicação

Drago, Susan Martins
QUÍMICA MINERAL E GEOTERMOBAROMETRIA DE ROCHAS
NEOPROTEROZOICAS DO NORDESTE DO CINTURÃO DOM
FELICIANO, RS / Susan Martins Drago. -- 2020.
125 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,
2020.

1. Geotermobarometria. 2. Química mineral. 3.
Anfibólio. 4. Titanita. I. Koester, Edinei, orient.
II. Título.

Dedico este trabalho aos meus pais Aldo Cadavid Drago (*in memoriam*) e Elcia M^a Martins Drago, meus grandes incentivadores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Edinei Koester, pela confiança depositada em meu trabalho e pela sua infinita paciência ao longo destes anos; à Prof.^a Márcia Boscato Gomes, pela orientação e apoio; e à Prof.^a Maria Lúcia Vignol, pelo acolhimento. Agradeço também aos colegas e amigos Lucas C. Jantsch, Rafael D. Hoffman, Edgar Bercht, André Abreu Martins, Silvana Riffel, Larissa C. Colombo, Natália Malue e Thisiane Santos, pelas conversas e por estarem sempre disponíveis para um café. À minha família, mãe, pai (*in memoriam*) e irmãos, que sempre torceram por mim nas minhas aventuras pela ciência, e ao meu marido, Moisés, pelo carinho e suporte neste período.

RESUMO

O nordeste do Cinturão Dom Feliciano compreende rochas gnáissicas tonalíticas de afinidade cálcico-alcálica médio-K, de fácies anfibolito, e rochas graníticas pós-transcorrentes de afinidade cálcico-alcálica alto-K e alcálica. Com o objetivo de obter dados a respeito das condições de formação destas rochas, métodos geotermobarométricos com base na química mineral e de rocha total foram aplicados. A química mineral dos anfibólios das rochas gnáissicas (Fe-hornblenda a Fe-tschermakita) registrou uma mudança nas condições de pressão que foi interpretada como tendo um núcleo ígneo, com temperaturas, pressões e profundidades, respectivamente, de 710 a 760 °C, 3,4 a 3,9 kbar e 12 a 14 km; e uma borda metamórfica de 690 a 760 °C, 4,8 a 7,7 kbar e 18 a 28 km. A química mineral dos anfibólios dos granitos (Mg-hornblenda) registrou temperaturas de 659 a 759 e pressões de 3,2 a 5,0 kbar, com profundidades de 11 a 18 km. As temperaturas obtidas com base no teor de Zr na titanita registraram eventos entre 607 a 881 °C, que foram interpretados, em conjunto com observações petrográficas, como tendo tanto uma origem magmática (700 – 881 °C), quanto pós-magmática (<700 °C), ambas com características químicas distintas.

Palavras-chave: Geotermobarometria, química mineral, anfibólio, titanita.

ABSTRACT

The northeast of the Dom Feliciano Belt comprises post-transcending granitic rocks of high K-alkaline and alkaline affinity, and tonalitic gneissic rocks of amphibolite-calcium-alkaline affinity. In order to obtain data regarding the formation conditions of these rocks, geothermobarometric methods based on mineral chemistry and bulk rock geochemistry were applied. The mineral chemistry of the amphiboles of the gneiss rocks (Fe-hornblende to Fe-tschermakite) registered a change in pressure conditions that were interpreted as having an igneous core, with temperatures, pressures and depths, respectively, from 710 to 760 ° C, 3.4 to 3.9 kbar and 12 to 14 km; and a metamorphic rim of 690 to 760 ° C, 4.8 to 7.7 kbar and 18 to 28 km. The mineral chemistry of granite amphiboles (Mg-hornblende) recorded temperatures from 659 to 759 and pressures from 3.2 to 5.0 kbar, with depths from 11 to 18 km. The temperatures obtained based on the Zr content in titanite registered events between 607 to 881 ° C, which were interpreted, together with petrographic observations, as having both a magmatic (700 - 881 ° C) and post-magmatic origin (<700 ° C), both with different chemical characteristics.

Keywords: Geothermobarometry, mineral chemistry, amphibole, titanite.

LISTA DE ABREVIATURAS

a_{SiO_2}	Atividade do SiO ₂
a_{TiO_2}	Atividade do TiO ₂
$a_{CaTiSiO_5}$	Atividade da titanita
a_F	Atividade do flúor
f_{O_2}	Fugacidade do oxigênio
f_{CO_2}	Fugacidade do dióxido de carbono
f_{H_2O}	Fugacidade da água
EDS	<i>Energy dispersive spectroscopy</i>
WDS	<i>Wavelength dispersive spectroscopy</i>
TAP	<i>Thallium acid phthalate</i>
PET	<i>Pentaerythritol</i>
LPET	<i>Large pentaerythritol</i>
LIF	<i>Lithium fluoride</i>
LLIF	<i>Large lithium fluoride</i>
PC1	<i>Pseudocrystal 1 (W-Si)</i>
PC2	<i>Pseudocrystal 2 (NiC)</i>
PC3	<i>Pseudocrystal 3 (Mo-B₄C)</i>
Apfu	Átomos por fórmula unitária
An	Anortita
Ab	Albita
Hbl	Hornblenda
Pl	Plagioclásio
Ttn	Titanita
ETR	Elementos terras raras
Al-hbl	Geobarômetro do Al na hornblenda

Amp-pl	Geotermobarômetro anfibólio-plagioclásio
Zr-Ttn	Geotermobarômetro do zircônio na titanita
Sat-Zir	Geotermômetro de saturação do zircão
CDF	Cinturão Dom Feliciano
SIV	Suíte Intrusiva Viamão
SIP	Suíte Intrusiva Porto Alegre
SII	Suíte Intrusiva Itapuã
EDS	<i>Energy dispersive spectroscopy</i>
WDS	<i>Wavelength dispersive spectroscopy</i>

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Mapa geológico simplificado das divisões tectônicas do Escudo Sul-rio-grandense, seus limites e a localização da área de estudo, a região de Porto Alegre..... 16
- Figura 2: Mapa geológico da região de Porto Alegre, NE do Cinturão Dom Feliciano, no RS (modificado de Oliveira et al., 2001)..... 18
- Figura 3: Diagramas de P versus Al (total) nas hornblendas: (a) Comparação dos métodos geobarométricos do Al na hornblenda propostos por diferentes autores, e (b) Calibração do barômetro Al na hornblenda proposta por Anderson & Smith (1995). Modificado de Anderson & Smith (1995). 22
- Figura 4: Relação das substituições ocorridas no vetor $\text{NaAl}^{\text{IV}}\square_{-1}\text{Si}_{-1}$ nos anfibólios nos anfibólios sintéticos usados na construção do método Amp-PI de Blundy & Holland (1990): (a) Relação do Al^{IV} e Na^{A} e (b) da \square^{A} (vacância) e Si, em apfu (átomos por fórmula unitária). . 23
- Figura 5: Efeito das substituições (ETRs e F+Al) e presença/ausência de rutilo na captação de Zr na titanita em experimentos a 1.000 °C e 1 GPa (Hayden et al., 2008). 26
- Figura 6: Comparação das calibrações do método da saturação de Zr. Em (a), curva construída com $M (= 1,4)$ constante; e em (b), com $[\text{Zr}]_{\text{sat}} (= 150 \text{ ppm})$ constante. Linhas superiores e inferiores representam uma incerteza de 5% (modificado de Boehnke *et al.*, 2013). 27
- Figura 7: Microscópio petrográfico utilizado para petrografia e planejamento dos pontos para microsonda eletrônica..... 32
- Figura 8: Etapas e equipamentos utilizados na preparação das amostras: (a) politriz semiautomática rotativa, pastas de diamante de diferentes granulometrias, panos para polimento fino e microscópio de luz refletida para acompanhamento do processo; (b) banho de ultrassom e reagentes utilizados na limpeza; e (c) estufa de esterilização e secagem. . 33
- Figura 9: : Equipamento utilizado para a metalização das amostras: (a) metalizadora Jeol modelo JEE 4B, (b) detalhe dos eletrodos de carbono e placa de latão posicionados na metalizadora, e (c) dessecador a vácuo tipo dry box para armazenagem das amostras. ... 33
- Figura 10: Microsonda eletrônica Cameca SXFive utilizada nas análises quantitativas. 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Equações dos métodos de geobarometria do Al na hornblenda e seus respectivos autores.	22
Tabela 2: Amostras selecionadas e métodos de geotermobarometria utilizados.....	31

SOBRE A ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO:

Esta dissertação de mestrado está estruturada em torno de um artigo publicado em periódico científico. Conseqüentemente, sua organização compreende as seguintes partes principais:

- a) Texto Integrador composto por: introdução sobre o tema e descrição do objeto da pesquisa de mestrado, onde estão sumarizados os objetivos e a filosofia de pesquisa desenvolvidos, o estado da arte sobre o tema de pesquisa.
- b) Artigo submetido a periódico com corpo editorial permanente e revisores independentes, escrito pelo autor durante o desenvolvimento de seu Mestrado.
- c) Anexo, compreendendo: carta de submissão à revista *Journal of South American Earth Sciences* e tabelas com dados de microsonda eletrônica da química mineral.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos	13
1.1.1. Objetivo Geral	13
1.1.2. Objetivos específicos	14
1.2. Área de estudo.....	14
1.3. Estado da arte.....	19
1.3.1. Método geobarométrico do Al na hornblenda (Al-hbl)	19
1.3.2. Método geotermométrico do anfibólio-plagioclásio (amp-pl).....	22
1.3.3. Método geotermobarométrico do Zr na titanita (Zr-ttn)	24
1.3.4. Método da saturação do zircão (Sat-Zir)	26
1.3.5. Aplicações.....	28
2. METODOLOGIA	30
2.1. Amostragem	30
2.2. Petrografia e planejamento para microsonda eletrônica.....	31
2.3. Preparação das amostras	32
2.4. Microsonda eletrônica.....	34
2.5. Química mineral.....	36
2.6. Cálculos de geotermobarometria.....	37
3. ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA <i>JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES</i>	38
REFERÊNCIAS DA DISSERTAÇÃO	86
ANEXO A – Carta de submissão do artigo à revista <i>Journal of South American Earth Sciences</i>	90
ANEXO B - Análises de plagioclásios por microsonda eletrônica	91
ANEXO C - Análises de K-feldspatos por microsonda eletrônica	96
ANEXO D - Análises de biotitas por microsonda eletrônica.....	99
ANEXO E - Análises de anfibólios por microsonda eletrônica.....	102
ANEXO F - Análises de titanitas por microsonda eletrônica	105

1. INTRODUÇÃO

Os métodos geotermobarométricos baseados na química mineral e de rocha total são usados com o intuito de estabelecer as condições de P e T, e com isso melhor compreender os processos envolvidos na evolução tectônica da área de estudo (Alves et al., 2016; Corrie et al., 2009; Fanka et al., 2018; Jiang & Lee, 2017; Szymanowski et al., 2017; Yousefi et al., 2017). Para os granitoides neoproterozoicos e gnaisses da região de Porto Alegre, nordeste do Cinturão Dom Feliciano, os únicos dados disponíveis de química mineral e geotermobarometria são os de Oliveira et al. (2001), porém a região ainda carece de dados mais detalhados.

A região de Porto Alegre possui um grande número de corpos graníticos de diferentes texturas e composições mineralógicas. O estudo geotermobarométrico destas rochas se faz necessário para estabelecer as condições de posicionamento destes corpos, além de estabelecer as condições de metamorfismo do gnaisse que ocorre como encaixante destes granitos na região.

As temperaturas e pressões das amostras podem ser determinadas tanto pela química mineral, por meio de análises pontuais em microsonda eletrônica, como pela química de rocha total, por meio de análises de rocha total. Os métodos empregados neste trabalho que utilizam a química mineral do anfibólio e da titanita foram: Al na hornblenda (Anderson & Smith, 1995), utilizado para a determinação da pressão, e o par anfibólio-plagioclásio (Holland & Blundy, 1994) e Zr na titanita, usados para a determinação da temperatura. O método de saturação do zircão (Watson & Harrison, 1983; Boehnke *et al.*, 2013) foi também empregado para determinação da temperatura.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo caracterizar as condições de pressão e temperatura a partir da química mineral e da rocha no gnaisse e nos granitoides neoproterozoicos do nordeste do Cinturão Dom Feliciano, buscando interpretar estes dados de P e T com relação ao metamorfismo, condições de posicionamento das rochas, integrando estas informações na evolução petrológica e geotectônica da região.

1.1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Caracterizar a composição química dos minerais do gnaiss e dos granitoides neoproterozoicos do nordeste do Cinturão Dom Feliciano;
- Determinar as condições de pressão com base na química mineral da hornblenda e do plagioclásio;
- Determinar as condições de temperatura com base no conteúdo de elementos traços na titanita e na rocha total;
- Comparar as temperaturas obtidas nos diferentes métodos geotermobarométricos empregados;
- Integrar os dados de P, T e profundidade obtidos do gnaiss e dos granitoides em um modelo de evolução petrológica e tectônica disponíveis na bibliografia.

1.2. Área de estudo

O Escudo Sul-rio-grandense tem sido alvo de inúmeros trabalhos de campo, geoquímicos, isotópicos, estruturais e geofísicos (e.g. Fernandes *et al.*, 1995a, 1995b; Philipp, 1998; Bitencourt & Nardi, 2000; Saalman *et al.*, 2005; Hartmann *et al.*, 2016) a partir dos quais suas unidades geológicas foram integradas de maneiras diversas, por vezes tendo como produtos finais modelos de evolução geotectônicos distintos (Ribeiro & Fantinel, 1978; Frago Cesar *et al.*, 1986; Fernandes *et al.*, 1995a, 1995b; Hartmann *et al.*, 2007; Saalman *et al.*, 2011; Chemale *et al.*, 2012; Ramos *et al.*, 2017; Hueck *et al.*, 2018)

O escudo pode ser dividido em uma área cratônica, o Cráton Rio de La Plata, e o Cinturão Dom Feliciano, que por sua vez é dividido em quatro domínios/terrenos: a) Domínio Ocidental ou Terreno Vila Nova, b) Domínio Central ou Terreno Tijucas, c) Domínio Oriental, Terreno Pelotas ou Batólito Pelotas e d) Domínio Sudeste ou Terreno Punta Del Este, conforme Figura 1.

No Cráton Rio de La Plata, uma área no oeste do escudo, predominam rochas paleoproterozoicas do Complexo Granulítico Santa Maria Chico, interpretado como o registro de um arco magmático de 2,4 Ga (Nardi & Hartmann, 1979; Girelli *et al.*, 2018). As demais unidades do escudo correspondem ao Cinturão Dom Feliciano, em geral com unidades geológicas de idades neoproterozoicas, sendo limitado do Cráton pela

descontinuidade geofísica denominada de Lineamento de Ibaré ou Sutura de São Gabriel.

Sob ponto de vista geológico esses domínios geofísicos no Cinturão Dom Feliciano podem ser simplificados como:

a) Terreno Vila Nova, em limite a oeste com o Cráton, tem o predomínio de rochas ígneas e metamórficas relacionadas a dois arcos magmáticos e fragmentos de rochas de assoalho oceânico e bacias associadas (Silva Filho & Soliani Júnior, 1987; Kraemer, 1995; Leite *et al.*, 1998);

b) Terreno Tijucas, em limite com o Terreno Vila Nova dado pela Sutura de Caçapava, onde dominam rochas metassedimentares vinculadas a bacias de *back-arc* e/ou *forearc*, bem como fragmentos de rochas paleoproterozoicas ortoderivadas (Porcher *et al.*, 1999; Remus *et al.*, 2002; Gregory *et al.*, 2017);

c) Terreno Pelotas, em limite com o Terreno Tijucas dado pela Sutura de Porto Alegre (e/ou Zona de Cisalhamento Transcorrente Dorsal de Canguçu), formado predominantemente por rochas granitoides criogenianas relacionadas a um arco magmático e/ou pós-colisionais e intenso magmatismo vinculado a zonas de cisalhamento (Philipp, 1998; Bitencourt & Nardi, 2000; Koester, 2002).

d) Terreno Punta Del Este, em limite com o Terreno Pelotas dado pela Sutura Arroio Grande (ou Zona de Cisalhamento Arroio Grande), e formado por rochas metassedimentares vinculadas a bacias de *back-arc* e/ou *forearc*, bem como fragmentos de rochas de assoalho oceânico e rochas neoproterozoicas tonianas orto e paraderivadas vinculadas a um arco magmático (Lenz *et al.*, 2013; Cruz *et al.*, 2019; Peel *et al.*, 2018; Ramos *et al.*, 2018)

No final do neoproterozoico (< 600 - 550 Ma) diversos corpos plutônicos intrudem de forma sistemática todo o Escudo Sul-rio-grandense (e.g. Granito Santo Afonso – Cráton Rio de La Plata (Camozzato *et al.*, 2016); Granito Caçapava do Sul – Terreno Vila Nova (Bitencourt & Nardi, 2000); Sienito Piquiri – Terreno Tijucas (Stabel *et al.*, 2001); Granito Capão do Leão – Terreno Pelotas (Silva, 2016); Granito Bretanha, Terreno Punta Del Este (Cruz *et al.*, 2019)). Ainda no final do neoproterozoico e início do cambriano ocorre, acima das rochas do escudo, a deposição de Bacia do Camaquã representado por expressiva sedimentação e vulcanismo na porção centro-oeste do escudo (Paim *et al.*, 2000).

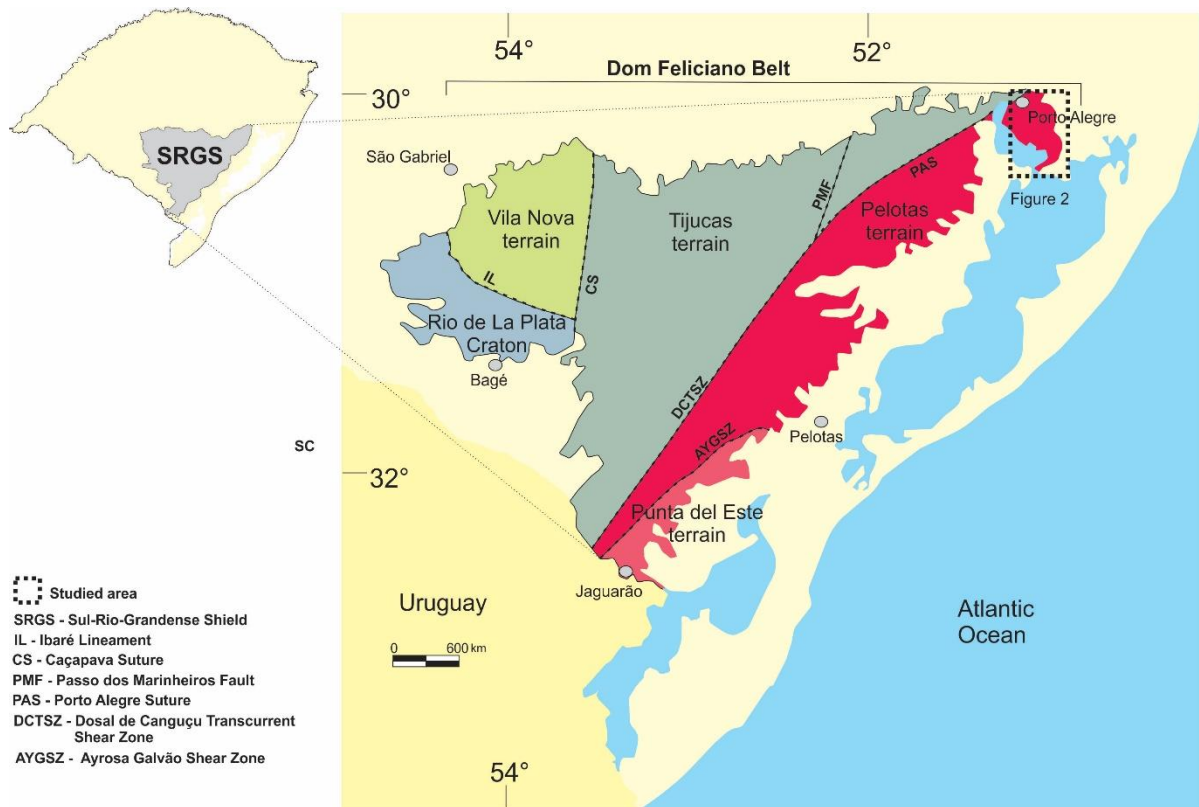


Figura 1: Mapa geológico simplificado das divisões tectônicas do Escudo Sul-rio-grandense, seus limites e a localização da área de estudo, a região de Porto Alegre.

Os primeiros estudos sobre geologia da área de Porto Alegre foram realizados por Schneider *et al.* (1974) que apresentou o mapa geológico de Porto Alegre, com descrições de campo das unidades geológicas, sendo individualizados os migmatitos heterogêneos e migmatitos homogêneos, além de poucos corpos graníticos interpretados como de idade mais jovem em relação aos migmatitos, como o Granito Independência, o Granito Ponta Grossa e o Granito Santana.

Apenas nos anos de 1990 foram retomados os trabalhos sobre as rochas da região de Porto Alegre, com Philipp (1998) que em um trabalho da geologia regional do Batólito Pelotas estudou as rochas na região sob o ponto de vista de campo, petrografia e geoquímica. Ainda nesse mesmo ano, Menegat *et al.* (1998) apresentaram o mapa geológico de Porto Alegre, com base em dados de campo e petrografia. Nesse momento, apesar de distintos, os dois trabalhos renegam a presença de migmatitos na área, descrevendo estas rochas como gnaisses de composição tonalítica, seguidas pela intrusão de inúmeros pulsos graníticos mais jovens. A primeira visão da tectônica de placas associada às rochas da região de Porto Alegre é proposta (Menegat *et al.*, 1998), onde o Gnaiss Chácara das Pedras e o Granodiorito Três Figueiras representam um antigo arco magmático continental.

O Granito Lomba do Sabão é o registro de um evento transcorrente na região, porém as rochas dominantes na área de Porto Alegre são granitos interpretados como posicionados em ambiente pós-transcorrente (e.g. Granito Independência, Granito Saint Hilaire, Granito Cantagalo).

Desses trabalhos de mapeamento da década de 1990, surgem, no início dos anos 2000, o primeiro de geocronologia (U-Pb SHRIMP) da região, com a datação do Granito Santana, indicando uma idade de cristalização de 600 ± 10 Ma (Koester *et al.*, 2001).

Concomitante, os primeiros trabalhos de geoquímica das rochas da região são publicados. Oliveira *et al.* (2001) estuda sob o ponto de vista geoquímico os granitos pós-transcorrentes, e subdivide os mesmos em três suítes com base em dados de geoquímica de elementos maiores e traços, além de dados de campo e química mineral. São elas: a Suíte Intrusiva Viamão (SIV), formada pelos Granitos Saint Hilaire e Pitinga, a Suíte Intrusiva Porto Alegre (SIP), pelos Granitos Independência, Feijó, Lami, São Pedro, Restinga e São Caetano, e a Suíte Intrusiva Itapuã (SII), pelos Granitos Santana, Cantagalo e Santo Antônio (Figura 2). Essas suítes são interpretadas como representantes de um magmatismo cálcico-alcálico alto-K, exceto a SII, cuja afinidade é transicional para a série alcalina, associadas a um ambiente de relaxamento termal.

As rochas gnáissicas da região foram estudadas, sob ponto de vista de campo e química de rocha total por Philipp *et al.* (2004), onde as rochas tonalíticas foram interpretadas como de afinidade cálcico-alcálica médio-K vinculadas a um ambiente de arco magmático e metamorfizadas em fácies anfíbolito. Essas mesmas rochas gnáissicas foram então datadas por Koester *et al.* (2016) onde a idade U-Pb SHRIMP de cristalização foi proposta em 777 ± 4 Ma e uma idade de metamorfismo foi sugerida em torno de 660 Ma.

O trabalho mais recente nas rochas da região de Porto Alegre foi apresentado por Vieira *et al.* (2019) onde propõem a presença de magmatismo peraluminoso até então não descritos na região, caracterizando o Granito São Geraldo, um granito equigranular médio, com biotita e muscovita primária, por vezes com granada e foliação milonítica incipiente, interpretado como um granito sintranscorrente da região.

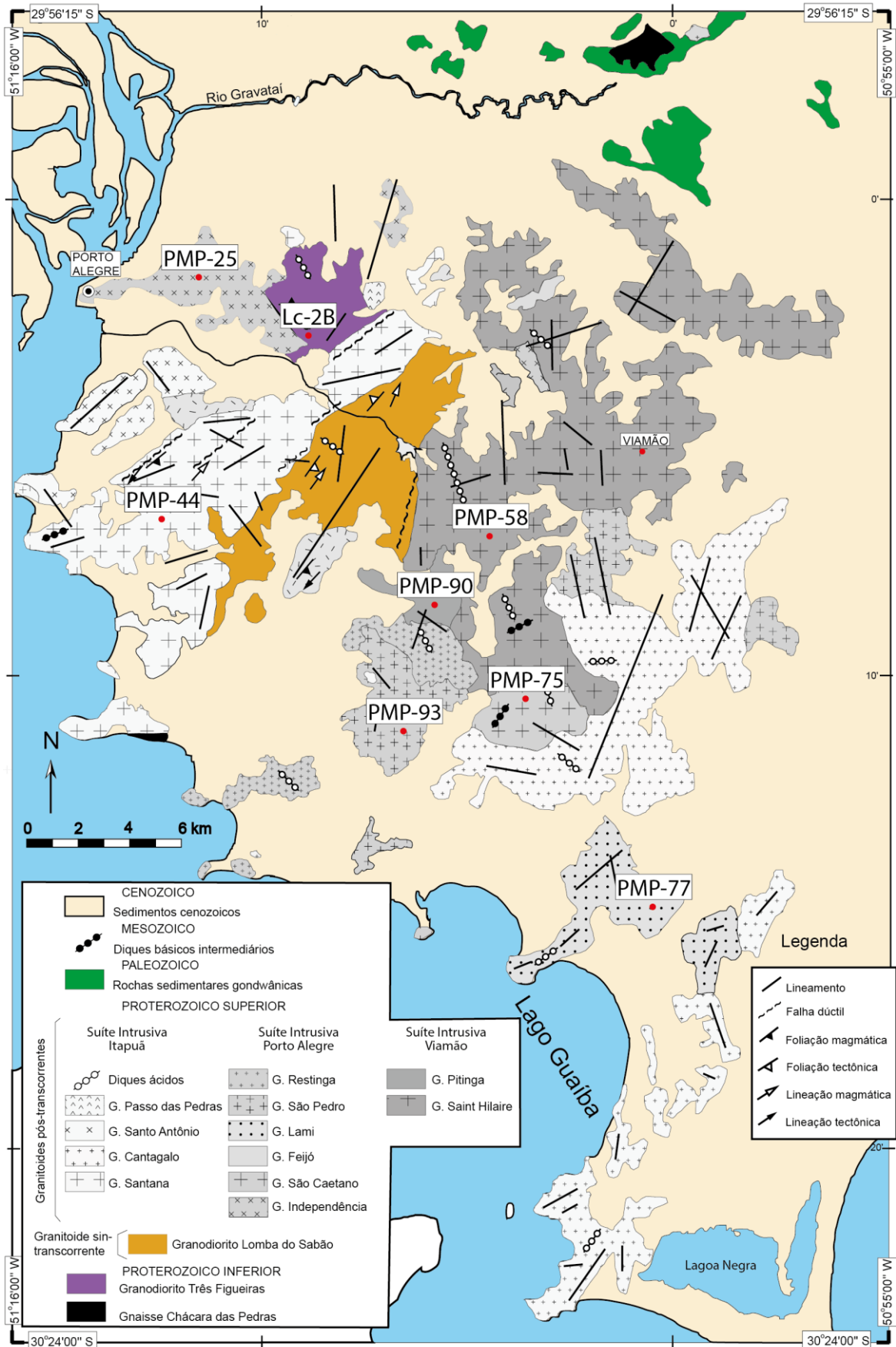


Figura 2: Mapa geológico da região de Porto Alegre, NE do Cinturão Dom Feliciano, no RS (modificado de Oliveira et al., 2001), com localização dos pontos das amostras analisadas por microsonda eletrônica

1.3. Estado da arte

1.3.1. Método geobarométrico do Al na hornblenda (Al-hbl)

O barômetro do Al na hornblenda foi primeiro descrito por Hammarstrom & Zen (1986) em rochas granitoides cálcico-alcálicas, onde o anfibólio é um mineral comumente presente e diferenças no conteúdo do Al neste mineral estão relacionadas com a profundidade dos plutons. A composição das hornblendas varia de acordo com a composição da rocha total, a pressão, a temperatura e a fugacidade de oxigênio e o sistema é tamponado pela assembleia mineral composta por plagioclásio (andesina a oligoclásio), hornblenda, biotita, K-feldspato, quartzo, titanita, magnetita ou ilmenita, e \pm epidoto, sendo esta uma das premissas para a utilização do barômetro. Outro aspecto importante é a garantia de que a hornblenda esteja cristalizando em equilíbrio com o quartzo. Quando o quartzo começa a cristalizar, a atividade da SiO_2 (a_{SiO_2}) no sistema é igual a 1 e a cristalização da hornblenda não mais é afetada por mudanças na a_{SiO_2} . Em geral, somente análises das bordas das hornblendas são utilizadas no cálculo da pressão, a menos que haja alguma evidência textural de que ambos os minerais coexistam.

A quantidade de SiO_2 e Al_2O_3 na hornblenda não varia sistematicamente com a composição da rocha total e, quando somente a pressão é considerada, a quantidade de Al^{IV} na hornblenda aumenta com o aumento na pressão. A equação (Eq. 1) proposta para o cálculo da pressão e o erro associado a medida encontram-se abaixo.

$$P (\pm 3 \text{ kbar}) = -3,92 + 5,03 \text{ Al}^{\text{Total}} \quad (1)$$

Hollister *et al.* (1987) apresenta uma confirmação da correlação da variação do conteúdo de Al em função da pressão, trabalhando em uma faixa de pressão de 4-6 kbar, onde os autores estariam preenchendo uma deficiência no trabalho anteriormente proposto por Hammarstrom & Zen (1986), que utilizaram amostras com ranges de pressão de 1,5-3 e 7-10 kbar. Hollister *et al.* (1987) ainda complementaram a curva incluindo mais dados em pressões de 2-3 kbar e 7-8 kbar. Concluem a aplicabilidade da técnica em um range de pressão de 2-8 kbar, com um erro na estimativa do valor da pressão de ± 1 kbar, menor que o proposto anteriormente por

Hammarstrom & Zen (1986). A partir da calibração proposta pelos autores, a pressão pode ser calculada com base na equação abaixo (Eq. 2).

$$P (\pm 1 \text{ kbar}) = -4,76 + 5,64 Al^{Total} \quad (2)$$

Tanto o barômetro proposto por Hammarstrom & Zen (1986), como o proposto por Hollister *et al.* (1987), são empíricos e tiveram os seus valores de pressão inferidos pelas rochas metamórficas encaixantes. A primeira calibração experimental do método foi realizado por Johnson & Rutherford (1989) em um range de pressão de 2-8 kbar a 740-780°C. Os experimentos foram realizados em amostras naturais de rochas vulcânicas e plutônicas. Esta calibração experimental difere das anteriores (Hammarstrom & Zen, 1986; Hollister *et al.*, 1987) principalmente na faixa de pressão de 5-8 kbar, onde a quantidade de alumínio estipulada pelo método é maior do que a quantidade prevista por Hollister *et al.* (1987) (Fig. 2), indicando que as amostras de rochas plutônicas estudadas previamente pelos autores devem ter sido formadas em pressões mais altas do que as estimadas por evidências de campo. A equação proposta por Johnson & Rutherford (1989) é apresentada abaixo (Eq.3) e o erro associado ao método é de $\pm 0,6$ kbar a 8 kbar, e de $\pm 0,5$ kbar para pressões mais baixas.

$$P (\pm 0,5 \text{ kbar}) = -3,46 + 4,23 Al^{Total} \quad (3)$$

Thomas & Ernst (1990) calibraram o método experimentalmente para uma faixa de pressão mais alta, de 6 a 12 kbar, a uma temperatura de 750°C, utilizando rochas de composição tonalítica como material inicial. O resultado desta calibração estava de acordo com a calibração realizada anteriormente (Johnson & Rutherford, 1989) e a equação proposta se encontra abaixo (Eq. 4). O erro associado ao método é de $\pm 0,2$ kbar no intervalo médio e de $\pm 1,33$ kbar no limite superior, obtendo-se uma média não ponderada de $\pm 1,0$ kbar.

$$P (\pm 1,0 \text{ kbar}) = -6,23 + 5,34 Al^{Total} \quad (4)$$

Schmidt (1992) realizou experimentos em tonalitos naturais com temperaturas de 15-20°C abaixo da temperatura *solidus*, em um intervalo de pressões de 2,5 a 13 kbar, a partir de oito pressões diferentes e obteve a regressão linear expressa na

equação 5. O erro associado ao método é de $\pm 0,6$ kbar. Esta calibração foi concordante com os dados empíricos, onde a pressão foi estimada com base em auréolas de contato, e com as calibrações experimentais de Johnson & Rutherford (1989) que obtiveram suas calibrações em temperaturas mais altas.

$$P (\pm 0,6 \text{ kbar}) = -3,01 + 4,76 Al^{Total} \quad (5)$$

A calibração de Anderson & Smith (1995) incorpora o efeito da temperatura na equação do barômetro (Eq. 6). A temperatura pode aumentar a quantidade de Al na hornblenda, portanto, um barômetro sem o controle da temperatura levará a grandes variações de pressão, podendo invalidar a sua interpretação. Anderson & Smith (1995) discutem também o efeito também da f_{O_2} (fugacidade de oxigênio) como de fundamental importância e da razão $Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Fe^{2+})$, que deve ser determinada por análises químicas ou por estequiometria. Indicam, no seu estudo, as premissas de uso do barômetro quanto aos conteúdos de $Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Fe^{2+})$ e $Fe_{tot}/(Fe_{tot} + Mg)$, que seriam de $\sim 0,25$ e de $0,40-0,65$, respectivamente. Além disso, a falta da assembleia tampão completa da tschermakita pode ser crítica para o uso deste barômetro, indicam que a ausência de K-feldspato e de titanita não aparentam afetar significativamente a pressão, porém o uso deste barômetro deve ser utilizado em conjunto com outro método para a determinação da pressão.

$$P (\pm 0,6 \text{ kbar}) = 4,76Al - 3,01 - \left\{ \frac{[T(^{\circ}C) - 675]}{85} \right\} \times \{0,530Al + 0,005294[T(^{\circ}C) - 675]\} \quad (6)$$

A figura 2 apresenta todas as calibrações propostas para o método do Al na hornblenda e a calibração de Anderson & Smith (1995), mostrando o efeito da temperatura no conteúdo de Al e na pressão, incluindo também métodos anteriormente propostos. A tabela 1 apresenta um sumário de todas as equações propostas para o método.

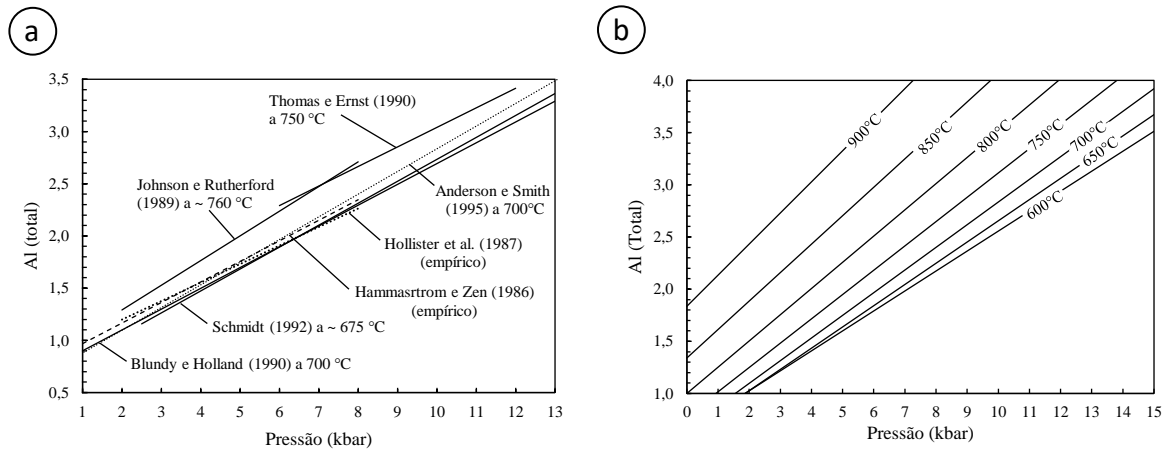


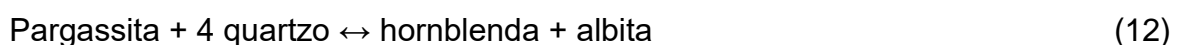
Figura 3: Diagramas de P versus Al (total) nas hornblendas: (a) Comparação dos métodos geobarométricos do Al na hornblenda propostos por diferentes autores, e (b) Calibração do barômetro Al na hornblenda proposta por Anderson & Smith (1995). Modificado de Anderson & Smith (1995).

Tabela 1: Equações dos métodos de geobarometria do Al na hornblenda e seus respectivos autores.

Equação	Autor	Equação
$P (\pm 3 \text{ kbar}) = -3,92 + 5,03 Al^{Total}$	(Hammarstrom & Zen, 1986)	(1)
$P (\pm 1 \text{ kbar}) = -4,76 + 5,64 Al^{Total}$	(Hollister <i>et al.</i> , 1987)	(2)
$P (\pm 0,5 \text{ kbar}) = -3,46 + 4,23 Al^{Total}$	(Johnson & Rutherford, 1989)	(3)
$P (\pm 1,0 \text{ kbar}) = -6,23 + 5,34 Al^{Total}$	(Thomas & Ernst, 1990)	(4)
$P (\pm 0,6 \text{ kbar}) = -3,01 + 4,76 Al^{Total}$	(Schmidt, 1992)	(5)
$P (\pm 0,6 \text{ kbar}) = 4,76Al - 3,01 - \left\{ \frac{[T(^{\circ}C) - 675]}{85} \right\} \times \{0,530Al + 0,005294[T(^{\circ}C) - 675]\}$	(Anderson & Smith, 1995)	(6)

1.3.2. Método geotermométrico do anfibólio-plagioclásio (amp-pl)

Este geotermômetro, proposto por Blundy & Holland (1990), é um método semiempírico criado a partir de dados experimentais já disponíveis de assembleias com anfibólio + plagioclásio em rochas saturadas em sílica. É baseado na dependência da temperatura na substituição do Al^{iv} e na sua ligação com o sítio A (figura 3). Esta substituição ocorre segundo o vetor $NaAl^{iv}_{\square-1}Si_{-1}$ e pode ser descrita por reações entre anfibólio, quartzo e albita conforme abaixo (Eq. 11 e 12).



A temperatura é calculada conforme a equação abaixo e o erro associado ao método é de $\pm 38^{\circ}C$.

$$T = \frac{0,667P - 48,98 + Y}{0,0429 - 0,008314 \ln K} e K = \left(\frac{Si-4}{8-Si} \right) X_{Ab}^{Plag} \quad (13)$$

onde Si é o número de átomos por unidade de fórmula no anfibólio, P é a pressão em kbar e T, a temperatura em K. A variável Y é expressa de acordo com as condicionais abaixo (Eq. 14 e 15).

$$Y = 0 \text{ para } X_{Ab} > 0.5 \quad (14)$$

$$Y = -8,06 + 25,5 (1 - X_{Ab})^2 \text{ para } X_{Ab} < 0,5 \quad (15)$$

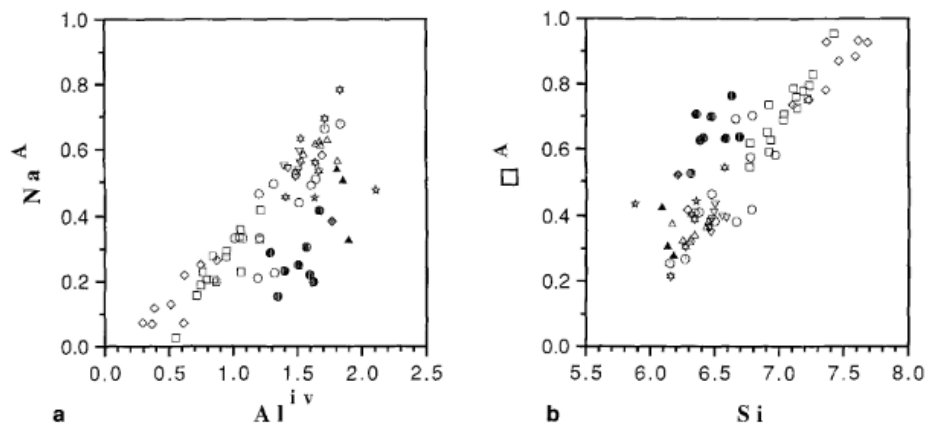


Figura 4: Relação das substituições ocorridas no vetor $NaAl^{IV}_{1-x}Si_{1-x}$ nos anfibólios sintéticos usados na construção do método Amp-Pl de Blundy & Holland (1990): (a) Relação do Al^{IV} e Na^A e (b) da \square^A (vacância) e Si, em apfu (átomos por fórmula unitária).

Para a utilização deste termômetro, algumas condições são recomendadas: intervalo de temperatura de 500-1100 °C, teor de $Si_{amp} < 7,8$ (apfu) e $X_{an} < 0,92$.

Holland & Blundy (1994) propuseram dois termômetros baseados nas reações edenita-tremolita (Eq. 11) e edenita-richterita (Eq. 16) para assembleias com e sem quartzo, respectivamente. As equações para o cálculo das temperaturas se encontram nas equações 17 a 22.



$$T_A = \frac{-76.95 + 0.79P + Y_{ab} + 39.4 X_{Na}^A + 22.4 X_K^A + (41.5 - 2.89P) \cdot X_{Al}^{M2}}{-0.0650 - R \cdot \ln \left(\frac{27 \cdot X_{Si}^A \cdot X_{ab}^{plag}}{256 \cdot X_{Na}^A \cdot X_{Al}^{T1}} \right)} \quad (17)$$

Onde o termo Y_{ab} é dado por:

$$\text{Para } X_{ab} > 0,5; \text{ então } Y_{ab} = 0 \quad (18)$$

$$\text{Se não, } Y_{ab} = 12,0(1 - X_{ab}) - 3,0 k \quad (19)$$

$$T_B = \frac{78.44 + Y_{ab-an} - 33.6 X_{Na}^{M4} - (66.8 - 2.92P) \cdot X_{Al}^{M2} + 78.5 X_{Al}^{T1} + 9.4 X_{Na}^A}{0.0721 - R \cdot \ln \left(\frac{27 \cdot X_{Na}^{M4} \cdot X_{Si}^{T1} \cdot X_{an}^{plag}}{64 \cdot X_{Ca}^{M4} X_{Al}^{T1} \cdot X_{ab}^{plag}} \right)} \quad (20)$$

Onde o termo Y_{ab-an} é dado por:

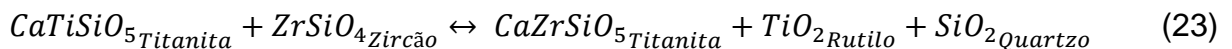
$$\text{para } X_{ab} > 0.5, \text{ então } Y_{ab-an} = 3,0 \text{ kJ} \quad (21)$$

$$\text{Se não } Y_{ab-an} = 12,0(2X_{ab} - 1) + 3,0 \text{ kJ} \quad (22)$$

Anderson (1996) sugere que os resultados obtidos pela reação edenita-richterita são considerados mais confiáveis pois reproduzem mais precisamente as temperaturas obtidas por outros termômetros.

1.3.3. Método geotermobarométrico do Zr na titanita (Zr-ttn)

Este método foi proposto por Hayden *et al.* (2008) e se baseia na substituição do Ti^{4+} pelo Zr^{4+} na titanita, segundo equação (Eq. 23) de equilíbrio abaixo:



O método foi desenvolvido por meio de experimentos utilizando cristais de titanitas sintéticas cristalizadas na presença de zircão, quartzo e rutilo, em condições de pressão variando de 1 a 2,4 GPa e temperaturas de 800 a 1000 °C. Com os resultados, estabeleceu-se uma relação logarítmica linear entre concentração de Zr (em ppm), pressão e temperatura (Eq. 24).

$$\log(a_{SiO_2}) = 10,52(\pm 0,10) - \frac{7708(\pm 101)}{T(K)} - 960(\pm 10) \frac{P(GPa)}{T(K)} - \log(a_{TiO_2}) - \log(a_{Zr^{ttn}, ppm}) \quad (24)$$

Rearranjando a equação acima (Eq. 24), temos a equação para a determinação da temperatura por este método (Eq. 25), onde “T” é a temperatura em °C, “P” é a pressão em GPa e “a” é a atividade da fase mineral. A concentração de Zr é inserida diretamente na equação em partes por milhão (ppm).

$$T(^{\circ}C) = \frac{[7708+960P]}{[10,52-\log(a_{TiO_2})-\log(a_{SiO_2})-\log(ppm\ Zr,titanita)]} - 273 \quad (25)$$

Apesar de a calibração desta equação ter sido feita assumindo que os valores de $a_{TiO_2} = a_{SiO_2} = a_{CaTiSiO_5} = 1$, indicando a presença de zircão, quartzo e rutilo na sua composição mineralógica, esta equação pode ser utilizada em assembleias onde o rutilo e o quartzo não coexistem com a titanita. Nesta situação, os valores de a_{TiO_2} e a_{SiO_2} são desconhecidos, mas podem ser utilizados valores de referência da bibliografia.

Hayden *et al.* (2008) sugerem que a a_{TiO_2} , para a maioria das rochas magmáticas existentes hoje, geralmente, é igual ou superior a 0,6. Chambers & Kohn (2012), para o uso de geotermômetros de elementos traços em rochas metamórficas, sugerem valores de 0,80 (metapelitos) e 0,95 (anfíbolitos). O impacto da utilização de um valor de $a_{TiO_2} = 1$ para rochas com valores de, por exemplo, $a_{TiO_2} = 0,5$; pode superestimar a temperatura em não mais do que 75 °C (Hayden & Watson, 2007).

Na construção do método, foi levado em consideração substituições que ocorrem frequentemente nos cristais de titanita, como a entrada de Al^{3+} e Fe^{3+} no sítio do Ti^{4+} e consequente entrada do F^{-} ou OH^{-} , e de ETR^{3+} no do Ca^{2+} , segundo os mecanismos propostos (Higgins & Ribbe, 1976; Ribbe, 1980) apresentados nas equações 26 a 29 abaixo. Os efeitos destas substituições foram avaliados por meio de experimentos na presença e ausência de ETR^{3+} e Al^{3+} , separadamente (Figura 4). Os experimentos com ETR^{3+} mostraram que o conteúdo de Zr na presença destes elementos é ligeiramente menor que os experimentos análogos sem ETR^{3+} , não havendo, contudo, nenhuma correlação entre o conteúdo de ETR e Zr. Já nos experimentos com Al^{3+} e F^{-} , mostram um enriquecimento no conteúdo de Zr.



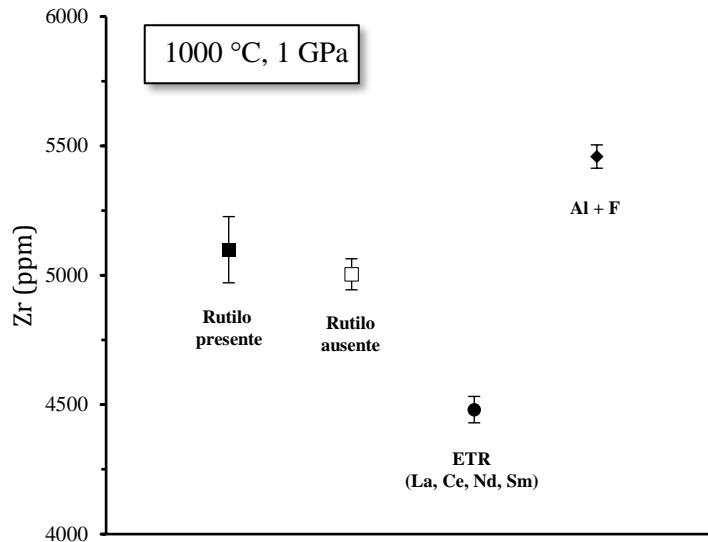


Figura 5: Efeito das substituições (ETRs e F+Al) e presença/ausência de rutilo na captação de Zr na titanita em experimentos a 1.000 °C e 1 GPa (Hayden et al., 2008).

O uso deste geotermobarômetro comparado com outros métodos baseados na química mineral possui algumas vantagens como a necessidade de analisar uma fase única e da a sua sensibilidade da temperatura em relação ao conteúdo de Zr, pois é necessária uma grande variação no conteúdo de Zr para se obter uma pequena mudança na temperatura. Outra vantagem é a capacidade de registro da história térmica a que o mineral foi submetido durante a sua cristalização, devido a sua baixa difusividade de cátions em resposta às mudanças de temperatura.

1.3.4. Método da saturação do zircão (Sat-Zir)

A temperatura de saturação do zircão pode ser calculada com base no teor de Zr (ppm) na rocha total. A calibração proposta por Watson & Harrison (1983) foi obtida por meio de experimentos hidrotermais em um intervalo de temperatura de 750 a 1020 °C e pressões de 1,2 a 6,0 kbar. Foram utilizados vidros de composição andesíticas e pelíticas com 1,0 a 1,5 % de ZrO_2 dissolvido como material inicial destes experimentos e foi proposta a equação 30.

$$\ln D^{Zr, zircão/líquido} = \{-3,80 - [0,85(M - 1)]\} + 12.900/T \quad (30)$$

onde $D^{Zr, zircão/líquido}$ é a razão da concentração de Zr em ppm no zircão (~ 476.000 ppm) para aquela no líquido saturado; M é um fator composicional que considera a

dependência da solubilidade do zircão em SiO_2 e em líquido peraluminoso (Eq. 31); e T é a temperatura em K.

Rearranjando a equação 29, temos a temperatura T em evidência:

$$T_{Zr} = 12.900 / [2,95 + 0,85M + \ln(496.000/Zr_{\text{liquido}})] \quad (31)$$

O fator composicional M é dado pela equação 32 abaixo.

$$M = [(Na + K + 2.Ca)/(Al.Si)] \quad (32)$$

O método foi calibrado para valores de M variando de 0,9 a 1,9, não se aplicando, contudo, a rochas peralcalinas.

Boehnke *et al.* (2013) fizeram uma revisão da calibração utilizando um novo estilo de dissolução do zircão em experimentos até pressões mais altas do que anteriormente realizados (até 25 kbar). Confirmaram o parâmetro composicional M (Eq. 32) já anteriormente proposto por Watson & Harrison (1983) e obtiveram a equação abaixo para o cálculo da temperatura (Eq. 33).

$$\ln D_{Zr} = (10.018 \pm 32)/T(K) - (1,16 \pm 0,15)(M - 1) - (1,48 \pm 0,09) \quad (33)$$

A figura 5 apresenta uma comparação na curva de calibração e da influência do parâmetro composicional M na temperatura em ambos os métodos.

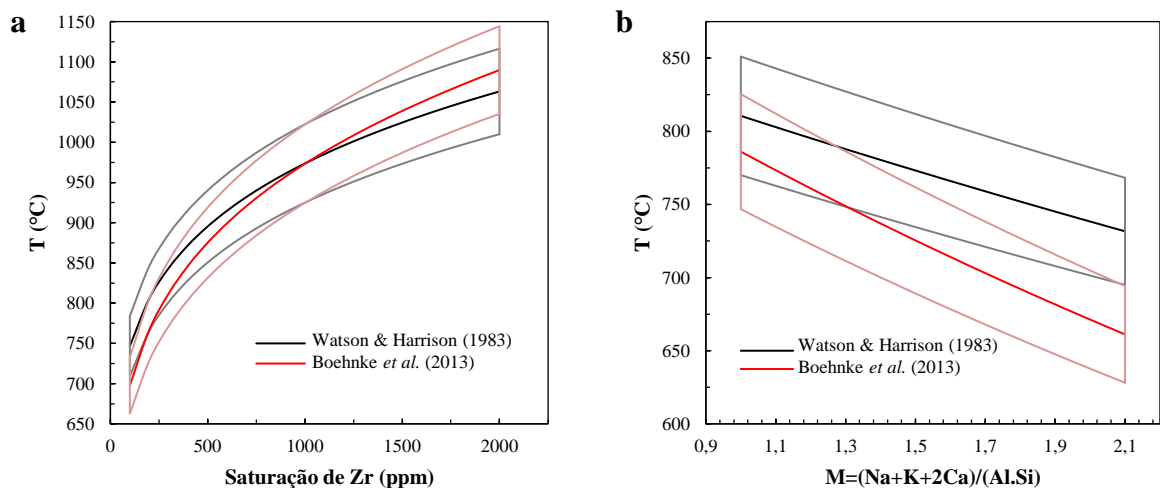


Figura 6: Comparação das calibrações do método da saturação de Zr. Em (a), curva construída com M (= 1,4) constante; e em (b), com $[Zr]_{\text{sat}}$ (= 150 ppm) constante. Linhas superiores e inferiores representam uma incerteza de 5% (modificado de Boehnke *et al.*, 2013).

1.3.5. Aplicações

Os métodos geotermobarométricos tem sido usados em diversos trabalhos a fim uma melhor compreensão das evolução tectônica em diversas região do mundo (Corrie *et al.*, 2009; Fanka *et al.*, 2018; Jiang & Lee, 2017; Szymanowski *et al.*, 2017; Yousefi *et al.*, 2017) e também do Brasil (Alves, Janasi, & Campos Neto, 2016; Brasilino, Sial, Ferreira, & Pimentel, 2011; Coelho *et al.*, 2017; Neves *et al.*, 2015; Valladares, Duarte, Machado, Viana, & Figueiredo, 2017; Vinagre, Trouw, Mendes, & Ludka, 2014). Os dados obtidos dos geotermobarômetros são utilizados tanto em rochas ígneas e metamórficas, quanto em sedimentos (Jiang & Lee, 2017), sendo também utilizados em conjunto com dados geocronológicos, como U-Pb em zircões (Fanka *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2018) e em titanitas (Szymanowski *et al.*, 2017), e Lu-Hf em granadas (Corrie *et al.*, 2009).

Fanka *et al.* (2018) utiliza os métodos Al na hornblenda e hornblenda-plagioclásio em granitos cálcico-alcálicos da área de Wang Nam Khiao, em Nakhon Ratchasima, no nordeste da Tailândia. Os métodos foram utilizados para a obtenção da profundidade de cristalização destes granitos. A profundidade da intrusão foi calculada usando a equação $P = \rho gh$ [P = pressão (GPa), ρ = densidade da crosta continental ($2,73 \text{ kg/cm}^3$), g = gravidade específica ($10,0 \text{ m/s}^2$), h = profundidade (km)]. Os autores obtiveram pressões de 3,0-5,8 kbar que equivalem a uma profundidade de $15 \pm 3 \text{ km}$ para o hornblenda granito do permiano superior e de 2,0-3,2 kbar, que equivale a $10 \pm 1 \text{ km}$ para o biotita granito do triássico. As temperaturas, calculadas com base no geotermômetro amp-plag, foram de 700-820°C para o Hornblenda Granito do permiano superior e de 600-750°C para o Biotita Granito do triássico. Tanto as profundidades calculadas quanto as temperaturas foram compatíveis com crosta superior e média. Em conjunto com petrografia, química mineral, geoquímica e geocronologia, estes métodos foram utilizados a fim de entender a evolução tectônica da região composta por um arco magmático relacionado a uma zona de subdução do Paleo-Thetys abaixo do terreno de Indochina durante o carbonífero superior/permiano inferior, permiano superior e triássico médio.

Yousefi *et al.* (2017) obtiveram as condições de temperatura e pressão de rochas adaquíticas do cinturão magmático de Turud-Ahmad, no sul-sudeste de Shahrood, no nordeste do Irã, também com os métodos de geotermobarometria em anfibólios. As rochas estudadas constituem em uma sequência vulcânica e vulcanossedimentar do paleoceno a eoceno médio. A geotermobarometria sugere

temperaturas de cristalização de 850-1050 °C, a 2-6 kbar e temperaturas de 920–970 °C, a pressões de 3-4,5 kbar. Segundo o autor, estas condições são compatíveis com as condições de formação de andesitos e dacitos. Em conjunto com condições de T-P nos piroxênios pelos métodos de Putirka *et al.* (2003) e Putirka (2008), com temperaturas e pressões de cristalização dos clinopiroxênios de 1020-1170 °C, a 2-10 kbar, o estudo indica uma profundidade de cristalização na crosta de no máximo 30 km, dados estes que ajudaram a caracterizar o ambiente tectônico de formação das rochas relacionadas à subducção da placa oceânica Sabzevar-Darouneh Neo-Tethyan abaixo da crosta continental da porção norte da zona estrutural norte do Irã.

O método do Al na hornblenda foi utilizado em sedimentos de bacia de antearco cretáceos do sul da Califórnia, em estudo para a reconstrução da história do batólito *Peninsular Ranges* (Jiang & Lee, 2017). O batólito é constituído por rochas plutônicas gabróicas a graníticas desenvolvidas durante a subducção da placa oceânica *Fallaron* intrudidas durante o Jurássico médio em rochas metassedimentares Paleozoico-Jurássicas. O método Al-hornblenda foi empregado em hornblendas detríticas, que se caracteriza por ser um desafio à medida que o contexto original da rocha (paragênese mineral), importante para o método, é perdida durante os processos sedimentares. As pressões calculadas para as hornblendas detríticas da bacia de antearco apresentaram uma distribuição de frequência unimodal, indicando que os plutons erodidos foram posicionados a uma profundidade preferencial de 10-15 km, em sedimentos de diferentes idades e também do pluton exposto.

Corrie *et al.* (2009) utilizaram o geotermobarômetro do Zr na titanita em amostras de eclogitos da Sequência *Greater Himalayan*, em *Arun Valley*, no leste do Nepal. O estudo utilizou o método do Zr na titanita em conjunto com métodos barométricos convencionais e geocronologia, buscou estabelecer a trajetória P-T-t das amostras e as suas implicações na tectônica da região. A partir dos dados, foram identificados três episódios metamórficos para o eclogito. O primeiro evento, com idade de 23-16 Ma, com temperatura de ~670 °C e pressão ≥ 15 kbar, um metamorfismo de fácies eclogito; um segundo, um evento de ~780 °C e 12 kbar, de fácies granulito; e um terceiro, de ~675 °C e de 14 a 12 kbar, um estágio final do metamorfismo de fácies anfíbolito. Com estes dados, os autores propuseram três diferentes modelos geotectônicos para a região.

Szymanowski *et al.* (2017) utilizaram o método do Zr na tintanita, em conjunto com outros métodos termométricos e geocronológicos, em estudo buscando entender as condições de armazenamento, os fenômenos de reaquecimento e os de

rejuvenescimento de reservatórios de magmas que originaram grandes erupções do Kneeling Nun Tuff, no Novo México (EUA). O estreito intervalo de temperatura de cristalização da titanita obtido pelo método, com média em 726 ± 32 °C, foi interpretado como sendo gerado a partir de um evento de reaquecimento e rejuvenescimento do sistema antes da erupção. Junto com dados de outras localidades onde ocorreram grandes erupções, foi possível para os autores demonstrarem que este rejuvenescimento pré-erupção é um processo comum a muitos reservatórios.

Alves *et al.* (2016), buscando identificar a fonte que gerou os granitos do Terreno Umbu, do Cinturão Ribeira, de idade neoproterozoica, utilizaram o método geotermométrico da saturação do zircão (Watson & Harrison, 1983) a partir dos dados de química de rocha total em conjunto com geoquímica de isótopos. Para este magmatismo, que durou cerca de 200 Ma (810-580 Ma), foram obtidas temperaturas de 850 a 870 °C, para biotita granitos mais diferenciados, até 750 °C nos muscovita granitos, cujas temperaturas são consistentes com uma fusão por desidratação associada a desestabilização da biotita e da muscovita.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado com amostras de um gnaiss e onze granitoides da região de Porto Alegre, utilizando tanto dados obtidos em laboratório para este estudo, como também dados retirados de publicações na mesma região de interesse.

Os detalhes da escolha das amostras, da preparação e das técnicas utilizadas na obtenção dos dados, e das calibrações escolhidas para os cálculos da geotermobarometria destas amostras encontram-se nos próximos capítulos.

2.1. Amostragem

A tabela 2 apresenta as unidades geológicas encontradas na região de estudo e a seleção das amostras para a utilização destes métodos. Para a determinação das condições de pressão e temperatura via química mineral, foram selecionadas amostras da região de Porto Alegre que possuíssem, em sua composição mineralógica, minerais passíveis de realizar a geotermobarometria por um ou mais dos três métodos selecionados para este estudo (discutidos nas seções 1.3.1. a 1.3.3 deste texto), sendo eles: o método do Al na hornblenda (Al-Hbl), o da partição do Al

na hornblenda, o do anfibólio-plagioclásio (Amp-Pl) e o do zircônio na titanita (Zr-Ttn). Além disso, foram coletados dados de análises de rocha total em publicações da região de interesse para a aplicação do método de geotermometria de saturação do zircônio (Sat-Zir).

Tabela 2: Amostras selecionadas e métodos de geotermobarometria utilizados.

Suíte/Complexo	Litodema	Métodos de geotermobarometria					
		Pressão		Temperatura			
		Al-Hbl	Pl/Amp	Amp-Pl	Amp	Zr-Ttn	Sat-Zir
Suíte Intrusiva Porto Alegre (SIP)	Granito Independência					X	X
	Granito Feijó						X
	Granito Lami					X	X
	Granito São Pedro					X	X
	Granito Restinga						X
	Granito São Caetano	X	X	X	X	X	X
Suíte Intrusiva Itapuã (SII)	Granito Santana					X	X
	Granito Cantagalo						X
	Granito Santo Antônio						X
Suíte Intrusiva Viamão (SIV)	Granito Saint Hilaire	X	X	X	X	X	X
	Granito Pitinga					X	X
	Gnaiss Chácara das Pedras	X	X	X	X	X	X

2.2. Petrografia e planejamento para microsonda eletrônica

A petrografia das amostras selecionadas e as imagens de microscopia óptica foram realizadas em microscópio trinocular da marca Zeiss modelo *Imager M2m* do Laboratório de Microsonda Eletrônica. O equipamento conta com câmera acoplada, modelo AxioCam MR R3, objetivas com aumentos de 2,5 a 50x, oculares com aumento de 10x e software para aquisição das imagens *Zen lite* (versão de 2012). A seleção dos grãos para as análises foi realizada com auxílio de imagens e aquisição de coordenadas no *charriot*, com posterior conversão para o sistema de coordenadas utilizado na microsonda, com auxílio de pontos de referência coletados nas amostras.

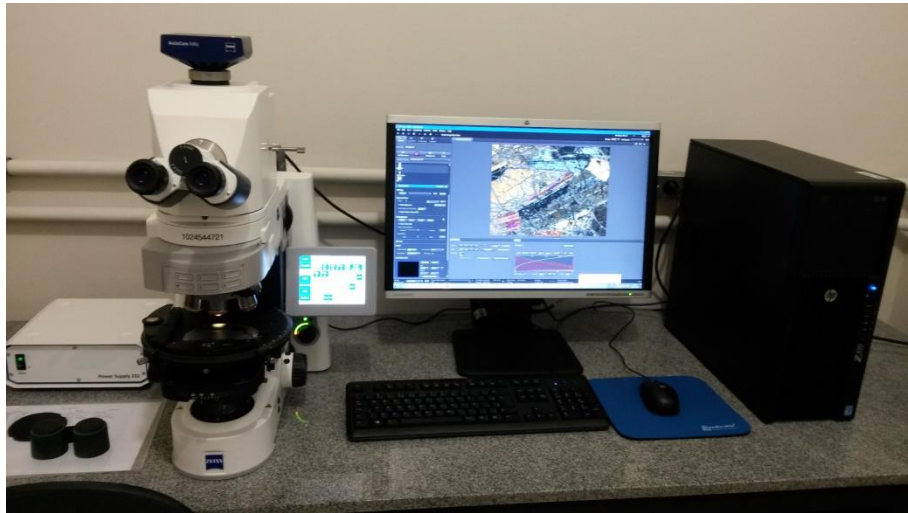


Figura 7: Microscópio petrográfico utilizado para petrografia e planejamento dos pontos para microsonda eletrônica.

2.3. Preparação das amostras

Para análise em microsonda eletrônica, é necessário que a superfície da amostra seja plana e esteja eletricamente condutora. Para isso, as lâminas petrográficas foram polidas com pastas de diamante de 6, 3, 1 e $\frac{1}{4}$ μm em politriz semiautomática rotativa marca *Buehler*, modelo *Minimet 1000* (figura 7a). Após o polimento, as amostras foram limpas com água e sabão neutro e depois com álcool, com auxílio de um ultrassom para a remoção de resíduos do polimento e do manuseio da amostra (figura 7b), e deixadas na estufa em temperatura na faixa de 40 a 50 °C para secagem da superfície (figura 7c).

Para tornar a superfície da amostra condutora, as amostras foram recobertas com um filme de carbono com espessura de 20 nm. Este procedimento foi realizado em metalizadora da marca Jeol, modelo JEE 4B (figura 8a) com vácuo da ordem de 10^{-3} mbar, com o auxílio de bombas mecânica e difusora. O equipamento funciona com o uso de bastões de grafite para a evaporação do material sobre a superfície das amostras (figura 8b). O carbono evapora no contato entre os eletrodos (bastões) com a passagem de corrente elétrica de aproximadamente 45 A por eles. A espessura foi controlada pela cor violeta em placa de latão. Após, as amostras foram acondicionadas em dessecador a vácuo até o momento da análise (figura 8c).



Figura 8: Etapas e equipamentos utilizados na preparação das amostras: (a) politriz semiautomática rotativa, pastas de diamante de diferentes granulometrias, panos para polimento fino e microscópio de luz refletida para acompanhamento do processo; (b) banho de ultrassom e reagentes utilizados na limpeza; e (c) estufa de esterilização e secagem.



Figura 9: Equipamento utilizado para a metalização das amostras: (a) metalizadora Jeol modelo JEE 4B, (b) detalhe dos eletrodos de carbono e placa de latão posicionados na metalizadora, e (c) dessecador a vácuo tipo dry box para armazenagem das amostras.

2.4. Microsonda eletrônica

As imagens de microscopia eletrônica, análises quantitativas e mapas composicionais foram realizadas no Laboratório de Microsonda eletrônica do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq), do Instituto de Geociências da UFRGS. O equipamento utilizado foi uma microsonda eletrônica da marca Cameca e modelo SXFive (Figura 9) que contém cinco espectrômetros WDS (*wavelength dispersive spectroscopy*), detector de EDS (*energy dispersive spectroscopy*), microscópio óptico com luz refletida e transmitida (natural e polarizada), imagens eletrônicas de elétrons secundários e retroespalhados, e catodoluminescência. Os cristais disponíveis são o TAP, PET, LEPT, LIF e LLIF, além dos pseudocristais PC1, PC2 e PC3 para análise de elementos leves.



Figura 10: Microsonda eletrônica Cameca SXFive utilizada nas análises quantitativas.

As análises pontuais de anfibólio, biotita, plagioclásio e K-feldspato foram realizadas com tensão de 15 kV, corrente de 15 nA e diâmetro do feixe de 5 μm . Os padrões utilizados foram: sanidina para Si, Al e K, albita para Na, diopsídio para Mg e Ca, hematita para Fe, Cr_2O_3 para Cr, rodonita para Mn, rutilo para Ti. Os tempos de contagens foram de 20 s no pico e 10 s no *background* e os cristais utilizados foram o TAP, para Si, Mg, Al e Na; o PET, para Ca, Cr, Ti e K; e o LIF, para Fe e Mn.

As análises de titanita foram realizadas em três condições analíticas distintas: uma em 15 kV e 20 nA para a aquisição do Si, Ca, Ti, Al, Fe, Mg, Mn, Na e Cr; outra também em 15 kV, mas com corrente de 100 nA para a aquisição do F, Nb, Y, Ce, La, Nd, Pr, Sm e Th; e uma terceira em 20 kV e 200 nA para a aquisição do Zr, elemento traço de interesse para a geotermobarometria. Os padrões utilizados para a calibração foram a wollastonita para Ca e Si; a olivina para o Fe; a sanidina para o Al; o zircão para Zr; o NdPO_4 para Nd, o CePO_4 para o Ce, o LaPO_4 para o La, o PrPO_4 para o Pr, a granada com Y e Al para Y; e a fluorita para o F. O tempo de contagem no pico foi de 20 s para todos os elementos, exceto F e Zr. O F foi adquirido em 2 espectrômetros, simultaneamente, com tempo de 60 s cada. O tempo de contagem para os *backgrounds* foi a metade do tempo utilizado nos picos. Os cristais utilizados foram o TAP para Si, Al, Mg, Na, F, P e Y; PET para Ti, Ca e Nb; LIF para o Fe, Mn, Ce, La, Pr, Nd e Sm. A determinação do Zr foi realizada com a aquisição simultânea de 3 espectrômetros, utilizando cristais PET e LPET, com tempo de contagem de 60 s a 300 s e a metade em cada um dos *backgrounds*, obtendo limites de detecção de ~70 a ~30 ppm, respectivamente. Os pontos analisados encontram-se nos anexos B a F desta dissertação.

Foram realizadas análises tanto no centro quanto nas porções intermediárias e nas bordas dos grãos. Para as análises das hornblendas e plagioclásios utilizadas para geotermometria, foram realizados pontos em locais onde estes minerais ocorriam adjacentes um ao outro. Para a geobarometria, foram analisadas as bordas dos grãos das hornblendas em contato com diferentes minerais (plagioclásios, quartzo, biotitas, K-feldspatos), conforme indicações do método geobarométrico Al na hornblenda (Hammarstrom & Zen, 1986). Nas análises das titanitas, foram realizados pontos do centro para a borda, obedecendo as zonações do mineral, evidenciadas por imagens de elétrons retroespalhados, com pelo menos 3 pontos em cada zona. Foram analisados em média 5 grãos de titanitas por amostra.

As imagens de elétrons retroespalhados foram obtidas com tensão de 15-20 kV e correntes de 100-200 nA. Foi utilizado ainda recurso de processamento de imagens para obtenção de maior contraste na imagem para evidenciar a zonação dos grãos de titanita.

Os mapas composicionais foram realizados com tensão de 15 kV e corrente de 100 nA. No mapeamento das titanitas, o Si, Ti, Ca, Fe e Al foram adquiridos usando o detector de EDS; e Ce, Nd, Y e Nb foram adquiridos usando os cristais TAP, PET,

LPET e LIF, nos detectores de WDS. O tempo de aquisição foi de 50 ms e o *step size* foi de 0,5 μm .

A correção de matriz utilizada nas análises quantitativas foi a PAP (Pouchou & Pichoir, 1991) e o software utilizado nesta correção, bem como nos processamentos das imagens eletrônicas e dos mapas composicionais foi o *PeakSight* versão 5.1 da Cameca.

2.5. Química mineral

A classificação dos anfibólios, bem como o cálculo da fórmula do mineral foi realizada conforme recomendações do IMA 1997 (International Mineralogical Association) (Leake et al., 1997). A fórmula foi calculada com base em 23 oxigênios e a normalização para a estimativa do conteúdo de Fe^{3+} foi feita com base em 13 cátions (excluindo K, Na e Ca).

Os plagioclásios e K-feldspatos foram classificados conforme diagrama ternário An-Ab-Or e as fórmulas foram calculadas com base em 32 oxigênios com todo o Fe foi assumido para sendo Fe^{2+} .

As biotitas foram calculadas com base em 22 oxigênios, todo o Fe foi assumido como Fe^{2+} e a porcentagem em peso de água foi calculada estequiometricamente assumindo OH igual a 2 na fórmula. A classificação composicional foi realizada com base nos diagramas de Spear (1984) e Foster (1960). Foram utilizados ainda diagramas de discriminação de biotitas primárias e secundárias de Nachit *et al.* (2005) e de séries magmáticas de Abdel-Rahman (1994).

A fórmula da titanita foi calculada segundo Franz & Spear (1985). O cálculo foi feito com base em um total de 3 cátions, pois, segundo os autores, o conteúdo de oxigênio é variável devido à substituição do Ti e O por (Al, Fe^{3+}) e (OH, F), respectivamente. No cálculo, todo o Fe foi assumido como Fe^{3+} , a proporção de OH foi calculada assumindo que todo OH e F estão relacionados com a entrada do Fe^{3+} e Al no mineral, e o oxigênio foi calculado com base no balanço de cargas, conforme as equações 34 e 35 abaixo. Para a caracterização química envolvendo as substituições na titanita, foi utilizado diagrama composicional dos termos $\text{CaTiSiO}_5 - \text{CaAlSiO}_4(\text{OH}) - \text{CaAlSiO}_4(\text{F})$ (Franz & Spear, 1985) e outro com conteúdo dos elementos lantanídeos leves (La, Ce, Nd, Pr, Sm) e Y (Fleischer, 1978).

$$OH = (Al + Fe^{3+}) - F \quad (34)$$

$$O = [(\sum \text{cargas de cátions}) - OH - F]0.5 \quad (35)$$

As abreviaturas dos minerais utilizados neste trabalho seguem as recomendações de Whitney & Evans (2010).

2.6. Cálculos de geotermobarometria

Neste estudo, foi utilizada a química mineral e de rocha total para a determinação das condições de pressão e temperatura das amostras. A química da hornblenda foi utilizada como indicador de pressão e temperatura. Para a determinação da temperatura a calibração utilizada foi a da edenita-richterita do método anfibólio-plagioclásio de Holland & Blundy (1994), conforme indicação de Anderson (1996). A pressão utilizando este mineral foi determinada pelo método Al na hornblenda, utilizando duas calibrações distintas. A primeira, de Schmidt (1992), foi utilizada somente como valor inicial de pressão para a equação de temperatura do método anfibólio-plagioclásio. Após, foram realizadas 7 interações entre as equações de Holland & Blundy (1994) e de Anderson & Smith (1995) para a obtenção das temperaturas e pressões, respectivamente, utilizadas neste trabalho.

O geotermobarômetro do Zr na titanita foi calculado usando a calibração de *Hayden et al.* (2008). Nas amostras utilizadas neste trabalho, todas têm a presença de quartzo na sua composição e ausência de rutilo. Assumiu-se então valores de a_{SiO_2} igual a 1 e de a_{TiO_2} igual a 0,6 para todas as amostras.

Com dados de fluorescência de raios X, o método de saturação do zircão (Watson & Harrison, 1983) foi utilizado para determinar a temperatura. Os dados das análises de rocha total foram retirados de Oliveira *et al.* (2001) e Philipp *et al.* (2004).

3. ARTIGO SUBMETIDO À REVISTA *JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES*

Mineral chemistry and geothermobarometry of neoproterozoic rocks from northeast Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil

Susan Martins Drago^{a,b,*}, Márcia Elisa Boscato Gomes^b, Edinei Koester^c

^(a) Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: susan.drago@ufrgs.com

^(b) Laboratório de Microsonda Eletrônica, Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil.

^(c) Laboratório de Geologia Isotópica, Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil.

*Corresponding author: e-mail address susan.drago@ufrgs.br

Abstract. The northeast of the Dom Feliciano Belt comprises post-transcurrent granitic rocks of high K-alkaline and alkaline affinity, and tonalitic gneissic rocks of amphibolite-calcium-alkaline affinity. In order to obtain data regarding the formation conditions of these rocks, geothermobarometric methods based on mineral chemistry and bulk-rock geochemistry were applied. The mineral chemistry of the amphiboles of the gneiss rocks (Fe-hornblende to Fe-tschermakite) registered a change in pressure conditions that were interpreted as having an igneous core, with temperatures, pressures and depths, respectively, from 710 to 760 ° C, 3.4 to 3.9 kbar and 12 to 14 km; and a metamorphic rim of 690 to 760 ° C, 4.8 to 7.7 kbar and 18 to 28 km. The mineral chemistry of granite amphiboles (Mg-hornblende) recorded temperatures from 659 to 759 and pressures from 3.2 to 5.0 kbar, with depths from 11 to 18 km. The temperatures obtained based on the Zr content in titanite registered events between 607 to 881 ° C, which were interpreted, together with petrographic observations, as having both a magmatic (700 - 881 ° C) and post-magmatic origin (<700 ° C), both with different chemical characteristics.

Keywords. Geothermobarometry, mineral chemistry, amphibole, titanite.

1 Introduction

Geothermobarometric methods based upon mineral and bulk-rock chemistry are used to establish conditions of P and T, thus aiming at better comprehending processes involved in the tectonic evolution of a given area (Corrie *et al.*, 2009; Alves *et al.*, 2016; Jiang and Lee, 2017; Szymanowski *et al.*, 2017; Yousefi *et al.*, 2017; Fanka *et al.*, 2018). For the neoproterozoic granites and gneiss located at the northeast of the Dom Feliciano Belt, the only mineral chemistry and geothermobarometry data published comes from Oliveira *et al.* (2001), but the region still remains relatively poor in terms of more thorough data.

Geothermobarometers based upon mineral chemistry of amphibole and titanite, and in bulk-rock chemistry were utilized with the purpose of characterizing the pressure and

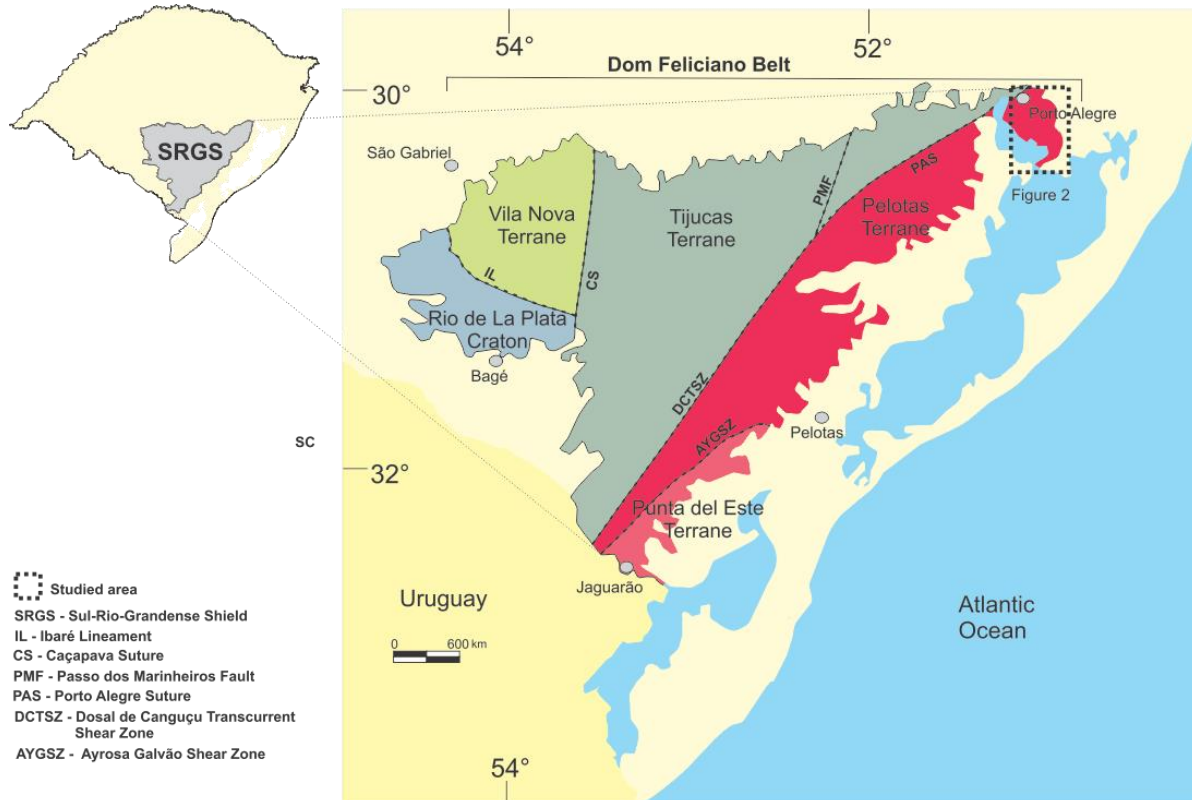
44 temperature conditions of rocks from this region. This information, in turn, served as basis for
 45 inferences regarding the metamorphic process that took place in the area, as well as the
 46 petrologic and geotectonic evolution of the area in question.

47

48 2 Study Area

49 The Sul-rio-grandense Shield has been the object of study of countless field, isotope,
 50 geochemistry, geophysical and structural works (e.g. Fernandes *et al.*, 1995a, 1995b; Philipp,
 51 1998; Bitencourt and Nardi, 2000; Saalman *et al.*, 2005; Hartmann *et al.*, 2016) upon which
 52 its geologic units were designated in many different ways, giving rise to rather distinct models
 53 of geotectonic evolution (Ribeiro and Fantinel, 1978; Fragozo Cesar *et al.*, 1986; Fernandes
 54 *et al.*, 1995a, 1995b; Hartmann *et al.*, 2007; Saalman *et al.*, 2011; Chemale *et al.*, 2012;
 55 Ramos *et al.*, 2017; Hueck *et al.*, 2018).

56 The shield can be divided into a cratonic portion, The Rio de la Plata Craton, and the
 57 Dom Feliciano Belt, which is further segmented into four distinct domains: a) The Western
 58 Domain or Vila Nova Terrane, b) the Central Domain or Tijucas Terrane, c) the Eastern
 59 Domain, Pelotas Terrane or Pelotas Batholith and d) the southeast Domain or Punta Del Este
 60 Terrane (figure 1).



62 Figure 1. Simplified geological map of the tectonic divisions of the Sul-rio-grandense Shield,
 63 its limits and the location of the study area, the region of Porto Alegre.

64 Rocks belonging to the paleoproterozoic Santa Maria Chico Granulitic Complex,
65 interpreted as record from a 2.4 Ga magmatic arc (Nardi and Hartmann, 1979; Girelli *et al.*,
66 2018), make up the majority of the western Rio de la Plata Craton. The remaining units present
67 in the Sul-rio-grandense Shield belong to the neoproterozoic Dom Feliciano Belt, which is
68 separated from the cratonic area by the geophysical discontinuity known as the Ibaré
69 Lineament or São Gabriel Suture.

70 From a geologic standpoint, the geophysical domains present in the Dom Feliciano
71 Belt can be simplified as:

72 a) Vila Nova Terrane, limited to the west by the craton, is composed mainly by igneous
73 and metamorphic rocks related to two magmatic arc provinces, as well as fragments from
74 ocean floor and associated basins (Silva Filho and Soliani Júnior, 1987; Kraemer, 1995; Leite
75 *et al.*, 1998);

76 b) Tijucas Terrane, in contact with the Vila Nova Terrane by means of the Caçapava
77 Suture, where metasedimentary rocks associated to back-arc and/or forearc basin, as well as
78 orthoderived paleoproterozoic rock fragments dominate (Porcher *et al.*, 1999; Remus *et al.* ,
79 2002; Gregory *et al.*, 2017);

80 c) Pelotas Terrane, with contact to the Tijucas Terrane defined by the Porto Alegre
81 Suture (and/or Dorsal de Canguçu Shear Zone). This domain is predominantly formed by
82 criogenian granitoid rocks related to a magmatic and/or post-collisional arc and intense
83 magmatism associated to shear zones (Philipp, 1998; Bitencourt and Nardi, 2000; Koester,
84 2002).

85 d) Punta Del Este Terrane, marked by a contact to the Pelotas terrane by means of the
86 Arroio Grande Suture, is made up by metasedimentary rocks associated to back-arc and/or
87 forearc basins, as well as ocean floor fragments and tonian neoproterozoic rocks of para- and
88 orthoderivation related to a magmatic arc (Lenz *et al.*, 2013; Cruz *et al.*, 2019; Peel *et al.*,
89 2018; Ramos *et al.*, 2018).

90 At the end of the neoproterozoic (< 600 - 550 Ma) a variety of plutonic bodies
91 systematically intrude the Sul-Rio-Grandense Shield as a whole (e.g. Santo Afonso Granite–
92 Rio de La Plata Craton (Camozzato *et al.*, 2016); Caçapava do Sul Granite – Vila Nova
93 Terrane (Bitencourt and Nardi, 2000); Piquiri Syenite Massif – Tijucas Terrane (Stabel *et al.*,
94 2001); Capão do Leão Granite – Pelotas Terrane (Silva, 2016); Bretanha Granite, Punta Del
95 Este Terrane (Cruz *et al.*, 2019). Also at the end of the neoproterozoic and beginning of the
96 cambrian the deposition associated to the Camaquã Basin takes place above the shield

97 sequence, as represented by expressive sedimentation and volcanism in its central-western
98 portion (Paim *et al.*, 2000).

99 The pioneer studies about the geology of Porto Alegre were carried out by Schneider
100 *et al.* (1974), which presented a geological map of the location, with field descriptions of the
101 units observed. In it, the author recognized heterogeneous and homogeneous migmatites,
102 along with few granitic bodies interpreted to be younger in age in relation the former, such as
103 the Independência Granite, Ponta Grossa Granite and Santana Granite.

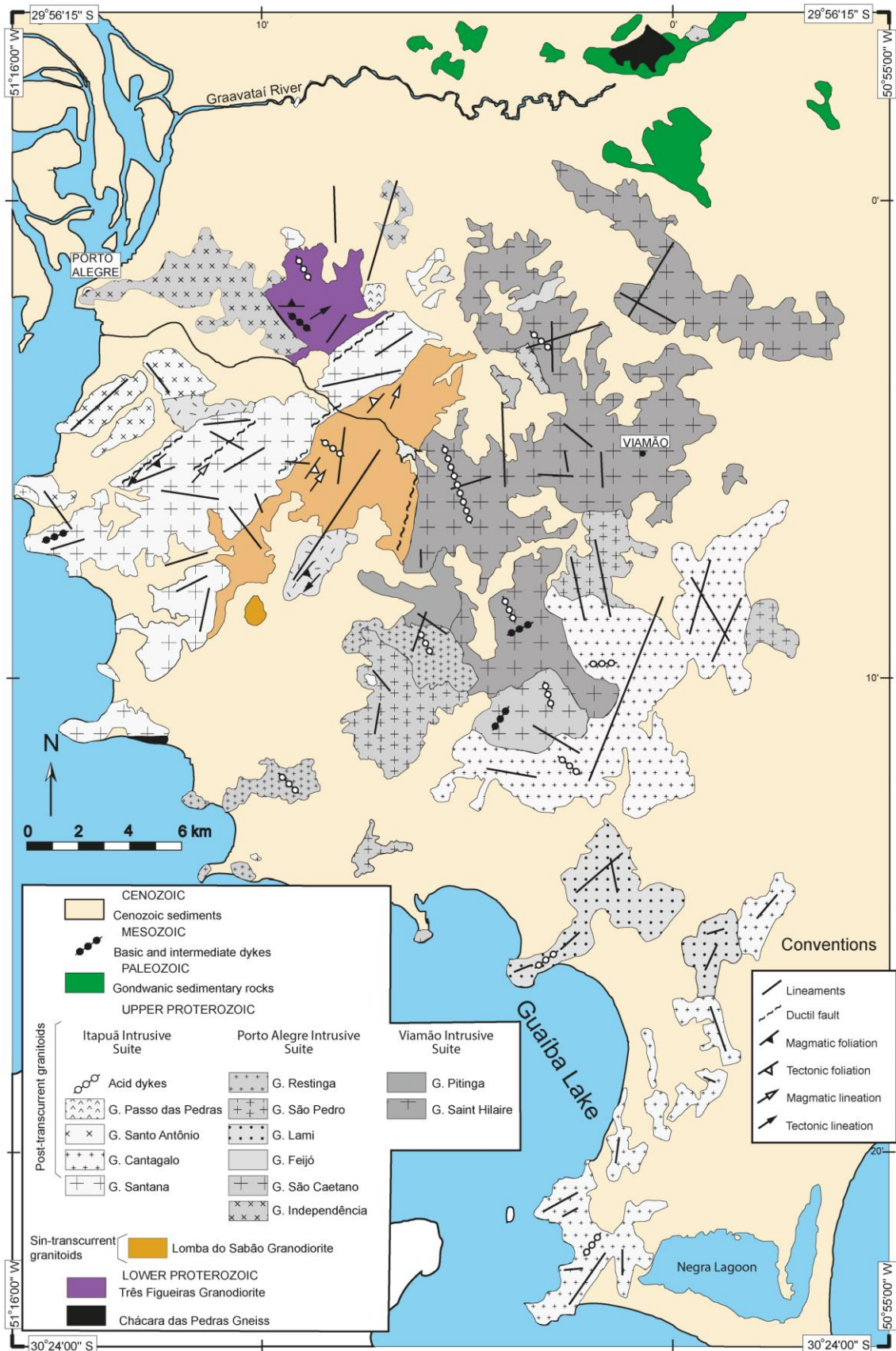
104 Only in the 90`s studies were once again executed in rocks of the Porto Alegre region,
105 with the regional geology work put forth by Philipp (1998), which evaluated rocks of this
106 location both petrographically, geochemically and in the field. In the same year, Menegat *et al.*
107 (1998) published the geological map of Porto Alegre, based upon field and petrographic
108 data. Both previously cited works negate the presence of migmatites in the area, describing
109 the rocks as gneisses of tonalitic composition, followed by the intrusion of countless younger
110 granitic pulses. The first plate tectonic perspective interpreted for rocks of the Porto Alegre
111 region was proposed by Menegat *et al.*, (1998), where the Chácara das Pedras Gneiss and the
112 Três Figueiras Granodiorite represent an ancient continental magmatic arc. The Lomba do
113 Sabão Granite records a strike-slip event in the region, however the dominant rocks present
114 in the Porto Alegre area are granites interpreted as placed in a post-transcurrent environment
115 (e.g. Independência Granite, Saint Hilaire Granite, Cantagalo Granite).

116 At the beginning of the 2000s, the first geochronology (U-Pb SHRIMP) studies take
117 place, which dated the Santana Granite`s cristallization at 600 ± 10 Ma (Koester *et al.*, 2001).
118 Likewise, the first geochemical investigations in rocks of the region are published. Oliveira *et al.*
119 (2001) subdivides the post-transcurrent granites according to trace and major elements
120 into: a) Viamão Intrusive Suite (VIS), constituted by the Saint Hilaire Granite and Pitinga
121 Granite, b) Porto Alegre Intrusive Suite (PAIS), constituted by the Independência, Feijó,
122 Lami, São Pedro, Restinga and São Caetano Granites and c) the Itapuã Intrusive Suite (IIS),
123 constituted by the Santana, Cantagalo e Santo Antônio Granites (Figure 2). These suites are
124 interpreted as representing high-K calc-alkaline magmatism, with the exception of the IIS,
125 whose geochemical signature is transitional to an alkaline series, possibly associated to a
126 thermal relaxation environment.

127 Published field and total rock chemistry studies carried out in the Gneisses of the
128 region were put forth by Philipp *et al.* (2004), where the tonalitic rocks were shown to display
129 medium-K calc-alkaline affinities, associated to a magmatic arc and metamorphosed up to the
130 amphibolite facies. These same gneisses were date by Koester *et al.* (2016), which published

131 U-Pb SHRIMP crystallization ages of 777 ± 4 Ma and metamorphism age of approximately
132 660 Ma.

133 Vieira et al. (2019) presented the most recent study in the region of Porto Alegre. The
134 author contends the presence of peraluminous magmatism, a feature not recognized in the
135 region up to that point and characterized the São Geraldo Granite (medium equigranular, with
136 primary biotite and muscovite, sometimes garnet and incipient milonitic foliation) as a sin-
137 transcurrent granite.



138

139 Figure 2. Geological map from Porto Alegre region, NE of the Dom Feliciano Belt, RS

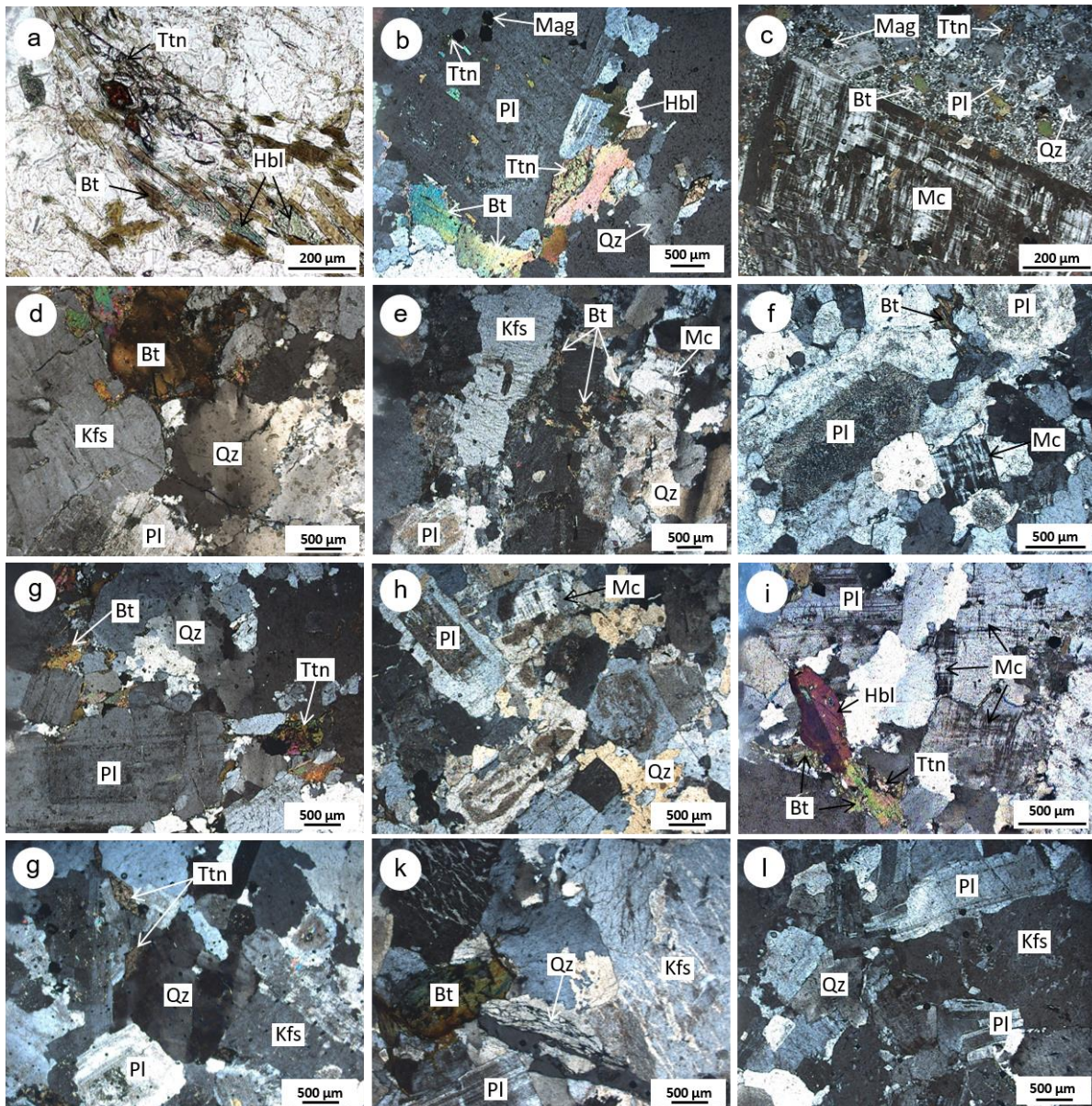
140 (modified from Oliveira *et al.*, 2001).

141 The rocks studied in the present work encompass the Chácara das Pedras Gneiss and
142 the post-transcurrent granites. The Chácara das Pedras Gneiss is constituted by amphibole,
143 plagioclase, K-feldspar, biotite and titanite. It displays a nematoblastic texture due to
144 amphibole orientation, as well as a lepidoblastic texture due to the presence of biotite.

145 The VIS is composed by the Saint Hilaire Granite and Pitinga Granite, which exhibit
146 similar mineralogical composition but rather distinct textures. The **Saint Hilaire Granite**
147 displays porphyritic texture (K-Feldspar) and inequigranular, medium to coarse texture
148 composed by amphibole, biotite, plagioclase, K-feldspar, quartz, titanite and opaques. The
149 **Pitinga Granite** displays a porphyritic texture (K-feldspar) and fine matrix containing
150 plagioclase, K-feldspar, quartz, titanite, magnetite and biotite.

151 In the PAIS, the **Independência Granite** exhibits a coarse equigranular texture and is
152 composed by plagioclase, perthitic K-feldspar, biotite and quartz. The **Feijó Granite**
153 possesses an inequigranular, medium-to-coarse texture composed by K-feldspar, plagioclase,
154 quartz and biotite. The **Lami Granite** has an inequigranular, medium-to-coarse texture
155 composed by K-feldspar, plagioclase, biotite, quartz, epidote, titanite and opaques. The **São**
156 **Caetano Granite** displays an equigranular medium texture and is composed by amphibole,
157 plagioclase, K-feldspar, biotite and quartz. The **São Pedro Granite** exhibits an
158 inequigranular, medium-to-coarse texture composed by K-feldspar, plagioclase, quartz and
159 biotite. Finally, the **Restringa Granite** displays a porphyritic texture with plagioclase
160 phenocrysts and medium-grained matrix composed by K-feldspar, biotite, quartz and
161 plagioclase.

162 In the IIS, the **Santo Antônio Granite** shows an equigranular, coarse texture
163 composed by perthitic K-feldspar, plagioclase, biotite and quartz. The **Cantagalo Granite**
164 displays equigranular coarse texture composed by K-Feldspar, plagioclase, biotite, quartz and
165 opaques. The **Santana Granite** shows an equigranular coarse texture and is made up by K-
166 feldspar, plagioclase, biotite and quartz.



167

168 *Figure 3. Photomicrographs of the (a) Chácara das Pedras Gneiss; (b) Saint Hilaire and (c)*169 *Pitinga Granites, from the Viamão Intrusive Suite; (d) Independência, (e) Lami, (f) São*170 *Caetano and (g) São Pedro Granites, from the Porto Alegre Intrusive Suite; and (h) Santana*171 *Granite, from the Itapuã Intrusive Suite. Mineral abbreviations (Whitney and Evans, 2010):*172 *Hbl = hornblende, Pl = plagioclase, Mc = microcline, Kfs = K-feldspar; Bt = biotite, Mag =*173 *magnetite, Ttn = titanite, Ilm = ilmenite.*

174

175 **3 Methods**

176 Thin-sections from seven granites and one gneiss were studied under petrographic

177 microscopy aiming at 1) the recognition of adequate mineral grains to be used as

178 geothermometers and/or geobarometers and 2) describing textures in these minerals and their

179 relations to other mineral grains present. Backscattered electron images were obtained for the
 180 study of chemical zonations within titanite grains and for the evaluation of appropriate points
 181 of analysis for electron microprobe.

182 Backscattered Electron images (BSE), mineral chemistry analyses and the
 183 compositional map were performed in the Cameca *SXFive* electron microprobe from the
 184 Laboratório de Microsonda Eletrônica do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica
 185 (CPGq), of the Institute of Geosciences of UFRGS. The analyses of amphibole, biotite,
 186 plagioclase and K-feldspar were carried out under a 15kV acceleration voltage, 15 nA beam
 187 current and 5µm beam diameter. The standards utilized were: sanidine for Si, Al and K, albite
 188 for Na, diopside for Mg and Ca, hematite for Fe and Cr₂O₃, rhodonite for Mn and rutile for Ti.
 189 Counting time was 20 s at the peak and 10 s at backgrounds.

190 The analyses of titanite were carried out under three distinct analytical conditions: one
 191 at 15 kV and 20 nA for the acquisition of Si, Ca, Ti, Al, Fe, Mg, Mn, Na and Cr; a second at
 192 15 kV and 100 nA for the acquisition of F, Nb, Y, Ce, La, Nd, Pr, Sm and Th; and a third at
 193 20 kV and 200 nA for the acquisition of Zr, the trace element of interest for
 194 geothermobarometry. The standards utilized were wollastonite for Ca and Si, Olivine for Fe,
 195 sanidine for Al, zircon for Zr, NdPO₄ for Nd, CePO₄ for Ce, LaPO₄ for La, PrPO₄ for Pr,
 196 garnet with Y and Al for Y; and fluorite for F. Counting time at the peak was 20s for all
 197 elements, with the exception of F and Zr. Fluorine was obtained in 2 spectrometers
 198 simultaneously, with 60 s time for each. Counting time for backgrounds was half the time
 199 utilized at the peak. The content of Zr in titanite were obtained with a simultaneous acquisition
 200 of 3 spectrometers, utilizing PET and LPET crystal, with a counting time of 60 s to 300 s and
 201 half for each background, allowing for the detection limits of ~70 to ~30 ppm, respectively.

202

203 **4 Results**

204 *4.1 Mineral Chemistry*

205 *4.1.1 Feldspar*

206 Tables 1 and 2 present data from plagioclase and K-feldspar samples, which include
 207 analyses from the core and rim of mineral grains, and figure 4 shows the An-Ab-Or ternary
 208 diagram with the nomenclature of these feldspars. The Chácara das Pedras Gneiss contains
 209 plagioclases compositionally attributed to andesine (An₂₉₋₄₅), without variation from the core
 210 to the rim, e K-feldspars with Or₉₂₋₉₅ content. At the VIS, plagioclase derived from the Saint
 211 Hilaire Granite (An₁₈₋₃₈) and Pitinga Granite (An₁₇₋₄₃) display rim-core variation. In both
 212 complexes, the cores are composed of oligoclase-andesine, and rims of andesine and

213 oligoclase, respectively. K-feldspar content Or_{92-94} and Or_{92-97} were found, respectively. At
 214 the PAIS, plagioclase grains from the Independência Granite (An_{20-43}) and Lami Granite (An_{5-}
 215 18) also exhibited compositional variation from core to rim. Plagioclases from the
 216 Independência Granite are composed of andesine in the core and oligoclase in the rim, while
 217 Lami Granites have oligoclase composition in the core and albite-oligoclase in the rim. K-
 218 feldspar content were found to be Or_{93-97} e Or_{95-97} , respectively. In the São Caetano and São
 219 Pedro Granites, plagioclases do not display variation from core to rim, and were found to be
 220 oligoclase-andesine (An_{22-39}) and oligoclase (An_{13-24}). K-feldspar content were found to be
 221 Or_{93-97} e Or_{91-97} , respectively. At the IIS, the plagioclases found at the Santana Granite do not
 222 show variability from rim to core, solely of albite ($An_{0.4-8}$) composition, while feldspar content
 223 fall within the Or_{94-97} range.

224

225 *Table 1. Representative analysis for mineral chemistry of the plagioclases.*

Amostra	Chácara das Pedras Gneiss		VIS - Saint Hilaire Granite			VIS – Pitinga Granite				PAIS – Independência Granite		
	1'-r	1'-c	2s-r	2s-c	5s-r	2-r	2-c	4-r	4-c	2-r	2-c	4-r
SiO ₂	56.46	56.36	60.77	61.04	62.19	61.31	58.76	63.35	60.99	63.10	58.45	63.58
Al ₂ O ₃	27.71	27.77	24.90	25.73	24.01	24.67	26.41	23.25	25.21	23.51	26.21	23.37
FeO	b.d.l.	n.d.	0.15	0.12	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.
CaO	9.34	9.45	6.64	7.10	5.74	5.95	7.70	4.19	6.30	4.92	7.81	4.35
Na ₂ O	6.58	6.37	7.70	6.25	8.46	8.27	7.37	9.36	8.20	8.71	7.47	9.24
K ₂ O	0.14	0.12	0.23	0.21	0.12	0.20	0.10	0.16	0.08	0.24	0.08	0.18
Total	100.42	100.16	100.39	100.45	100.52	100.54	100.46	100.40	100.88	100.48	100.02	100.75
Si	10.113	10.111	10.774	10.758	10.975	10.844	10.453	11.161	10.757	11.111	10.451	11.157
Al	5.849	5.873	5.204	5.345	4.994	5.142	5.538	4.828	5.240	4.880	5.523	4.834
Fe	0.029	0.014	0.020	0.015	0.005	0.019	0.018	0.014	0.016	0.000	0.000	0.000
Ca	1.793	1.817	1.262	1.340	1.086	1.128	1.468	0.791	1.190	0.927	1.497	0.818
Na	2.284	2.217	2.646	2.136	2.893	2.837	2.541	3.196	2.803	2.974	2.590	3.145
K	0.033	0.026	0.052	0.048	0.028	0.046	0.023	0.035	0.018	0.053	0.019	0.039
Z	15.991	15.998	15.998	16.118	15.974	16.005	16.009	16.003	16.013	15.991	15.974	15.991
X	4.110	4.060	3.960	3.524	4.007	4.011	4.032	4.022	4.011	3.954	4.106	4.002
Ab	55.6	54.6	66.8	60.6	72.2	70.7	63.0	79.5	69.9	75.2	63.1	78.6
An	44.3	45.1	32.4	38.5	27.2	28.6	36.9	20.0	30.1	23.4	36.5	20.4
Or	0.8	0.6	1.3	1.4	0.7	1.1	0.6	0.9	0.4	1.3	0.5	1.0

Amostra	PAIS – Lami Granite				PAIS - São Caetano Granite		PAIS - São Pedro Granite				IIS – Santana Granite	
	6-r	6-c	8-c	8-r	2-r	2-c	3-r	3-c	9-c	9-r	1-r	1-c
SiO ₂	64.64	64.03	64.90	67.36	60.87	59.08	63.38	63.35	62.28	63.36	66.38	67.78
Al ₂ O ₃	22.34	22.67	21.27	21.13	24.87	25.57	23.17	22.99	23.87	23.45	20.81	20.56
FeO	n.d.	b.d.l.	0.07	b.d.l.	0.38	0.26	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	0.15	n.d.
CaO	3.01	3.78	3.44	1.10	n.d.	n.d.	4.33	4.19	5.19	4.41	1.66	1.10
Na ₂ O	10.01	9.72	9.00	10.82	8.11	7.37	9.37	9.34	8.88	9.25	10.96	11.23
K ₂ O	0.12	0.26	0.74	0.23	0.08	0.27	0.21	0.39	0.12	0.13	0.18	0.06
Total	100.26	100.58	99.61	100.73	100.35	99.71	100.46	100.47	100.34	100.60	100.15	100.73
Si	11.368	11.264	11.498	11.710	10.790	10.583	11.159	11.173	11.003	11.142	11.654	11.786
Al	4.631	4.699	4.442	4.330	5.196	5.398	4.809	4.778	4.971	4.859	4.306	4.215
Fe	0.018	0.015	0.025	0.012	0.076	0.052	0.011	0.027	0.005	0.001	0.020	0.000
Ca	0.568	0.713	0.654	0.205	1.148	1.373	0.816	0.792	0.983	0.831	0.312	0.204
Na	3.414	3.315	3.092	3.649	2.786	2.560	3.200	3.193	3.043	3.153	3.732	3.785
K	0.027	0.059	0.167	0.051	0.018	0.062	0.048	0.088	0.027	0.030	0.041	0.014
Z	16.017	15.978	15.965	16.052	16.062	16.033	15.979	15.978	15.979	16.002	15.980	16.001
X	4.009	4.087	3.913	3.905	3.952	3.995	4.064	4.073	4.053	4.014	4.085	4.003
Ab	85.2	81.1	79.0	93.4	70.5	64.1	78.7	78.4	75.1	78.6	91.4	94.6
An	14.6	17.8	17.4	5.6	31.0	35.7	20.3	20.1	24.4	20.7	8.1	5.1
Or	0.7	1.4	4.3	1.3	0.5	1.5	1.2	2.2	0.7	0.7	1.0	0.3

226 c = core; r = rim; n.d. = not detected; b.d.l. = below detection limit; TiO₂, Cr₂O₃, MgO e MnO were analysed but
 227 all points were below detection limit or not detected; structural formula calculated on the basis of 32 oxygens.

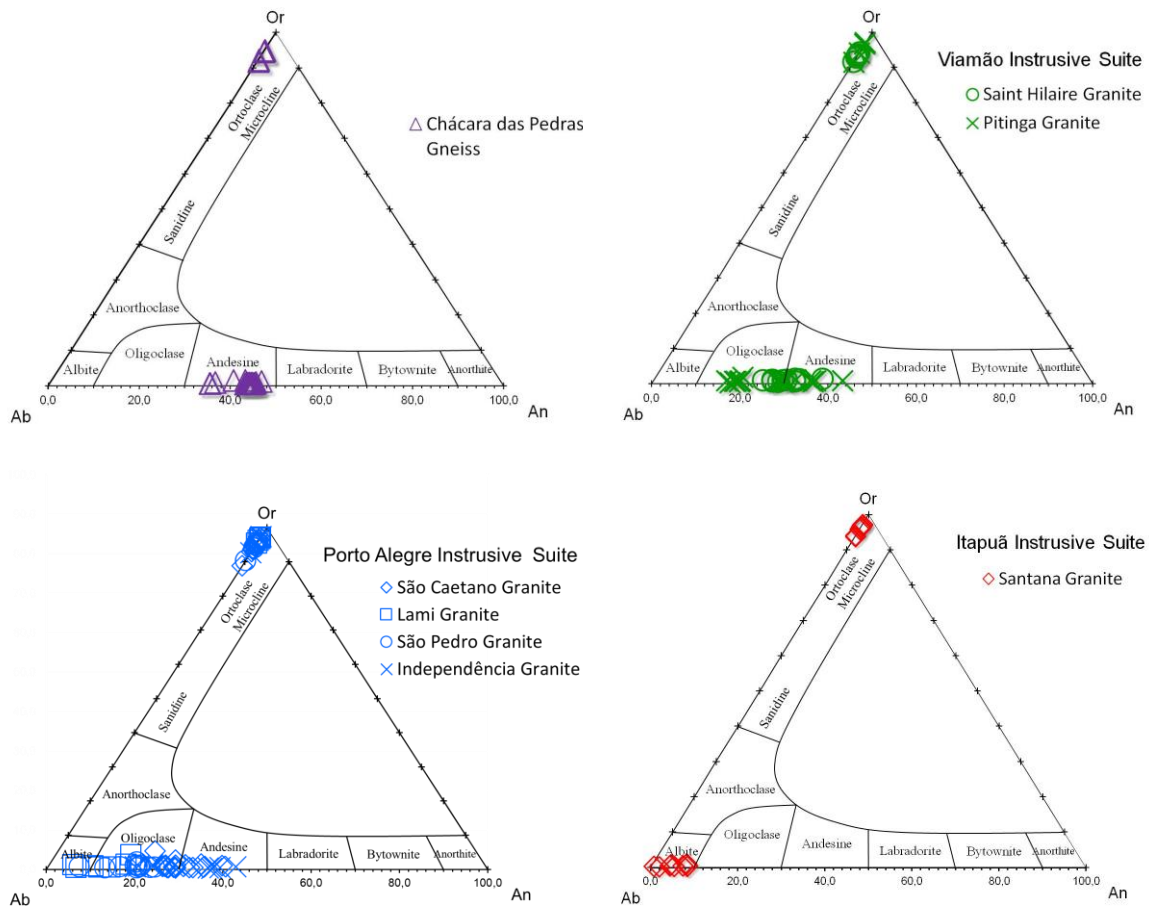
228

229 *Table 2. Representative analysis for mineral chemistry of the K-feldspar.*

Sample	Chácara das Pedras Gneiss			VIS - Saint Hilaire Granite				VIS - Pitinga Granite			PAIS - Independência Granite	
	1-c	2-c	6-c	1s-r	1s-c	2s-r	2s-r	7-m	8-c	4-c	3-c	5-c
SiO ₂	64.13	63.78	64.87	65.27	64.75	65.12	64.93	63.02	64.75	64.04	64.53	64.58
Al ₂ O ₃	18.58	18.44	18.77	18.65	18.47	18.36	18.37	18.67	18.59	18.47	18.62	18.42
CaO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	n.d.
FeO _{total}	b.d.l.	b.d.l.	0.11	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.
Na ₂ O	0.89	0.55	0.56	0.69	0.92	0.79	0.73	0.62	0.37	0.33	0.81	0.32
K ₂ O	15.56	15.92	16.00	14.99	15.30	15.48	15.55	15.43	16.28	16.30	15.76	16.48
Total	99.15	98.70	100.30	99.60	99.44	99.75	99.58	97.74	100.00	99.14	99.72	99.80
Si	11.930	11.939	11.943	12.016	11.984	12.013	12.004	11.894	11.967	11.949	11.943	11.973
Al	4.074	4.071	4.070	4.046	4.028	3.991	4.002	4.154	4.050	4.061	4.062	4.026
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.320	0.200	0.199	0.247	0.329	0.281	0.263	0.228	0.134	0.121	0.292	0.114
K	3.692	3.757	3.803	3.521	3.612	3.642	3.667	3.714	3.839	3.879	3.720	3.897
Total	20.035	19.991	20.021	19.830	19.953	19.927	19.936	19.990	19.990	20.012	20.017	20.010
X	16.004	16.017	16.013	16.062	16.012	16.004	16.006	16.052	16.021	16.016	16.005	15.999
Z	4.014	3.957	4.008	3.768	3.941	3.923	3.930	3.946	3.973	4.000	4.014	4.011
Ab	7.9	5.0	5.0	6.6	8.3	7.2	6.7	5.8	3.4	3.0	7.3	2.8
An	0.5	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Or	91.6	94.5	94.9	93.4	91.7	92.8	93.3	94.1	96.6	97.0	92.7	97.2

Sample	PAIS - São Caetano Granite				PAIS - Lami Granite		PAIS - São Pedro Granite			IIS - Santana Granite	
	2-c	2-r	5-c	5-r	4-c	8-c	1-c	2-c	3-c	6-c	6-r
SiO ₂	64.75	64.57	64.68	64.14	64.27	64.64	64.51	64.62	64.71	63.88	64.22
Al ₂ O ₃	18.25	18.31	18.43	18.46	18.63	18.38	18.44	18.39	18.57	18.35	18.28
CaO	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO _{total}	0.20	0.33	0.24	0.40	0.22	0.29	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	0.11	b.d.l.
Na ₂ O	0.51	0.59	0.77	0.33	0.36	0.51	0.50	0.57	0.66	0.35	0.34
K ₂ O	15.94	15.77	15.44	16.18	16.51	16.17	16.22	16.12	15.90	16.56	16.49
Total	99.65	99.56	99.56	99.50	99.99	99.99	99.67	99.70	99.84	99.25	99.33
Si	12.001	11.978	11.977	11.933	11.915	11.963	11.960	11.974	11.962	11.934	11.968
Al	3.986	4.002	4.023	4.047	4.070	4.009	4.030	4.017	4.046	4.041	4.015
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.041	0.070	0.049	0.084	0.047	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.183	0.210	0.275	0.118	0.129	0.183	0.178	0.206	0.237	0.126	0.122
K	3.770	3.731	3.648	3.841	3.905	3.818	3.836	3.810	3.750	3.946	3.921
Total	19.982	19.992	19.973	20.023	20.066	20.033	20.004	20.007	19.995	20.047	20.026
X	15.988	15.980	16.000	15.980	15.986	15.972	15.990	15.991	16.008	15.975	15.983
Z	3.994	4.012	3.973	4.043	4.081	4.061	4.014	4.016	3.987	4.072	4.043
Ab	4.6	5.2	6.9	2.9	3.2	4.5	4.4	5.1	5.9	3.1	3.0
An	1.0	1.7	1.2	2.1	1.1	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Or	94.4	93.0	91.8	95.0	95.7	94.0	95.6	94.9	94.1	96.9	97.0

230 c = core; r = rim; m = matrix; n.d. = not detected; b.d.l. = below detection limit; TiO₂, Cr₂O₃, MgO e MnO were
 231 analysed but all points were below detection limit or not detected; structural formula calculated on the basis of
 232 32 oxygens.



233 Figure 4. Classification diagram An-Ab-Or of the plagioclases and K-feldspars.

234

235 4.1.2 Amphibole

236 Amphiboles are found only in the Chácara das Pedras Gneiss and Saint Hilaire Granite
 237 in the VIS and São Caetano Granite in the PAIS. Table 2 shows analytical data representative
 238 of the amphiboles found in the units above, while figure 5 shows the classification diagram.
 239 A total of 63 points of analyses were utilized, from an average of four to ten amphibole grains
 240 per sample. The amphiboles are classified as calc-amphiboles according to Leake *et al.* (1997).
 241 The amphiboles from the Chácara das Pedras Gneiss are classified as ferro-hornblende and
 242 ferro-tschermakite, while the ones present at the Saint Hilaire and São Caetano Granites plot
 243 in the field of magnesium-hornblende (Figure 5). The Si content, shown in a.p.f.u. (atoms per
 244 formula unit), as well as the #Mg (Mg/(Mg+Fe)) content were, respectively: 6.25 to 6.63 and
 245 0.37 to 0.49 for the Chácara das Pedras Gneiss; 6.66 to 6.97 and 0.53 to 0.70 in the Saint
 246 Hilaire Granite; and 6.59 to 6.87 and 0.56 to 0.63 at the São Caetano Granite.

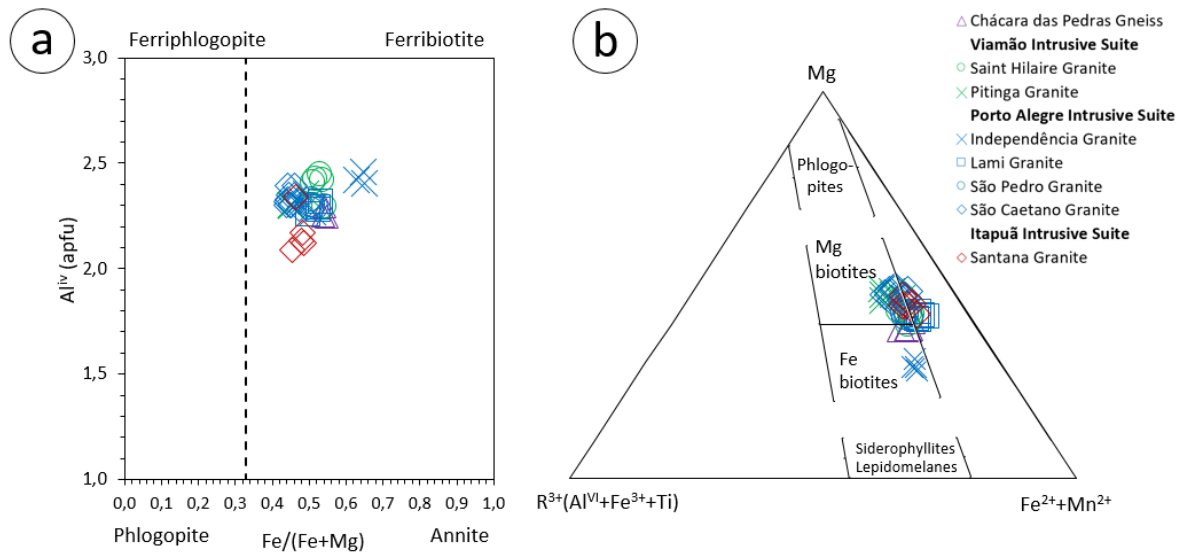
247 4.1.3 Biotite

248 Table 4 shows representative analyses of biotite samples, while figure 6 contains a
249 diagram for the compositional classification of this mineral. A total of 45 points, ranging from
250 3 to 12 grains per sample were evaluated. In the classification diagram of Speer (1984), which
251 divides micas based upon the Fe/(Fe+Mg) ratio and Al^{iv} content, all studied samples fall within
252 the range of biotite, slightly richer in the siderophyllite component, and displaying
253 compositional homogeneity within each unit (Figure 6a). Content of Fe/(Fe+Mg) of 0.54 to
254 0.55 (apuf) and Al^{iv} of 2.25 to 2.30 (apuf) were obtained from biotite present in the Chácara
255 das Pedras Gneiss. At the PAIS, content of Fe/(Fe+Mg) and Al^{iv} were the highest at the
256 Independência Granite, ranging from 0.63 to 0.66 and 2.41 to 2.46 (apuf), respectively. The
257 Lami, São Caetano and São Pedro Granites show Fe/(Fe+Mg) and Al^{iv} content ranging from
258 0.51 to 0.53 and 2.27 to 2.32; 0.44 to 0.47 and 0.51 to 0.52; 2.30 to 2.40 and 2.26 to 2.33
259 (apuf), respectively. At the IIS, the Santana Granite Fe/(Fe+Mg) content range from 0.46 to
260 0.51 and Al^{iv} content from 2.09 to 2.28 (apuf). These show the lowest Al^{iv} content of all
261 samples, with a trend towards the Phlogopite-annite axis in the classification diagram.

262 Biotites from the Chácara das Pedras Gneiss are classified according to the diagram put forth
263 by Foster (1960), which uses the presence of Mg in the octahedral site in relation to Fe²⁺ and
264 Mn²⁺, and R³⁺ (Al^{vi}, Fe³⁺ e Ti⁴⁺)¹ in order to classify trioctahedral micas into different groups
265 (figure 6b). These fall within the range intermediary between Mg- and Fe- biotites, while
266 granites from VIS, PAIS (with the exception of the Independência Granite) and IIS contain
267 Mg-biotite. In the above mentioned diagram, the Independência Granite shows the most
268 distinct composition of biotites amongst all samples, with larger Fe content (ranging from 2.95
269 to 3.02 apuf) and Al^{vi} content (ranging from 0.67 to 0.72 apuf), thus allowing for the
270 classification of these as Fe-biotite. Analyses from the Chácara das Pedras Gneiss show
271 closure values below 98% and K₂O content below 9%, which are lower than what is
272 commonly expected for biotites.

273

¹ All Fe was assumed to be Fe²⁺.



274

275 *Figure 6. Classification diagram of biotite according to (a) Speer (1984) and (b) Foster*276 *(1960).*

277

278 *Table 4. Representative analysis for mineral chemistry of the biotites.*

Amostra	Chácara das Pedras Gneiss			VIS – Saint Hilaire Granite			VIS – Pitinga Granite			PAIS – Independência Granite		
	1-c	2-c	4-c	9-r	11-r	12-r	1-c	5-c	8-c	1-c	2-c	4-c
SiO ₂	36.86	37.13	37.08	37.24	37.04	37.38	37.07	36.32	36.45	35.98	36.03	35.92
TiO ₂	2.17	2.57	2.18	2.33	3.05	2.30	2.84	3.26	2.92	1.83	2.55	2.64
Al ₂ O ₃	15.42	15.39	15.17	15.77	14.95	15.00	15.51	15.45	15.17	17.19	16.78	17.39
MgO	9.79	9.53	9.60	10.70	10.83	11.38	10.87	9.86	10.74	7.56	6.98	7.02
CaO	0.05	0.05	0.08	b.d.l.	0.10	n.d.	b.d.l.	n.d.	0.07	n.d.	n.d.	n.d.
MnO	0.30	0.28	0.33	0.49	0.52	0.53	0.49	0.52	0.47	0.31	0.38	0.39
FeO _{total}	20.62	19.86	20.60	18.63	19.37	19.26	18.79	20.26	20.41	22.78	23.01	22.81
Na ₂ O	b.d.l.	0.08	b.d.l.	0.11	0.12	<LD	0.06	0.07	0.09	b.d.l.	b.d.l.	0.08
K ₂ O	8.90	8.64	8.61	9.56	9.31	9.57	9.85	9.63	9.60	9.67	9.56	9.72
H ₂ O _{calc}	3.87	3.87	3.86	3.92	3.92	3.93	3.94	3.90	3.92	3.87	3.86	3.89
Total	97.98	97.45	97.51	98.73	99.20	99.34	99.42	99.26	99.84	99.19	99.15	99.86
Si	5.705	5.749	5.755	5.689	5.657	5.696	5.643	5.581	5.573	5.580	5.595	5.539
Ti	0.252	0.299	0.255	0.268	0.350	0.264	0.325	0.377	0.336	0.214	0.298	0.306
Al	2.812	2.808	2.775	2.839	2.691	2.694	2.783	2.799	2.734	3.142	3.071	3.160
Mg	2.259	2.200	2.222	2.437	2.466	2.585	2.466	2.260	2.448	1.749	1.616	1.614
Ca	0.008	0.009	0.012	0.000	0.016	0.000	0.001	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000
Mn	0.040	0.037	0.043	0.063	0.067	0.068	0.063	0.067	0.061	0.041	0.050	0.051
Fe	2.669	2.571	2.674	2.380	2.474	2.455	2.392	2.603	2.610	2.950	2.984	2.937
Na	0.013	0.024	0.015	0.033	0.036	0.000	0.017	0.020	0.028	0.008	0.014	0.023
K	1.756	1.706	1.705	1.863	1.814	1.861	1.913	1.888	1.874	1.914	1.895	1.911
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Total	17.519	17.409	17.460	17.572	17.571	17.623	17.605	17.596	17.674	17.597	17.525	17.542
Amostra	PAIS – São Caetano Granite			PAIS – Lami Granite			PAIS – São Pedro Granite			IIS – Santana Granite		
	1a-r	4-c	6-c	6-c	4-c	9-c	1-c	3-c	4-c	5-c	8-c	6-c
SiO ₂	37.24	37.28	37.75	37.07	36.91	36.46	37.66	37.15	37.16	38.31	38.29	38.15
TiO ₂	2.39	2.32	2.21	2.68	2.97	2.80	2.76	2.78	2.81	2.05	1.94	1.74
Al ₂ O ₃	15.07	14.85	15.21	13.68	13.99	13.49	14.80	15.08	14.51	13.51	14.30	14.50
MgO	12.02	11.93	12.68	10.80	10.20	10.46	10.64	10.57	10.30	11.26	11.07	11.29
CaO	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MnO	0.50	0.43	0.51	0.90	0.89	0.91	0.91	0.83	0.81	1.21	1.00	1.07
FeO _{total}	18.60	19.07	17.62	20.19	20.25	21.21	18.82	19.39	19.91	18.82	18.07	18.71
Na ₂ O	0.08	b.d.l.	0.06	b.d.l.	b.d.l.	0.08	b.d.l.	b.d.l.	0.07	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
K ₂ O	9.48	9.60	9.75	9.60	9.46	9.46	9.79	9.80	9.74	9.63	9.89	9.45
H ₂ O _{calc}	3.95	3.94	3.98	3.88	3.87	3.85	3.93	3.93	3.90	3.91	3.91	3.92

Total	99.34	99.41	99.78	98.80	98.54	98.72	99.32	99.53	99.21	98.76	98.51	98.86
Si	5.659	5.672	5.684	5.733	5.719	5.682	5.742	5.673	5.711	5.880	5.867	5.829
Ti	0.273	0.265	0.251	0.312	0.346	0.328	0.317	0.320	0.325	0.236	0.223	0.199
Al	2.698	2.663	2.698	2.494	2.555	2.478	2.659	2.714	2.627	2.444	2.582	2.612
Mg	2.723	2.707	2.847	2.490	2.357	2.430	2.417	2.406	2.361	2.576	2.529	2.571
Ca	0.003	0.001	0.002	0.000	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.065	0.055	0.065	0.118	0.117	0.121	0.117	0.107	0.106	0.158	0.130	0.139
Fe	2.363	2.426	2.219	2.609	2.621	2.760	2.397	2.473	2.556	2.416	2.315	2.391
Na	0.024	0.013	0.019	0.011	0.006	0.023	0.017	0.005	0.020	0.015	0.010	0.010
K	1.838	1.864	1.872	1.894	1.870	1.881	1.903	1.909	1.910	1.885	1.934	1.841
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Total	17.649	17.669	17.660	17.660	17.596	17.703	17.571	17.607	17.615	17.611	17.591	17.591

279 c = core; r = rim; n.d. = not detected; b.d.l. = below detection limit; Cr₂O₃ was analysed but all points are
 280 below detection limit or not detected; structural formula calculated on the basis of 22 oxygen.

281

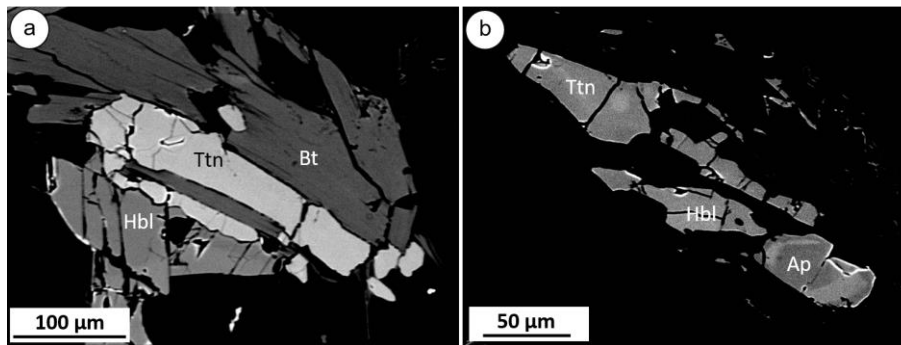
282 4.1.4 Titanite

283 Titanite is found in the Chácara das Pedras Gneiss, the Saint Hilaire and Pitinga
 284 Granites (VIS), the Independência, Lami, São Caetano and São Pedro Granites (PAIS), and
 285 the Santa Granite (IIS). A total of five grains per sample was analyzed, with at least 3 distinct
 286 points evaluated in each zone of the mineral grain. By means of backscattered electron images
 287 obtained the grains were evaluated for chemical zonation, determination of grain core, as well
 288 as grain corrosion and substitution. Tables 4 and 5 show the analytical results from the studied
 289 samples, and figure 7 shows backscattered electron images acquired in the electron
 290 microscope showing textural details and chemical zonation. Figures 8, 9, 10 and 11 display
 291 titanite geochemical diagrams.

292 At the Chácara das Pedras Gneiss, titanite occurs in sizes varying from 50 to 150 μm ,
 293 always found associated to/or included within biotite crystals. These show incipient oscillating
 294 zonation (Figure 5a). This feature is marked by a variation in $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ETR}_2\text{O}_3)^2$, Al_2O_3 and
 295 Fe_2O_3 content. Lighter areas generally appear in grain core zones and are richer in $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 +$
 296 $\text{ETR}_2\text{O}_3)$, with contents varying from 0.07 a 0.92 %, with the exception of certain points which
 297 returned content below detection limit³. Darker areas are found toward the rim of grains and
 298 are richer in Al_2O_3 and Fe_2O_3 , with contents varying from 1.68 to 4.95 and 0.97 to 4.18 %,
 299 respectively.

² Analyzed REE: Ce, La, Sm, Nd, Pr.

³ REE detection limits are ~ 600 ppm for Ce, La, e Nd, and ~ 900 ppm for Pr and Sm.



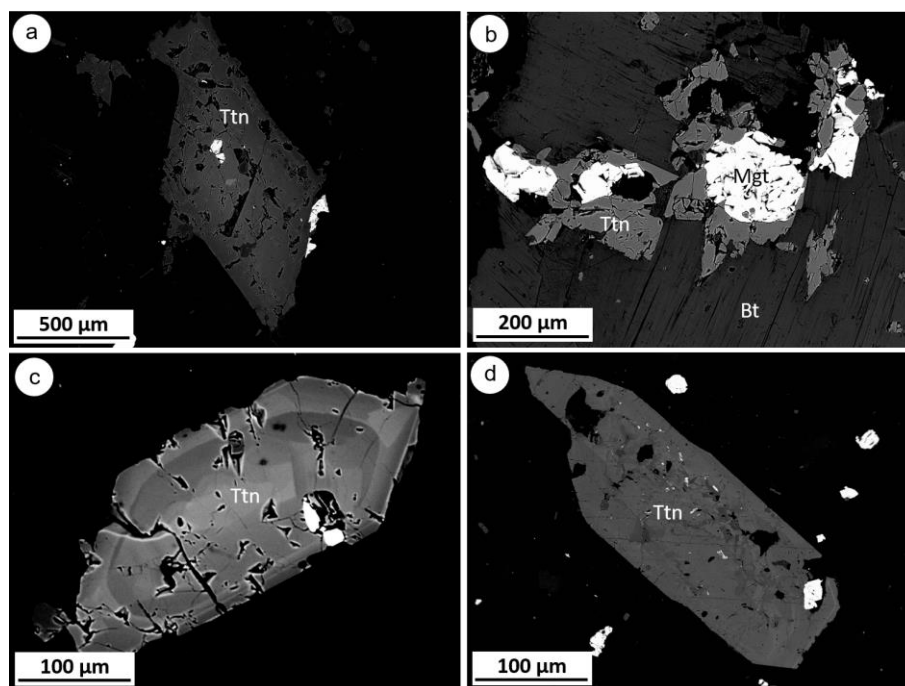
300

301 Figure 7. Backscattered electrons image of titanites from (a) and (b) Chácara das Pedras
 302 Gneiss.

303

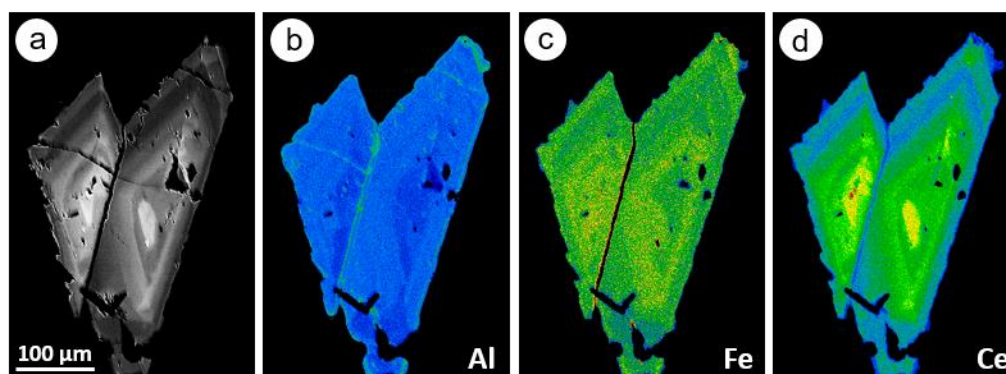
304 At the Saint Hilaire Granite two generations of titanites were analyzed, a primary one
 305 and a secondary one (associated to biotite breakdown). The former is euhedral, with grains
 306 varying from 600 to 1.500 μm and oscillatory zonation (figure 5b) marked by a content of
 307 $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ETR}_2\text{O}_3)$ varying from 0.09 to 2.94 % respectively. Al_2O_3 e Fe_2O_3 content range
 308 from 1.01 % to 1.62 % and 0.97 % to 1.79 %, respectively. The latter is anhedral to subhedral,
 309 finer grained, with grains varying from 100 to 200 μm , figure 5c, and occurs in the rim of
 310 biotite crystals and frequently surrounding magnetite grains. Most analyzed points were found
 311 to be below the limit of detection for $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ETR}_2\text{O}_3)$. Al_2O_3 and Fe_2O_3 contents were 1.18
 312 % to 1.69 % and 1.10 % to 1.85 %, respectively.

313 Titanite grains from the Pitinga Granite show oscillatory zonation in some grains
 314 (figure 8a) and irregular zonation in others (figure 8b), both characterized by $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 +$
 315 $\text{ETR}_2\text{O}_3)$ content below detection limit, apart from a single point where content vary from
 316 0.35 % to 4.58 % (table 4, grain 4B-b). Al_2O_3 and Fe_2O_3 content vary from 1.04 % to 2.06 %,
 317 and 0.93 % to 2.78 %, respectively. Figure 9 contains a compositional map with the
 318 distribution of chemical elements present in titanites with oscillatory zonation, exhibiting core
 319 richer in REE, marked by the yellow region in the Ce map and a lower concentration of Al
 320 and Fe. Towards the rim of the grains, the opposite occurs.



321
 322 Figure 8. Backscattered electrons image of titanites from the Viamão Intrusive Suite: (a) e (b)
 323 Saint Hilaire Granite, e (c) e (d) Pitinga Granite.

324



325
 326 Figure 9. Titanite of the Pitinga Granite, from Viamão Intrusive Suite, showing oscillatory
 327 chemical zoning: (a) backscattered electrons image and (b), (c) and (d) compositional maps.

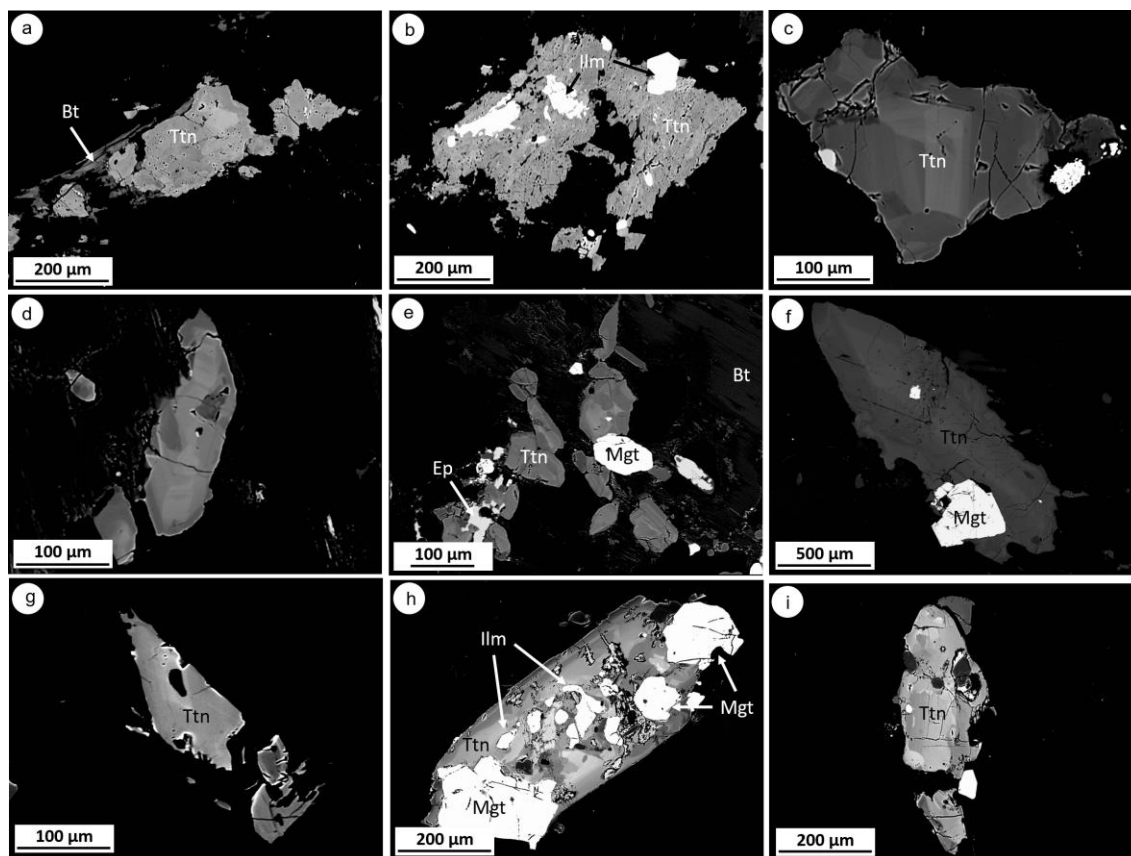
328

329 Titanite crystals from the Independência Granite are anhedral, fractured and frequently
 330 display inclusions (or are associated) to ilmenite. These show evidence of chemical zoning,
 331 controlled by the Al content, which vary from 5.62 to 11.42% (Al_2O_3), as can be seen in the
 332 darker areas of the BSE images (figure 5f and 5g). Fe_2O_3 content obtained from the analyzed
 333 samples vary from 0.35 to 0.85%, Y_2O_3 showed content varying from below the detection
 334 level to 0.50% and REE_2O_3 contents are below the detection levels or were not detected within
 335 the analyzed crystals.

336 Titanite from the Lami Granite is anhedral to subhedral, with oscillatory zonation and,
337 from time to time, irregular zonation within the same mineral grain (figures 5h and 5i). The
338 oscillatory zonation is characterized by a variation in $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ETR}_2\text{O}_3)$ content, as well as
339 by an increase in the Al_2O_3 content and decrease in $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ETR}_2\text{O}_3)$ and Fe_2O_3 contents.
340 Analyses from this granite in particular resulted in the highest content of $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ETR}_2\text{O}_3)$
341 as compared to other samples studied, varying from 0.40 % to 5.73 %, as well as significant
342 quantities of Nb_2O_5 , varying from 0.10% to 1.65% (table 5, grain 4-b). Al_2O_3 and Fe_2O_3
343 content range from 1.58% to 7.15 % and 1.03% to 3.54%, respectively.

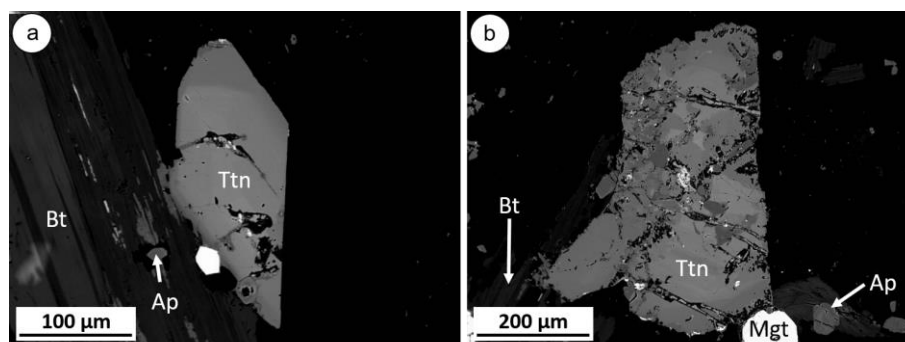
344 The São Pedro granite contains two distinct titanite populations which can be
345 distinguished by grain size. The population of larger size is mainly composed of anhedral
346 grains (figure 5o), shows a massive presence of opaque minerals (ilmenite and magnetite),
347 and ranges in size from 800 to 1200 μm . The smaller population shows a size variation ranging
348 from 150 to 200 μm (figure 5p). Both population show similar chemical composition and
349 irregular zonation. In rare cases, oscillatory zonation was also observed. The zonations are
350 marked by Fe_2O_3 content ranging from 1.22 to 6.71% and Al_2O_3 content ranging from 1.54%
351 to 3.61%. The highest Al_2O_3 content were recorded at the rim of grains, where concomitantly
352 the lowest $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ETR}_2\text{O}_3)$ content were found (sometimes reaching content below
353 detection limit). In other areas, this particular chemical proxy reach a maximum content of
354 4.22 %.

355 The São Caetano Granite also displays two distinct titanite generations: a) a primary
356 one, with large grain size (1.500 to 2.000 μm), regular- and sector- oscillatory zonation,
357 frequently corroded at the rims and richer in $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ETR}_2\text{O}_3)$, with content ranging from
358 0.14% to 4.45% (figure 5j and table 5, grain 6); b) a secondary one with smaller grains (150
359 to 200 μm), irregular oscillatory zonation, low $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ETR}_2\text{O}_3)$ content ranging from below
360 the detection level up to a maximum of 0.36% (figure 5n, table x, grain 10). Between the two
361 generations mentioned above, Fe_2O_3 contents don't show a large discrepancy, ranging from
362 1.21% to 2.59%. The Al_2O_3 , on the other hand displays a more significant amplitude between
363 populations, with content ranging from 1.21% to 2.59% in the second generation and 1.09%
364 to 1.76% in the first.



365
 366 Figure 10. Backscattered electrons image of titanites from the Porto Alegre Intrusive Suite:
 367 (a) e (b) Independência Granite, (c), (d) e (e) Lami Granite, (f) e (g) São Caetano Granite, e
 368 (h) e (i) São Pedro Granite.

369
 370 Titanites from the Santana Granite show oscillatory zonation in central and
 371 intermediary portions and irregular zonation in the rim and central areas of some grains with
 372 corrosion facets (figure 7a and 7b). These chemical zonations are defined by the contrast
 373 difference in backscattered electron images, by the Al_2O_3 content in darker areas, and Fe_2O_3
 374 and $\Sigma(\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{ETR}_2\text{O}_3)$ in lighter areas. The contents vary, respectively, from 1.55 to 5.75 %,
 375 from 0.76 to 3.23% and from 0.27 to 4.41%.



376

377 Figure 11. Backscattered electrons image of titanites from the Itapuã Intrusive Suite: (a) and
 378 (b) Santana Granite.

379

380 *Table 5. Representative analysis for titanites of the Chácara das Pedras Gneiss, Saint*
 381 *Hilaire and Pitinga Granites, from Viamão Intrusive Suite, and Independência Granite,*
 382 *from Porto Alegre Intrusive Suite.*

DataSet Grain	Chácara das Pedras Gneiss			VSI - Saint Hilaire Granite				VIS - Pitinga Granite			PAIS - Independência Granite		
	7 2-c	11 2-m	12 2-r	52 1S-c	40 1-c	41 1-m	43 1-r	55 4-c	60 4-m	62 4-r	4 1-c	7 1-m	8 1-r
P ₂ O ₅	0.03	0.06	0.05	0.06	0.09	0.09	0.07	0.13	0.06	0.04	0.04	0.30	0.05
Nb ₂ O ₅	0.40	0.30	0.06	n.d.	0.18	0.13	b.d.l.	0.26	0.15	b.d.l.	b.d.l.	0.64	0.07
SiO ₂	30.07	29.96	30.34	30.71	30.18	30.09	30.19	29.32	30.03	30.63	31.94	30.93	31.62
TiO ₂	35.24	35.57	31.37	37.27	35.42	35.22	36.68	35.23	36.43	36.17	23.12	29.95	28.19
ZrO ₂	0.05	0.04	0.01	0.01	0.07	0.08	0.04	0.11	0.04	b.d.l.	0.01	n.d.	n.d.
ThO ₂	n.d.	b.d.l.	n.d.	-	-	-	-	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.
Al ₂ O ₃	2.06	1.99	4.60	1.18	1.31	1.45	1.10	1.28	1.48	1.94	11.42	6.29	7.90
Fe ₂ O ₃	1.37	1.29	3.65	1.31	1.78	1.79	1.24	2.02	1.54	1.13	0.62	0.74	0.48
Y ₂ O ₃	0.48	0.14	n.d.	n.d.	0.48	0.31	0.05	0.55	0.10	b.d.l.	0.09	0.10	0.11
Ce ₂ O ₃	0.19	0.12	n.d.	b.d.l.	1.03	1.07	0.49	1.84	0.58	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.
La ₂ O ₃	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	0.08	0.16	0.24	0.16	0.45	0.12	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.
Pr ₂ O ₃	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	0.21	0.18	b.d.l.	0.26	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.
Nd ₂ O ₃	0.25	0.11	b.d.l.	b.d.l.	0.84	0.61	0.18	1.26	0.25	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Sm ₂ O ₃	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	n.d.	0.22	b.d.l.	b.d.l.	0.21	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.
MgO	b.d.l.	b.d.l.	1.16	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	0.06	0.08	b.d.l.
CaO	27.39	27.60	26.43	28.06	26.31	26.54	27.37	25.51	27.43	27.87	29.14	28.76	28.87
MnO	0.10	0.08	0.08	0.08	0.15	0.13	0.18	0.10	0.13	0.16	0.11	0.14	0.08
Na ₂ O	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.
F	0.44	0.42	0.47	0.35	0.23	0.29	0.36	0.27	0.52	0.70	4.43	2.27	3.06
OH _{calc}	0.59	0.56	1.90	0.36	0.61	0.61	0.31	0.61	0.35	0.26	0.00	0.22	0.00
Total	98.65	89.25	100.11	99.48	99.26	98.82	98.41	99.42	99.22	98.91	100.99	100.41	100.44
P	0.001	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.002	0.004	0.002	0.001	0.001	0.008	0.001
Nb	0.006	0.005	0.001	0.000	0.003	0.002	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.009	0.001
Si	1.001	0.998	0.986	1.009	1.013	1.011	1.008	0.996	0.997	1.010	1.011	0.997	1.013
Ti	0.883	0.892	0.767	0.921	0.895	0.890	0.921	0.900	0.910	0.897	0.551	0.726	0.680
Zr	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Th	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.081	0.078	0.176	0.045	0.052	0.057	0.043	0.051	0.058	0.075	0.426	0.239	0.298
Fe	0.034	0.032	0.089	0.032	0.045	0.045	0.031	0.052	0.038	0.028	0.015	0.018	0.012
Y	0.008	0.002	0.000	0.000	0.009	0.006	0.001	0.010	0.002	0.000	0.002	0.002	0.002
Ce	0.002	0.001	0.000	0.000	0.013	0.013	0.006	0.023	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
La	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.002	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Pr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Nd	0.003	0.001	0.000	0.000	0.010	0.007	0.002	0.015	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
Sm	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.056	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.004	0.000
Ca	0.977	0.985	0.920	0.987	0.946	0.955	0.978	0.929	0.976	0.984	0.989	0.993	0.991
Mn	0.003	0.002	0.002	0.002	0.004	0.004	0.005	0.003	0.004	0.005	0.003	0.004	0.002
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
F	0.046	0.044	0.048	0.036	0.024	0.030	0.038	0.029	0.055	0.073	0.443	0.231	0.310
OH	0.069	0.066	0.218	0.042	0.072	0.072	0.036	0.074	0.042	0.030	0.000	0.025	0.000
O	4.902	4.902	4.757	4.933	4.936	4.925	4.938	4.939	4.920	4.908	4.565	4.751	4.697
Σ F+OH+O	5.017	5.013	5.022	5.011	5.033	5.027	5.012	5.042	5.016	5.012	5.008	5.007	5.008
Σ Ca site	0.990	0.991	0.923	0.991	0.974	0.981	0.992	0.970	0.990	0.989	0.993	0.999	0.995
Σ Ti site	1.005	1.007	1.034	0.999	0.995	0.996	0.996	1.009	1.009	1.000	0.992	0.992	0.991
Σ Si site	1.002	1.000	0.987	1.010	1.016	1.013	1.010	1.000	0.999	1.011	1.012	1.005	1.014

383 c = core; m = middle; r = rim; n.a. = not analysed; n.d. = not detected; b.d.l. = below detection limit; structural
 384 formula calculated according to Franz and Spear (1985), on the basis of 3 cations, all Fe was assumed as Fe³⁺,
 385 OH and oxygen content were calculated as follow: OH = (Al + Fe³⁺) - FeO = [(Σ cargas de cátions) - OH - F]0,5.
 386

387 *Table 6. Representative analysis for titanites of the Lami, São Pedro and São Caetano*
 388 *Granites, from the Porto Alegre Intrusive Suite, and Santana Granite, from Itapuã Intrusive*
 389 *Suite.*

DataSet	PAIS - Lami Granite			PAIS - São Pedro Granite			PAIS - São Caetano Granite					IIS - Santana Granite		
	25 4B-c	23 4B-m	24 4B-r	120 4A-c	127 4A-m	132 4A-r	88 10-c	94 10-r	50 6-c	54 6-m	62 6-r	44 1C-c	43 1C-m	45 1C-r
P ₂ O ₅	0.04	b.d.l.	b.d.l.	0.07	0.05	0.05	0.06	0.07	0.14	0.09	0.05	0.05	0.05	0.04
Nb ₂ O ₅	0.52	0.50	1.65	0.22	0.51	0.12	b.d.l.	b.d.l.	0.28	0.12	0.05	0.37	0.35	0.35
SiO ₂	29.23	30.13	29.98	29.81	29.14	30.53	30.80	30.78	30.31	30.27	30.75	29.58	29.64	29.34
TiO ₂	32.69	31.48	30.10	35.17	32.30	34.97	36.72	36.20	36.83	36.43	36.13	34.11	34.15	34.57
ZrO ₂	0.13	0.01	0.04	0.08	0.06	n.d.	0.03	0.01	0.07	0.05	0.03	0.10	0.09	0.10
ThO ₂	-	-	-	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	0.11	0.11	0.06	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Al ₂ O ₃	1.85	3.25	2.78	1.74	2.45	2.48	1.52	1.78	1.11	1.44	1.64	1.58	1.61	3.13
Fe ₂ O ₃	2.80	2.80	3.54	2.28	6.71	1.70	1.65	1.75	1.44	1.73	1.61	2.69	2.73	2.48
Y ₂ O ₃	1.66	1.09	1.26	0.65	1.13	0.05	b.d.l.	b.d.l.	0.21	0.09	0.06	0.87	0.97	0.45
Ce ₂ O ₃	1.17	0.50	0.38	0.91	0.88	0.16	b.d.l.	b.d.l.	1.14	0.65	0.19	1.50	1.46	0.56
La ₂ O ₃	0.23	b.d.l.	0.08	0.20	0.15	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.35	0.21	b.d.l.	0.35	0.35	0.07
Pr ₂ O ₃	0.26	b.d.l.	0.14	0.15	0.19	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.24	0.22	0.11
Nd ₂ O ₃	0.95	0.49	0.35	0.82	0.85	0.08	b.d.l.	0.07	0.52	0.26	0.12	0.98	1.10	n.d.
Sm ₂ O ₃	0.29	0.19	b.d.l.	0.22	0.19	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.
MgO	b.d.l.	0.12	0.13	b.d.l.	0.09	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	0.13	b.d.l.	0.11	0.09	0.10
CaO	24.85	26.15	25.62	26.17	22.17	27.72	28.06	28.22	26.75	27.31	27.95	25.29	25.14	25.67
MnO	0.18	0.38	0.34	0.19	0.33	0.36	0.10	0.12	0.16	0.14	0.14	0.30	0.32	0.48
Na ₂ O	b.d.l.	0.06	0.08	b.d.l.	0.13	0.06	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.06	0.09
F	0.54	1.46	1.21	0.43	0.47	0.93	0.61	0.75	0.25	0.36	0.54	0.27	0.23	0.64
OH _{calc}	0.74	0.37	0.59	0.68	1.82	0.36	0.31	0.30	0.45	0.52	0.41	0.86	0.91	1.00
Total	98.13	98.98	98.28	99.80	99.63	99.58	99.86	100.05	100.11	99.93	99.75	99.22	99.47	99.07
P	0.001	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001
Nb	0.008	0.008	0.025	0.003	0.008	0.002	0.000	0.000	0.004	0.002	0.001	0.006	0.005	0.005
Si	1.006	1.009	1.017	0.998	0.999	1.002	1.008	1.005	1.007	0.999	1.009	1.002	1.002	0.978
Ti	0.846	0.793	0.768	0.886	0.833	0.864	0.904	0.889	0.920	0.905	0.892	0.869	0.869	0.867
Zr	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002	0.002	0.000
Th	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.075	0.128	0.111	0.069	0.099	0.096	0.058	0.069	0.043	0.056	0.064	0.063	0.064	0.123
Fe	0.073	0.070	0.090	0.057	0.173	0.042	0.041	0.043	0.036	0.043	0.040	0.069	0.069	0.062
Y	0.030	0.019	0.023	0.012	0.021	0.001	0.000	0.000	0.004	0.002	0.001	0.016	0.017	0.008
Ce	0.015	0.006	0.005	0.011	0.011	0.002	0.000	0.000	0.014	0.008	0.002	0.019	0.018	0.007
La	0.003	0.000	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.000	0.004	0.004	0.001
Pr	0.003	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.001
Nd	0.012	0.006	0.004	0.010	0.010	0.001	0.000	0.001	0.006	0.003	0.001	0.012	0.013	0.006
Sm	0.003	0.002	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.002
Mg	0.000	0.006	0.007	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.005	0.005	0.005
Ca	0.916	0.938	0.931	0.938	0.814	0.975	0.984	0.988	0.952	0.966	0.983	0.918	0.911	0.916
Mn	0.005	0.011	0.010	0.005	0.010	0.010	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.008	0.009	0.013
Na	0.000	0.004	0.005	0.000	0.009	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.006
Sum	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
F	0.058	0.154	0.130	0.046	0.051	0.097	0.064	0.078	0.026	0.038	0.056	0.029	0.025	0.067
OH	0.089	0.044	0.071	0.080	0.221	0.041	0.036	0.034	0.053	0.061	0.048	0.103	0.108	0.118
O	4.902	4.828	4.839	4.913	4.867	4.871	4.915	4.898	4.955	4.919	4.908	4.912	4.910	4.863
Σ F+OH+O	5.050	5.027	5.040	5.039	5.139	5.009	5.014	5.010	5.034	5.018	5.012	5.043	5.044	5.048
Σ Ca site	0.970	0.978	0.975	0.969	0.866	0.992	0.987	0.991	0.978	0.982	0.990	0.965	0.964	0.951
Σ Ti site	1.004	0.999	0.996	1.016	1.114	1.004	1.004	1.001	1.005	1.007	0.997	1.008	1.009	1.057
Σ Si site	1.007	1.009	1.017	1.000	1.000	1.004	1.010	1.007	1.010	1.002	1.011	1.004	1.004	0.979

390 c = core; m = middle; r = rim; n.a. = not analysed; n.d. = not detected; b.d.l. = below detection limit; structural
 391 formula calculated according to Franz and Spear (1985), on the basis of 3 cations, all Fe was assumed as Fe³⁺,
 392 OH and oxygen content were calculated as follow: OH = (Al + Fe³⁺) - F e O = [(Σ cargas de cátions) - OH - F]0,5.
 393

394 4.2 Geothermobarometry

395 4.2.1. Zircon saturation

396 The zircon saturation geothermometer was employed in eleven granites and one gneiss
 397 from the Porto Alegre region. The method was first proposed by Watson and Harrison (1983)

398 and posteriorly revised by Boehnke *et al.* (2013). Both calibrations were utilized for the
 399 temperature calculations, however only Boehnke *et al.* (2013) calibrations will be utilized in
 400 the discussion of the data obtained. The mean temperatures obtained, as well as data and
 401 parameters utilized in the calculations are summarized in table 6. The frequency distribution
 402 of the temperatures obtained can be seen in figure 10.

403 Temperatures obtained for the Chácara das Pedras Gneiss vary from a minimum value
 404 of 692 °C to a maximum of 763 °C. At the VIS, minimum and maximum temperatures are as
 405 follows: 691 to 747 °C for the Saint Hilaire Granite and 731 to 760 °C for the Pitinga Granite.
 406 At the PAIS, the Independência Granite shows minimum temperatures of 731°C and
 407 maximum of 760°C. The Feijó Granite displayed a short interval of maximum and minimum
 408 values, with values above all other studied samples, ranging from 752 to 769°C. Lami Granite
 409 shows temperatures ranging from 684 to 722 °C. The São Pedro Granite displayed minimum
 410 temperatures of 692°C and the highest maximum temperatures from the PAIS, of 722 °C. The
 411 Restinga Granite showcases the lowest temperature interval among all studied samples,
 412 ranging from 629 to 689 °C. The São Caetano Granite counts with a single sample pointing
 413 to a temperature of 741°C. At the IIS, the Santana Granite shows the highest temperature
 414 recorded among all studied samples, as well as a significant temperature interval, ranging from
 415 681 to 781 °C. The Cantagalo and Santo Antônio Granites show minimum and maximum
 416 temperatures of 694 to 740 °C, and 694 to 719 °C, respectively.

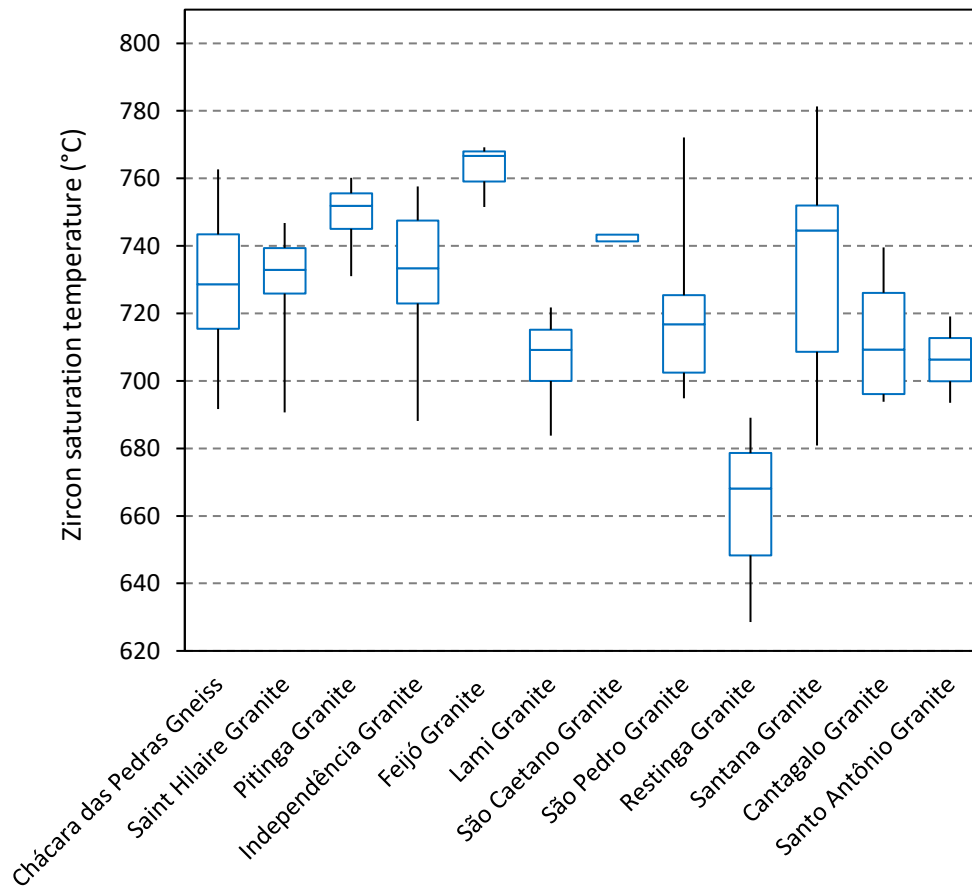
417

418 *Table 7. Mean temperatures calculated by the zircon saturation method.*

419

		n	¹ Zr (ppm)	² M	³ T °C	⁴ T °C
Chácara das Pedras Gneiss		5	204	1.84	774±10	711±19
VIS	Saint Hilaire Granite	7	167	1.50	777±29	727±31
	Pitinga Granite	4	218	1.52	798±13	747±15
PAIS	Independência Granite	6	133	1.42	770±29	720±32
	Feijó Granite	3	180	1.31	806±6	762±10
	Lami Granite	4	114	1.32	754±14	701±15
	São Pedro Granite	7	132	1.43	781±32	733±39
	Restinga Granite	3	88	1.34	719±26	662±31
	São Caetano Granite	1	145	1.34	787	741
IIS	Santana Granite	9	169	1.54	784±43	736±48
	Cantagalo Granite	4	134	1.31	770±19	719±21
	Santo Antônio Granite	2	120	1.40	757±17	706±18

420 ¹ Data retrieved from Oliveira *et al.* (2001) e Philipp *et al.* (2004) ; ² M = (Na + K + 2.Ca)/(Al.Si) ; ³Watson and
 421 Harrison (1983); ⁴ (Boehnke *et al.* (2013)).



422

423 *Figure 12. Frequency distribution of temperatures by the zircon saturation method.*

424

425 *4.2.2. Al-hornblende*

426

427 Pressure and temperature estimations using mineral chemistry data from amphiboles
 428 and plagioclases were calculated for the São Caetano Granite (PAIS), Saint Hilaire Granite
 429 (VIS), and for Chácara das Pedras Gneiss. Figure 11 shows the diagram with frequency
 430 distributions of pressure and temperatures obtained. Figure 12 is a correlation diagram for all
 431 data, while table 7 summarized mean pressure and temperature values from the core and rims
 432 of the studied grains, as well as its standard deviations and amount of data obtained in the
 433 present study. For the calculations of pressure values the calibrations put forth by Anderson
 434 and Smith (1995) and the Al-hornblende method (Hammarstrom and Zen, 1986). For the
 435 temperature estimations, the calibration based on edenite-richterite published by Holland and
 436 Blundy (1994) was used, taking into consideration the instructions detailed in Anderson
 437 (1996), since these result in temperature values that more closely resemble results from other
 thermometers.

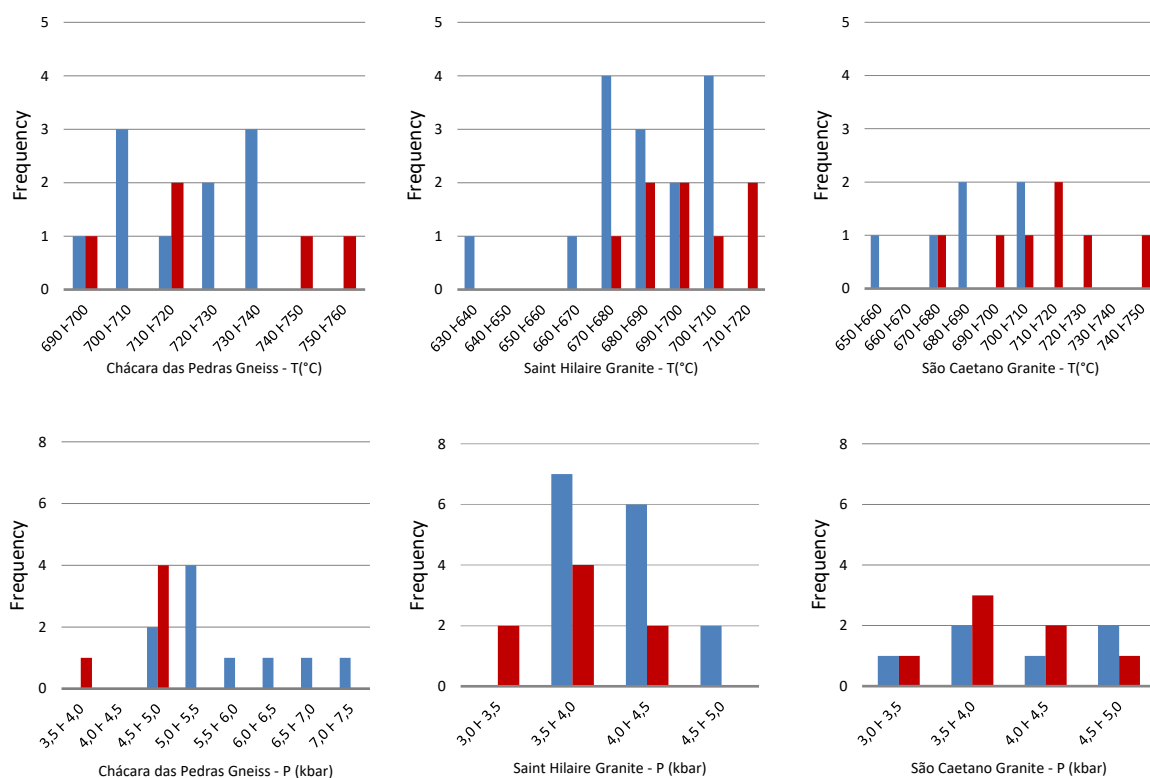
438 Pressure conditions for the Chácara das Pedras Gneiss varies from 3.4 to 3.9 kbar in
439 the core, with a peak of occurrences in the 4.5 kbar span, and 4.8 to 7.4 kbar at the rims.
440 Although rim values show a larger frequency in the 5.0 to 5.5 kbar range, a continuous
441 frequency up until the highest values of pressure obtained is observed. At the Saint Hilaire
442 Granite pressure estimations vary from 3.4 to 4.2 kbar at the core and 3.7 to 5.0 kbar at the
443 rim. In São Caetano Granite pressure values vary from 3.2 to 4.4 kbar at the core of grains,
444 with a higher frequency at the 3.5 to 4.0 kbar range. At the rim, values of 3.0 to 4.8 kbar were
445 found, without any significant difference in the observed pressure intervals. At the Saint
446 Hilaire Granite and Chácara das Pedras Gneiss, the largest pressure discrepancy between rim
447 and core was recorder. Taking into consideration solely pressure estimations obtained from
448 rim analyses, the calculated depths (table 7) for the units in question are 15 km for both
449 granites and 21 km for the gneiss. If, on the other hand, the amplitude of pressure values is
450 taken into consideration, the minimum and maximum depth for the Chácara das Pedras
451 Gneiss, Saint Hilaire Granite and São Caetano granite are: 17 to 27 km, 11 to 18 km and 11
452 to 18 km, respectively.

453

454 *4.2.3. Amphibole-plagioclase*

455 Temperatures obtained for the Chácara das Pedras Gneiss vary from 699 to 759 °C at the core
456 of grains to 698 to 739 °C at the rim. In the Saint Hilaire Granite, core estimations vary from
457 674 to 719 °C and rim values vary from 638 to 705 °C, although these mean values are highly
458 skewed by a single occurrence showing temperatures in the 630 to 640 °C range, while all the
459 other samples show temperatures above 660 °C . The São Caetano Granite exhibits
460 temperatures of 672 to 749 °C at the core and 652 to 715 °C at the rim of the mineral grains
461 in question. Comparing means values presented in table 7, the largest temperature difference
462 recorded from core to rim was of 20°C, at the São Caetano Granite. At the Chácara das Pedras
463 Gneiss and the Saint Hilaire Granite, the difference was of 8 °C and 16°C, respectively.

464



465 *Figure 13. Pressure and temperature frequency distribution of the amphiboles. The red and*
 466 *blue bars represent, respectively, the core and the rim of the grains.*

467

468 *Table 8. Pressures and temperatures by Al-hornblenda and Amphibole-plagioclase methods.*

469

	T (°C)				P (kbar)			
	n	Core	n	Rim	n	Core	n	Rim
Chácara das Pedras Gneiss	5	726 ± 24	10	718 ± 16	5	4.5 ± 0.6	10	5.7 ± 0.8
VIS - Saint Hilaire Granite	8	696 ± 16	15	680 ± 18	8	3.7 ± 0.3	15	4.0 ± 0.7
PAIS - São Caetano Granite	7	710 ± 27	6	690 ± 24	7	3.9 ± 0.4	6	4.0 ± 0.6

470

471 4.2.4. Zr-titanite

472 The Zr-titanite method (Hayden *et al.*, 2008) was utilized in titanites from the Chácara
 473 das Pedras Gneiss, the Saint Hilaire and Pitinga Granites (VIS), the Independência, Lami, São
 474 Caetano and São Pedro Granites (PAIS), and Santana Granite (IIS). Figure 12 shows the
 475 frequency distribution of temperatures obtained. The temperature calculations were carried
 476 out for a mineral assemblage containing quartz and absent of rutile, assuming $a_{TiO_2} = 0.6$.
 477 Pressure values obtained in the present work by Al content in hornblendes were utilized in the

478 calculations and extrapolated to granites belonging to the same suite. IIS contains no sample
479 with amphibole, and thus it was not possible to obtain such data. A value of 4.0 kbar, obtained
480 from other suites, was utilized in this case. The impact of ± 1.0 kbar (3.0 or 5.0 kbar) under
481 mean temperatures of 723 °C would result in a variation of ± 12 °C (711-735°C) for this
482 granite. The detection limit obtained for the quantification of the lowest Zr contents (count
483 time of 300 s) was ~30 ppm, which translates into a minimum attainable temperature of 600
484 °C, given the constants applied in the present study for pressure determinations.

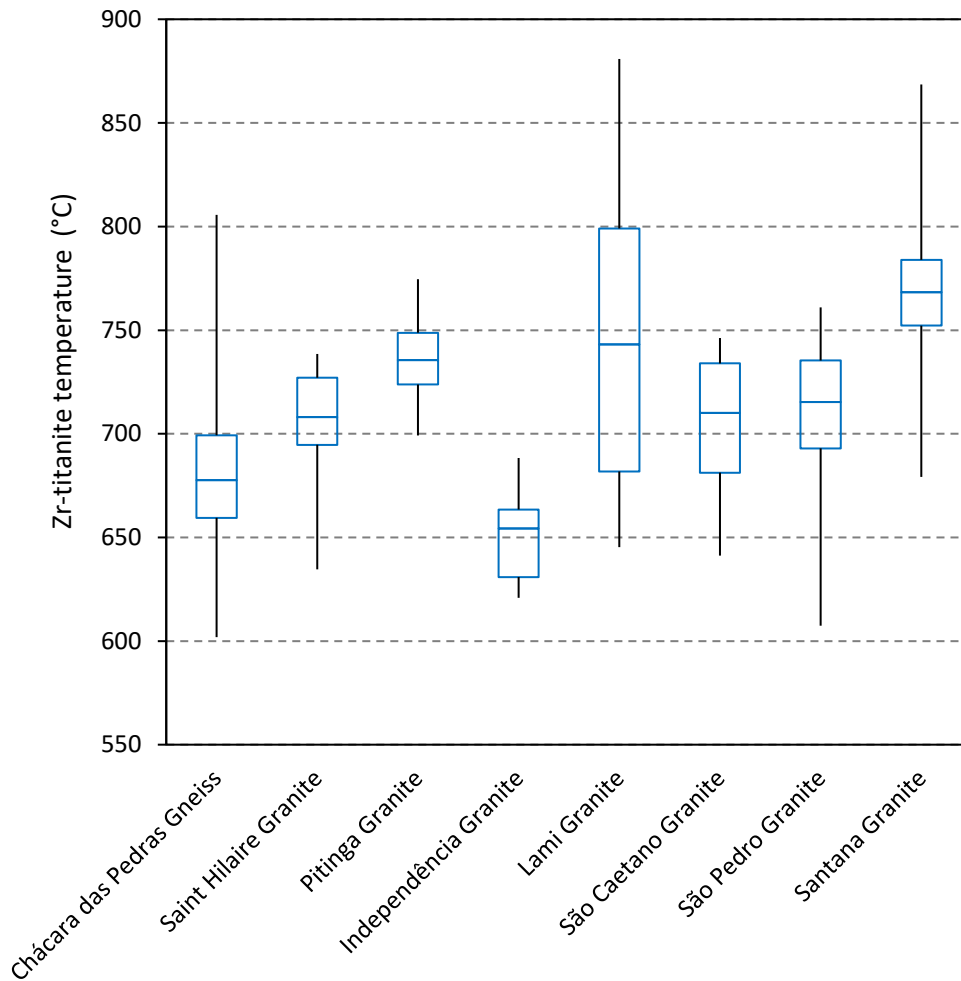
485 The **Chácara das Pedras Gneiss** titanites shows a temperature interval ranging from
486 620 to 827°C in a nucleus-rim direction. Grain core show a range of temperature spanning
487 from 697 to 827 °C. Rim zones show temperatures ranging from 620 to 719 °C, although some
488 points returned Zr contents below detection limit. The intermediary portions of titanite grains
489 exhibited temperatures ranging from 671 to 727 °C.

490 At the **Saint Hilaire Granite**, a total of 30 points were analyzed, resulting in a
491 temperature range spanning from 637 to 741 °C. At the primary titanites, the core,
492 intermediary portions and rims of the grains displayed, respectively, temperatures ranging
493 from 705 to 741 °C, 644 to 741 °C and 637 to 736 °C. Some analysis points in the rim of
494 grains contain Zr contents below the limit of detection (~70 ppm). At secondary titanites, from
495 five analyzed points, only two showed Zr contents below detection limit, thus resulting in
496 temperatures varying from 651 to 649 °C. The **Pitinga Granite** exhibits a temperature interval
497 ranging from 699 to 775 °C along all 62 points analyzed in titanite grains. The core,
498 intermediary portions and grain rims show temperatures varying from 736 to 775 °C, 699 to
499 743 °C and 714 to 762 °C, respectively. Only three studied points recorded Zr contents below
500 the detection point, one being from rim and two from intermediary areas with irregular
501 zonation (corrosion). These irregular portions recorded the lowest temperatures (703 and 708
502 °C) from temperatures retrieved in the rest of the analyzed grains (721-746 °C).

503 At the **Independência Granite**, from 52 points analyzed in 5 grains, only 8 possessed
504 Zr contents below detection limit (~30 ppm), varying from 47 to 211 ppm, representing a
505 temperature range from 620 to 688 °C. From these 8 points, 4 are at central grain regions, 1
506 from intermediary area and 2 from grain rims. Temperatures estimated for this granite do not
507 seem to show any apparent relation to the location where analysis points were placed, nor to
508 its zonations. The **Lami Granite** shows a temperature interval ranging from 645 to 881 °C in
509 the 39 analyzed points, where it is possible to identify at least three distinct events: (1)
510 crystallization of primary titanites as inclusions in plagioclases, (2) secondary titanites
511 associated to biotite breakdown and (3) an event posterior to the temperature decrease

512 responsible for corroding central portions and crystallizing irregular rims in primary and
513 secondary grains. Mineral grains included within plagioclases recorded the highest
514 temperatures, ranging from 802 to 881 °C, at grain core and 716 to 798 °C, in intermediary
515 and rim areas. Titanites associated to biotite breakdown show temperatures varying from 744
516 to 770 °C in the core and 682 to 707 °C at the rim. Central areas, as well as irregular rims
517 revealed temperatures ranging from 648 to 693 °C. At the **São Caetano Granite**, the
518 temperature interval recorded for the 63 analyzed points ranges from 641 to 740 °C. Primary
519 titanites show core, intermediary and rim values varying from 725 to 740 °C, 700 to 725 °C
520 and 661 to 704 °C. Temperatures below 700 °C were obtained from rim points with corrosion
521 features. Secondary titanites show in both core and intermediary portions temperature values
522 ranging from 641 to 704 °C, similar to values obtained from rim points with corrosion features
523 in primary titanites. The 6 points analyzed in the rim section of these grains revealed Zr
524 content below the limit of detection. At the **São Pedro Granite** values obtained from the 92
525 analyzed points resulted in a temperature spectrum ranging from 607 to 761 °C. Among the
526 two titanite generations identified, larger grains exhibited the largest temperature values and
527 were massively associated to opaque minerals. These grains recorded temperatures ranging
528 from 713 to 761 °C along the core and intermediary sections of the grains with irregular
529 zonation. In all studied grains, two low-temperature regular zones, with values ranging from
530 701 to 711 °C and 607 to 677 °C occur. In the latter zone, a total of 4 points also showed Zr
531 content below detection limit (temperatures <600 °C). A second generation, with smaller grain
532 size, shows temperature values of 705 to 714 °C in the core, and 637 to 693 °C. These
533 temperatures resemble values estimated from rim zones in larger titanite grains.

534 At the **Santana Granite**, titanite grains record temperatures that range from 611 to
535 781 °C in the 59 points analyzed. Core, intermediary sections and mineral grain rims point to
536 temperatures ranging from 739 to 781°C, 730 to 748 °C and 713 to 720 °C, respectively.
537 Additionally, some grains record the event that crystallized the rims and corroded the central
538 parts of mineral grains, as evidenced by the lower temperature estimations ranging from 611
539 to 655 °C, possibly related to the breakdown of biotite. In these portions, 4 points analyzed
540 returned Zr content below detection limit (30 ppm).



541

542 *Figure 14. Frequency distribution of the temperatures obtained by the Zr on titanite method.*

543

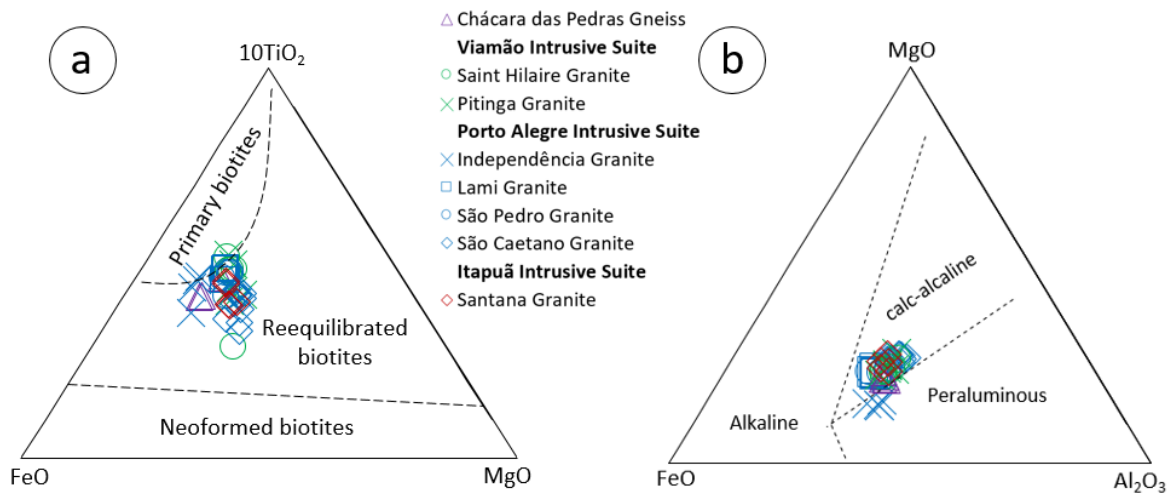
544 **5 Discussion**

545 Tables 9 and 10 show a summary of mineral chemistry and geothermobarometry data
 546 obtained, as well as interpretation and integration of geochronological data published for the
 547 study region. Chemical and geotectonic interpretations based on data obtained from biotites
 548 (figure 15), amphiboles (figures 16 and 17) and titanites (figures 17 to 20), along with a
 549 geotectonic model proposed for the region (figure 21) are also presented.

550 Based upon TiO_2 , FeO and MgO content, biotites can be classified as primary,
 551 reequilibrated primary and secondary, according to the diagram put forth by Nachit *et al.*
 552 (2005). All analyzed samples show mainly reequilibrated primary biotites falling closely to
 553 the field of primary biotites (figure 15a). The Independência, Saint Hilaire and Pitinga
 554 Granites show few points that can be characterized as primary biotites. The identification of
 555 a magmatic series based upon FeO , MgO and Al_2O_3 proposed by Abdel-Rahman (1994),

556 points to a peraluminous suite for the Independência Granite biotites and a calc-alkaline suite
 557 for the rest of the studied samples (figure 15b).

558

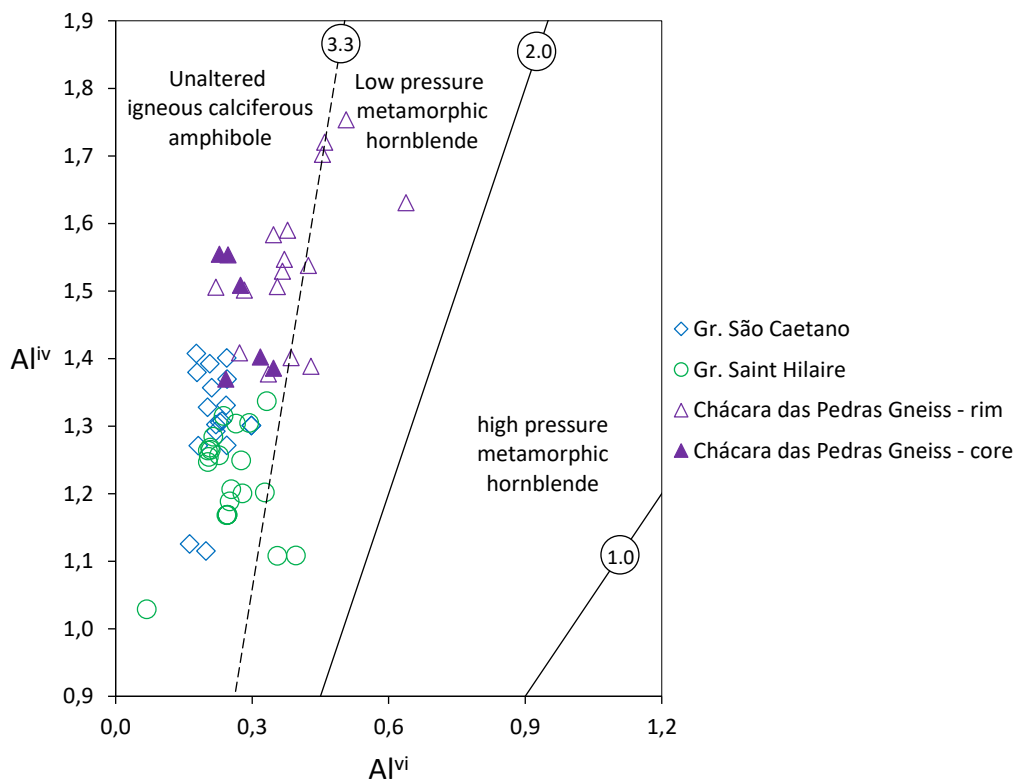


559

560 *Figure 15. Discrimination diagram of the biotite: (a) in primary and secondary from Nachit*
 561 *et al. (2005) and (d) magmatic series from Abdel-Rahman (1994).*

562

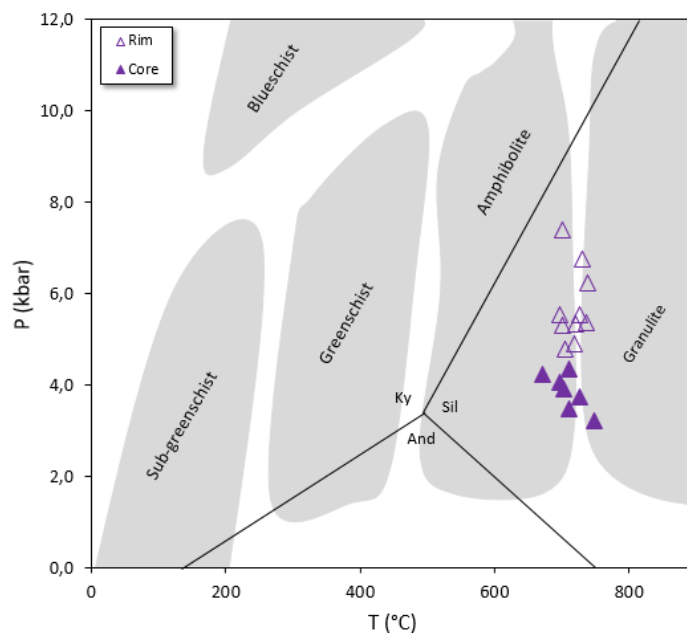
563 The mineral chemistry analyses carried out in amphiboles revealed a placement depth
 564 of 11 to 18 km (Saint Hilaire and São Caetano Granites), under pressures ranging from 3.4 to
 565 5.0 kbar. Previously obtained pressure data for the Saint Hilaire Granite, as published by
 566 Oliveira *et al.* (2001), fall within the range of 2.0 to 4.0 kbar, utilizing the calibration of
 567 Schimdt (1992). The Chácara das Pedras gneiss shows an interval ranging from 12 to 28 km
 568 and heterogeneous depth estimations, with analyses in crystal rims pointing to larger
 569 placement depths than in central areas of the studied grains. In the diagram of Fleet and Barnett
 570 (1978), which distinguishes rocks of igneous, low-pressure metamorphic and high-pressure
 571 metamorphic origins based on the Al^{iv} and Al^{iv} content (figure 16), samples from the Chácara
 572 das Pedras Gneiss plot in the fields of igneous and low-pressure metamorphism. Study points
 573 derived from the core of grains trend towards an igneous origin in the diagram, while grain
 574 rim evaluated points indicate both igneous and low-grade metamorphism (figure 5b). This
 575 signature can be interpreted as a preserved igneous origin in the core of amphibole grains.
 576 Figure 17 shows the diagram of metamorphic facies in relation to geothermobarometric data
 577 from amphiboles derived from the Chácara das Pedras Gneiss, which are placed in the limit
 578 between amphibolite and granulite facies.



579

580 Figure 16: *Discrimination diagram of the calcic amphiboles of Fleet and Barnett*581 *(1978).*

582



583

584 Figure 17. Metamorphic facies diagram showing the P-T estimates for Chácara das Pedras

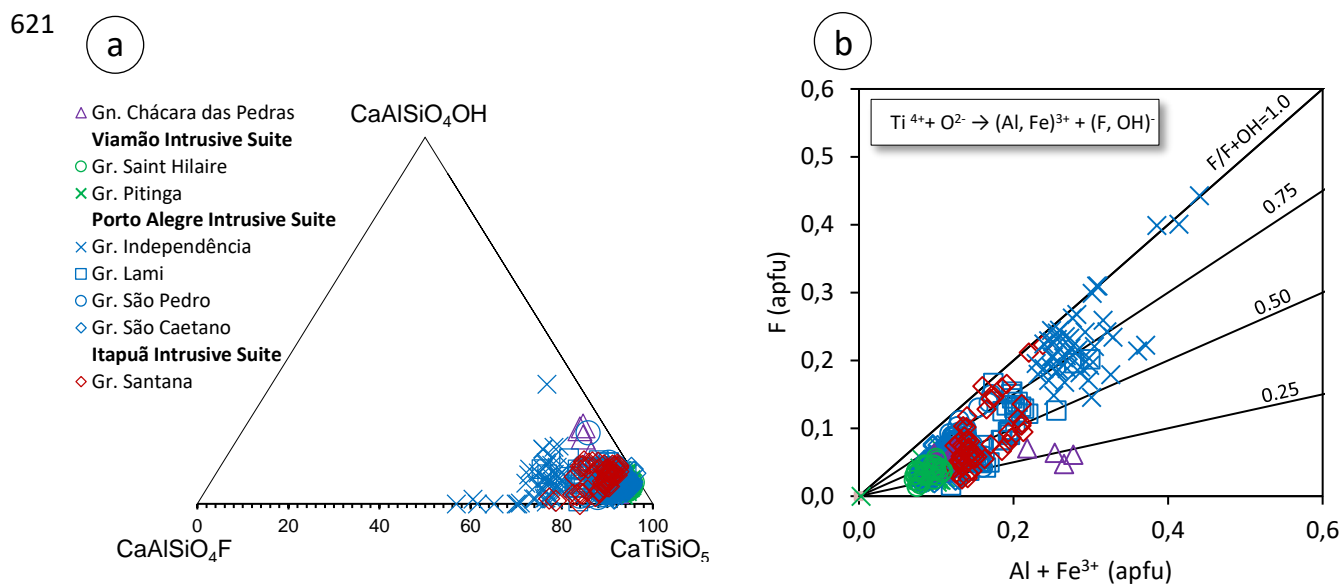
585 Gneiss, based on the mineral chemistry of amphibole, modified from Bucher and Grapes

586 (2011). Ky = kyanite; Sil = sillimanite; And = andalusite.

587 Temperatures obtained by means of the zircon saturation method mark the beginning
 588 of zircon crystallization from magma. For samples of both gneiss and granite from the Porto
 589 Alegre region, calculated using the calibration of Boehnke *et al.* 2013), estimated
 590 temperatures range from 689 to 781°C. Previously estimated temperatures presented by
 591 Oliveira *et al.* (2001) recorded values above 750-800°C. These, in turn, were obtained by
 592 means of the calibration put forth by Watson and Harrison (1983).

593 Zr-titanite geothermobarometry data obtained from the studied samples point to a
 594 temperature of crystallization for primary titanites ranging from 700 to 880°C. Temperatures
 595 below 700°C were interpreted as secondary titanites related to corrosion from primary grains
 596 or as a result of biotite breakdown. Maximum temperatures derived from the zircon saturation
 597 method are, in general, higher than estimations from other thermometer. Only the Lami
 598 Granite and the Santana Granite do not concur to this tendency, showing higher maximum
 599 temperatures derived from the Zr-titanite method (>850°C) as opposed to the zircon
 600 saturation method. These temperatures may be overestimated, however, since the studied
 601 grains may have crystallized before the presence of zircon, thus not satisfying an important
 602 premise for the utilization of this particular thermometer ($a_{ZrSiO_4} = 1$). Temperatures
 603 obtained by means of the amphibole-plagioclase method resulted in lower temperatures in
 604 relation to other utilized methods.

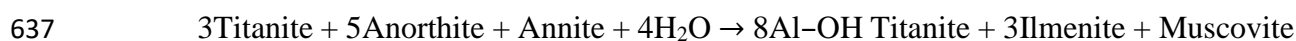
605 Irregular grain rims enriched in Al and depleted in REE are commonly observed in the
 606 analyzed granites. This pattern also can be observed in irregular central areas within titanites
 607 from the Lami and Santana Granites. Such features (grain rims and central corrosion features
 608 enriched in Al) were also reported by Garber *et al.* (2017) and Pan *et al.* (1993). Titanites from
 609 the Independência Granite showed high Al₂O₃ values (up to ~ 11%), close to the highest
 610 content found in eclogite samples (~14% Al₂O₃; Franz and Spear, 1985). They exhibit an
 611 anomalous Al content and the highest Al and F content from all analyzed granites, which
 612 correspond to a X_{Al} of 0.22 to 0.44, and 1.4 to 4.43 % of F. The variability of these titanites
 613 in the CaTiSiO₅ – CaAlSiO₄(OH) – CaAlSiO₄(F) end-members is shown in the diagram
 614 present in figure 18a. The majority of points shows content larger than 70% of the CaTiSiO₅
 615 end-member. Nonetheless, CaAlSiO₄F and CaAlSiO₄OH reach maximum content of 43%
 616 and 16%, respectively. Figure 18b shows the correlation of F to Al and Fe³⁺, with the
 617 following substitution mechanism proposed to account for the incorporation of these elements
 618 in the chemical structure: $Ti^{4+} + O^{2-} \rightarrow (Al, Fe)^{3+} + (F, OH)^{-}$ (Enami *et al.*, 1993). The position
 619 along the F/(F + OH) lines show that aside from F, the OH⁻ ion also plays an important role
 620 in the proposed mechanism.



622 Figure 18. Compositional plot for titanites (Enami *et al.*, 1993; Franz and Spear, 1985): (a)
 623 $\text{CaTiSiO}_5 - \text{CaAlSiO}_4(\text{F}) - \text{CaAlSiO}_4(\text{OH})$ components and (b) plot of F vs. $(\text{Al} + \text{Fe}^{3+})$
 624 showing different constant ratios of $\text{F}/(\text{F} + \text{OH})$.

625

626 The influx of Al in the crystal structure of titanite can be favored by a decrease in
 627 temperature under conditions of high a_F , high $f_{\text{H}_2\text{O}}$ and low f_{CO_2} (Franz and Spear, 1985). A
 628 second hypothesis for a high Al content in titanites is crystallization under elevated pressures
 629 (Enami *et al.*, 1993; Tropper *et al.*, 2002). Prowatke and Klemme (2005), however, by means
 630 of empirical experiments demonstrated that the Al content in titanites bears sole correlation
 631 to the absolute Al content in the liquid, thus being independent of substitution mechanisms
 632 which incorporate elements such as REEs, Nb, Ta and Th. McLeod *et al.* (2011) suggests that
 633 anhedral titanites lacking crystallographic control or associated to fractures and/or grain rims
 634 went through post sub-solidus modifications associated to the introduction of fluids Broska *et*
 635 *al.* (2007) associate Al enrichment in titanites to the alteration of primary titanites
 636 accompanied by plagioclase sericitization, according to the equation below:

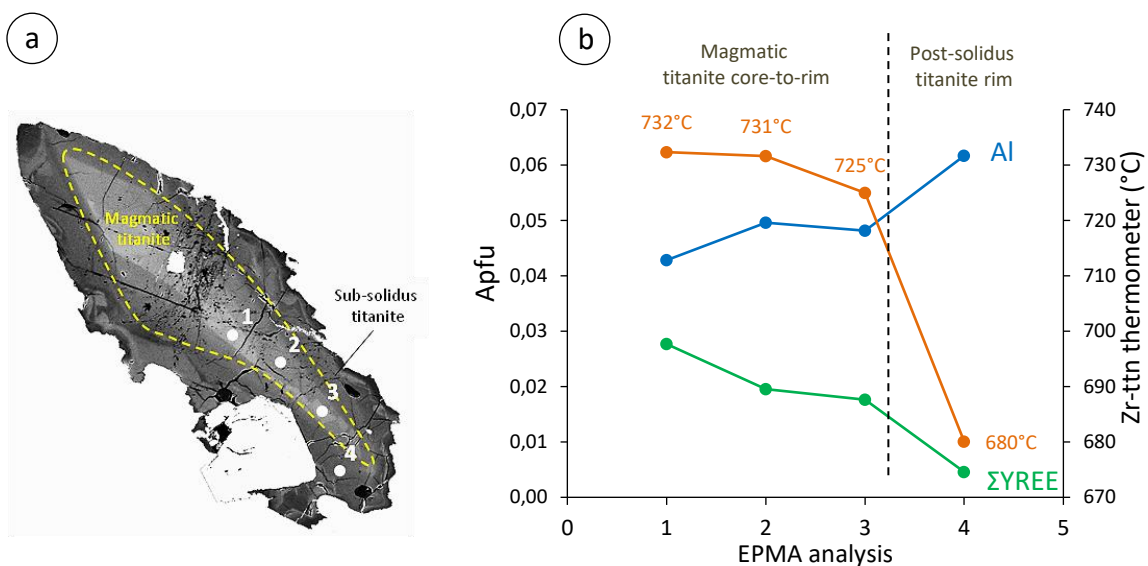


638 The integration of mineral chemistry and geothermobarometric data from titanites
 639 derived from all studied granites makes evident the relation between Al content and a decrease
 640 in temperature. All zones where Al-enrichment was observed, the lowest temperature
 641 estimations were recorded (both in crystal rims and in central, irregular sections of the grains,
 642 possibly related to corrosion of the original crystal). The opposite, however, cannot be
 643 contended. At the Pitinga Granite, irregular zones in intermediary portions of the studied

644 grains (corrosion) revealed low temperatures without any alteration in the content of Al. A
 645 variation in the content of Σ YREE was noted, however. Figure 19 shows the relation between
 646 a magmatic and post-magmatic origin to temperature and Al, Fe and Σ YREE content (apuf)
 647 in titanites from the São Caetano Granite. This mineral shows a higher temperature magmatic
 648 core (725 to 732°C) enriched in Σ YREE and Al-enriched rims marked by post-magmatic
 649 corrosion features under lower temperatures. It is noted that temperature is not conditioned by
 650 changes in the content of these elements in the region of magmatic origin. Even though
 651 fluctuations in the concentrations of Al and Σ YREE takes place, temperatures follow a trend
 652 of progressively lower content towards the border of crystals. This behavior was also observed
 653 in titanites derived from other studied granites.

654 A large number of the studied granites contained secondary titanite associated to the
 655 breakdown of biotite. In the Saint Hilaire, Santana and São Caetano granites, these titanites
 656 are chemically characterized by a depletion in YREE, in agreement with the results presented
 657 by Morad *et al.* (2009) and Uher *et al.* (2019), as well as lower temperatures as compared to
 658 primary titanites.

659



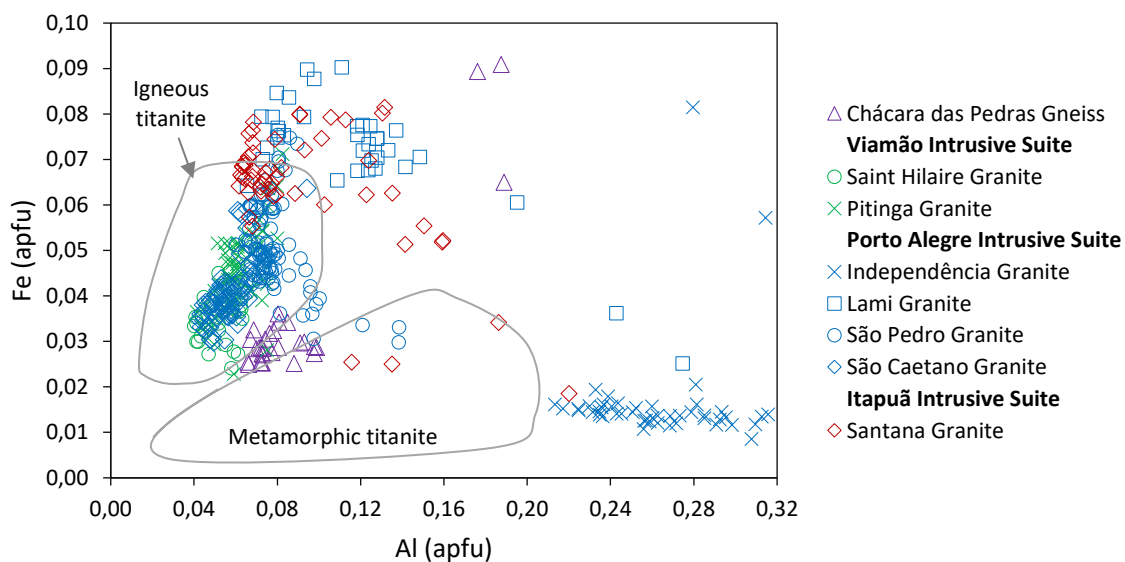
660 Figure 19: Relationship of Al, Fe and Σ YREE with temperature and magmatic and post-
 661 magmatic processes in titanite: (a) BSE image with points of chemical analysis of titanite from
 662 São Caetano Granite, with magmatic core and sub-solidus rim, and (b) evolution of the titanite
 663 composition with cooling in the magmatic and sub-solidus zones.

664

665 The presence of ilmenite and magnetite inclusions within titanites, as well as
 666 crystallization of titanites involving these minerals may indicate changes in f_{O_2} and in the

667 fluids (René, 2007). This change in f_{O_2} can also influence the concentration of REEs (Piccoli
 668 *et al.*, 2000) via the following mechanism of substitution: $REE^{3+} + Fe^{3+} \leftrightarrow Ca^{2+} + Ti^{4+}$. At the
 669 São Pedro Granite this influence is evidenced by the alternation of inclusions in the core of
 670 grains (figure 10h) and REE and Fe enriched and depleted zones.

671 Titanites can be also differed as to its origin by means of Al vs Fe contents, separating
 672 fields of igneous and metamorphic origin, according to the discrimination diagram presented
 673 in figure 20 (after Kowallis *et al.*, 1997; Mohammad and Maekawa, 2008; Ng *et al.*, 2016).
 674 Titanites from the Saint Hilaire, Pitinga, Lami, São Pedro and São Caetano Granites fall within
 675 the field of igneous titanites, while the ones present in the Chácara das Pedras Gneisse falls
 676 within the field of metamorphic origin. The Independência Granite does not resemble the
 677 composition of any field proposed in this diagram, showing Al contents higher than the
 678 metamorphic field and Fe contents inferior to igneous titanites. Granites that plot outside the
 679 igneous field are due to secondary titanites.



680

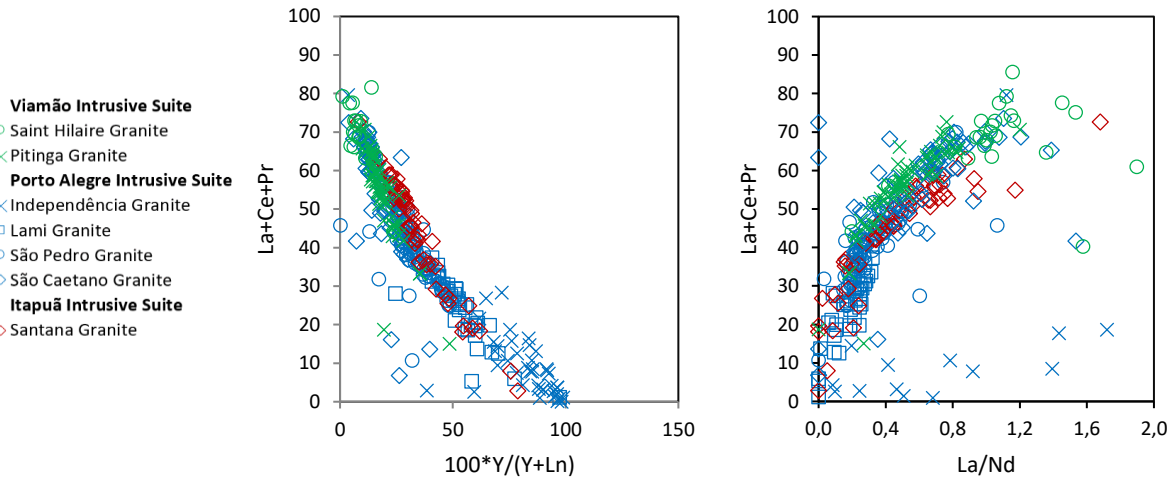
681 Figure 20. Discrimination diagram Fe versus Al for titanites (after Kowallis *et al.*, 1997;
 682 Mohammad and Maekawa, 2008; Ng *et al.*, 2016).

683

684 The diagrams proposed by Fleischer (1978) in figure 21 were utilized to investigate a
 685 possible relationship between the studied granites. These correlate the sum of La + Ce + Pr
 686 with the ratio of $Y/(Y+Ln)$ (where Ln is the sum of all REE) and with La/Nd in titanite. In
 687 both diagrams, the studied granites show a noticeable trend. The granites from the VIS plot in
 688 the region of the graph with higher concentrations of La, Ce and Pr and depletion in Y,
 689 overlapping in this region of the diagram. In the La/Nd graph, the Saint Hilaire Granite shows

690 higher values than the Pitinga Granite. In the PAIS, granites occur throughout the whole curve
 691 of both trends in the same sequence: São Caetano, São Pedro, Lami e Independência. The
 692 Santana Granite shows intermediary values. This data, in turn, agrees with the separation of
 693 the granites in the suites proposed by Oliveira *et al.* (2001).

694



695 Figure 21. La+Ce+Pr vs. $100 \cdot Y / (Y + Ln)$ and La+Ce+Pr vs. La/Nd plot for the post-
 696 transcurrent granites titanites, modified from Fleischer (1978). Ln = La + Ce + Sm + Nd + Pr.

697

698 Based on the geothermobarometric data obtained from different methods in the present
 699 work, as well as geochemical, petrographic, and field data published by Oliveira *et al.* (2001),
 700 a model for the placement of the granitic bodies in the region is proposed (figure 22). The
 701 three intrusive suites were positioned according to the pressures derived from the Al-
 702 hornblende method, along with field criteria. In the Viamão Intrusive Suite, the Pitinga
 703 Granite was placed at a higher depth than the Saint Hilaire Granite, due to higher temperatures
 704 inferred from the zircon saturation and Zr-titanite methods. In the Porto Alegre Intrusive Suite,
 705 the São Caetano Granite was the only unit to count with pressure estimations, while the other
 706 granites from the suite were positioned utilizing the temperature range of the geothermometer
 707 data. Some type of interaction during the placement event of the Independência Granite with
 708 pelitic xenoliths is inferred due to the peraluminous nature of the biotites and titanites. In the
 709 Itapuã Intrusive Suite, the Santana granite was the only unit to bear a temperature estimation.
 710 Although the data pointed to higher temperatures, this unit is argued to have been placed in
 711 shallower depths due to epizone features observed in outcrop (e.g. miarolitic cavities, cf.
 712 Oliveira *et al.*, 2001).

713

714 Table 9: Summary of mineral chemistry, geothermobarometry and geochronology data for
 715 Chácara das Pedras Gneiss.

716

Chácara das Pedras Gneiss		
Plagioclase		
An (%)	29 - 45	
Deer <i>et al.</i> (1992)	Andesine	
Biotite		
Fe/Fe + Mg	0,54 - 0,55	
Al ^{iv} (apfu)	2,25 - 2,30	
Foster (1960)	Fe-biotite/Mg-biotite	
Amphibole		
Mg/Mg + Fe ²⁺	0,54 - 0,58	0,53 - 0,60
Si (apfu)	6,45 - 6,63	6,25 - 6,62
Al _{total} (apfu)	1,61 - 1,80	1,68 - 2,26
Leake <i>et al.</i> (1997)	Fe-hornblende	Fe-tschermakite
Titanite		
Al ₂ O ₃ (Wt%)	1,68 - 4,95	
Fe ₂ O ₃ (Wt%)	0,97 - 4,18	
F (% peso)	0,35 - 0,68	
Σ(YETR ₂ O ₃) (Wt%)	0,07 - 0,92	
Geothermobarometers		
T Sat-zir (°C)	692 - 763	-
T Zr-titanita (°C)	-	646 - 727
T Amp-pl (°C)	710 - 760	690 - 760
P Al-hbl (kbar)	3,4 - 3,9	4,8 - 7,7
Depth (km)	12 - 14	18 - 28
Event		
	Crystallization	Metamorfism
*Age (Ma)	777,3 ± 3,6	650

*Koester *et al.* (2016).

717

718

719

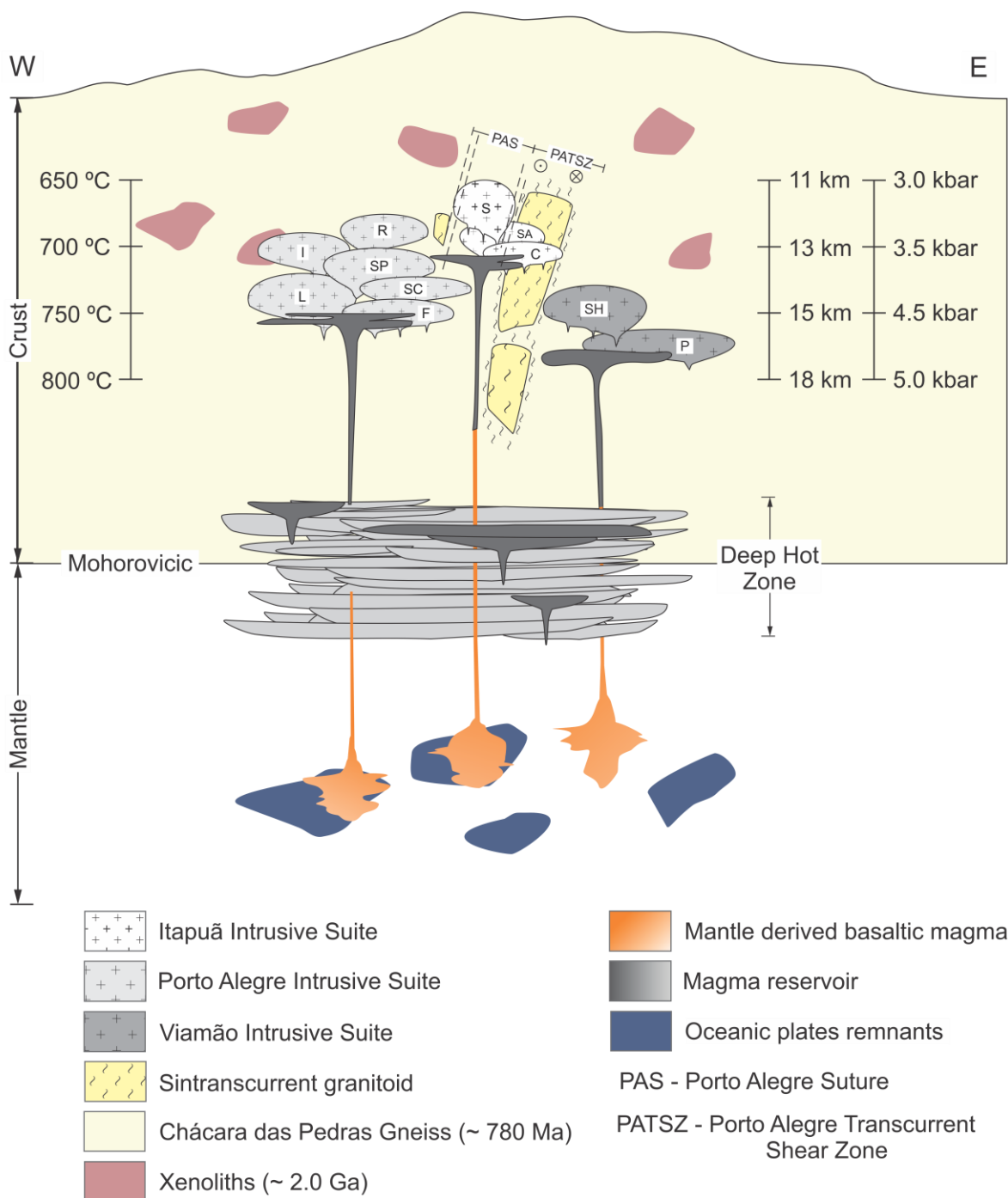
Table 10: Summary of mineral chemistry, geothermobarometry and geochronology data for the post-transcurrent granites.

	Viamão Intrusive Suite		Porto Alegre Intrusive Suite					Itapuã Intrusive Suite			
	Pitinga	Saint Hilaire	Independência	Lami	São Pedro	São Caetano	Feijó	Restinga	Santana	Cantagalo	Santo Antônio
Plagioclase											
An (%)	17 - 43	18 - 38	20 - 43	5 - 18	13 - 24	22 - 39			0,4 - 8		
Deer <i>et al.</i> (1992)	oligoclase- andesine	oligoclase- andesine	oligoclase- andesine	albite- oligoclase	Oligoclase	oligoclase- andesine			Albite		
Biotite											
Fe/Fe + Mg	0,49 - 0,54	0,48 - 0,53	0,63 - 0,66	0,51 - 0,53	0,51 - 0,52	0,44 - 0,47			0,46 - 0,51		
Al ^{iv} (apfu)	2,36 - 2,45	2,30 - 2,35	2,41 - 2,46	2,27 - 2,32	2,26 - 2,33	2,30 - 2,40			2,09 - 2,28		
Foster (1960)	Mg-biotite	Mg-biotite	Fe-biotite	Mg-biotite	Mg-biotite	Mg-biotite			Mg-biotite		
Anphibole											
Mg/Mg + Fe ²⁺		0,53 - 0,70				0,56 - 0,63					
Si (apfu)		6,66 - 6,97				6,59 - 6,87					
Al _{total} (apfu)		1,10 - 1,70				1,29 - 1,64					
Leake <i>et al.</i> (1997)		Mg- hornblende				Mg- hornblende					
Titanite											
Al ₂ O ₃ (Wt%)	1,04 - 2,06	1,18 - 1,69	0,21 - 0,43	1,58 - 7,15	1,04 - 2,06	1,09 - 1,76			0,00 - 0,22		
Fe ₂ O ₃ (Wt%)	0,93 - 2,78	1,10 - 1,85	0,35 - 5,26	1,03 - 3,54	0,93 - 2,78	1,23 - 2,31			0,76 - 3,23		
F (% peso)	0,19 - 0,70	0,34 - 0,45	1,44 - 4,43	0,16 - 1,96	0,19 - 0,70	0,18 - 0,71			0,23 - 4,60		
Σ(YETR ₂ O ₃) (Wt%)	b.d.l. - 4,58	b.d.l. - 2,94	0,05 - 0,50	0,40 - 5,73	b.d.l. - 4,58	0,14 - 4,45			0,27 - 4,41		
Geothermobarometers											
T Sat-zir (°C)	731 - 760	691 - 747	688 - 760	684 - 722	695 - 772	741	752 - 769	629 - 689	681 - 781	694 - 740	694 - 719
T Zr-titanite (°C)	699 - 775	653 - 700	620 - 688	645 - 881	607 - 761	641 - 746			611 - 781		
T Amp-pl (°C)		698 - 759				652 - 749					
P Al-hbl (kbar)		3,4 - 5,0				3,2 - 4,8					
Depth (km)		12 - 18				11 - 18					
Age (Ma)		*604,8 ± 4,3							**600 ± 10		

*Koester *et al.* (2008); ** Koester *et al.* (2001); b.d.l. = below detection limit; apfu = atoms per formula unit.

720

721



722
 723 Figure 22: Geological model proposed for the northeast of the Dom Feliciano Belt, during the
 724 intrusion of the post-transcurrent granites (600 Ma), based on Annen *et al.* (2006) e Bryan *et*
 725 *al.* (2010) models; VIS: SH = Saint Hilaire Granite, P = Pitinga Granite; PAIS: I =
 726 Independência Granite, L = Lami Granite, F = Feijó Granite; SP = São Pedro Granite, SC = São
 727 Caetano Granite; R = Restinga Granite; IIS: S = Santana Granite, SA = Santo Antônio Granite
 728 and C = Cantagalo Granite.

729

730

731 **6 Conclusions**

732

733 The mineral chemistry and geothermobarometry study carried out in the Chácara das
734 Pedras Gneisse and the post-transcurrent granites from the Porto Alegre region allowed for
735 discussions regarding the placement of these granites in a continental crust dominated by
736 gneisses.

737 Plagioclase composition varies from an oligoclase-andesine end-member in the Viamão
738 Intrusive Suite, to an albite-andesine in the Porto Alegre Intrusive suite and an albite end-
739 member in the Itapuã Intrusive Suite. The plagioclase found in Chácara das Pedras Gneiss
740 shows andesine composition.

741 Chemical data retrieved from the biotites from the Chácara das Pedras Gneiss points to
742 a variation between Fe-biotite to Mg-biotite end-members. The granites, with the exception of
743 the Independência Granite which shows a Fe-biotite composition, point to a reequilibrated Mg-
744 biotite composition. In terms of the distinction between magmatic series, the Independência
745 Granite falls within the peraluminous granite field, whereas the rest is placed within the calc-
746 alkaline granite series.

747 The amphibole composition in the Chácara das Pedras Gneiss showed a variation from
748 Fe-hornblende to Fe-Tschermakite in a core-border direction. The Saint Hilaire Granite and São
749 Caetano granite showed Mg-hornblende end-members. Geothermobarometry from amphibole
750 mineral chemistry recorded temperatures ranging from 659 to 759°C and pressures from 3,2 to
751 5,0 kbar, with placement depths spanning from 11 to 18 km. Amphibole from the Chácara das
752 Pedras Gneisse recorded a change in pressure conditions interpreted as related to an igneous
753 grain core (with temperatures ranging from 710 to 760°C, pressures from 3,4 to 3,9 kbar and a
754 placement depth of 12 to 14 km) and a metamorphic border (temperatures of 690 to 760 °C,
755 pressures of 4,8 to 7,7 kbar and depth ranging from 18 to 28 km).

756 Mineral chemistry from titanites and temperatures obtained from the Zr content
757 recorded events ranging from 607 to 881 °C, which along with petrographic observations, point
758 to a magmatic (oscillatory and sector zonations) and post-magmatic (corrosion and
759 reprecipitation of titanites, biotite breakdown leading to precipitation of minerals, rims or
760 irregular zones within low-temperature grains, with chemical signatures distinct from magmatic
761 minerals).

762 In the Porto Alegre region the 777 Ma gneissic crust went through and event of
763 metamorphism around 660 Ma, under amphibolite facies conditions. This crust, in turn, was
764 intruded by a number of granites, represented by the three suites displaying similar

765 crystallization conditions, around 650 to 880 °C, pressures of 3 to 5 kbar and a depth of around
766 11 to 18 km. These granites symbolize and important post-transcurrent magmatic event that
767 took place in the northeast portion of the Dom Feliciano Belt.

768

769 **References**

770

771 Abdel-Rahman, A. M., 1994. Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline, and

772 Peraluminous Magmas. *Journal of Petrology*, 35(2), 525–541.

773 Alves, A., Janasi, V. de A., Campos Neto, M. da C., 2016. Sources of granite magmatism in
774 the Embu Terrane (Ribeira Belt, Brazil): Neoproterozoic crust recycling constrained by
775 elemental and isotope (Sr-Nd-Pb) geochemistry. *Journal of South American Earth
776 Sciences*, 68, 205–223.

777 Anderson, J. L., 1996. Status of thermobarometry in granitic batholiths. *Transactions of the
778 Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 87(1–2), 125–138.

779 Anderson, J. L., Smith, D. R., 1995. The effects of temperature and f_{O_2} , on the Al-in-
780 hornblende barometer. *American Mineralogist*, 80, 549–559.

781 Annen, C., Blundy, J. D., Sparks, R. S. J., 2006. The genesis of intermediate and silicic
782 magmas in deep crustal hot zones. *Journal of Petrology*, 47(3), 505–539.

783 Bitencourt, M. de F., Nardi, L. V. S., 2000. Tectonic setting and sources of magmatism
784 related to the southern brasilian shear belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1), 184–
785 187.

786 Boehnke, P., Watson, E. B., Trail, D., Harrison, T. M., Schmitt, A. K., 2013. Zircon saturation
787 re-revisited. *Chemical Geology*, 351, 324–334.

788 Broska, I., Harlov, D., Tropper, P., Siman, P., 2007. Formation of magmatic titanite and
789 titanite-ilmenite phase relations during granite alteration in the Tribeč Mountains,
790 Western Carpathians, Slovakia. *Lithos*, 95(1–2), 58–71.

791 Bryan, S. E., Peate, I. U., Peate, D. W., Self, S., Jerram, D. A., Mawby, M. R., Marsh, J.S.,
792 Miller, J. A., 2010. The largest volcanic eruptions on Earth. *Earth-Science Reviews*,
793 102(3–4), 207–229.

794 Bucher, K., Grapes, R. H., 2011. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer-Verlag, Berlin,
795 pp. 428p.

796 Camozzato, E., Philipp, R. P., Laux, J. H., Chemale Jr., F., Iglesias, C. M. da F., 2016.

797 Batólito Torquato Severo e a colagem dos Terrenos Taquarembó e São Gabriel, RS. In

- 798 48° Congresso Brasileiro de Geologia (p. 846). Porto Alegre: Anais do 48° Congresso
799 Brasileiro de Geologia.
- 800 Chemale, F., Mallmann, G., Bitencourt, M. de F., Kawashita, K., 2012. Time constraints on
801 magmatism along the Major Hercino Shear Zone, southern Brazil: Implications for West
802 Gondwana reconstruction. *Gondwana Research*, 22(1), 184–199.
- 803 Corrie, S. L., Kohn, M. J., Vervoort, J. D., 2009. Young eclogite from the Greater Himalayan
804 Sequence, Arun Valley, eastern Nepal: P–T–t path and tectonic implications. *Earth and
805 Planetary Science Letters*, 289, 406–416.
- 806 Cruz, R. F. da, Oliveira, L. B. T. de, Rodrigues, J. B., Basei, M. A. S., Philipp, R. P., 2019.
807 Caracterização e geocronologia U-Pb (LA-ICP-MS) de granitoides do terreno Jaguarão e
808 do batólito Pelotas, no segmento meridional do Cinturão Dom Feliciano, sudeste do Rio
809 Grande do Sul. In *Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos* (p. 102). Sociedade
810 Brasileira de Geologia.
- 811 Deer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J., 1992. *An introduction to the Rock-Forming
812 Minerals*. Longman, Harlow, pp. 696p.
- 813 Enami, M., Suzuki, K., Liou, J. G., Bird, D. K., 1993. Al-Fe³⁺ and F-OH substitutions in
814 titanite and constraints on their P-T dependence. *European Journal of Mineralogy*, 5(2),
815 219–232.
- 816 Fanka, A., Tsunogae, T., Daorerk, V., Tsutsumi, Y., Takamura, Y., Sutthirat, C., 2018.
817 Petrochemistry and zircon U-Pb geochronology of granitic rocks in the Wang Nam Khiao
818 area, Nakhon Ratchasima, Thailand: Implications for petrogenesis and tectonic setting.
819 *Journal of Asian Earth Sciences*, 157, 92–118.
- 820 Fernandes, L. A. D., Menegat, R., Costa, A. F. U., Koester, E., Porcher, C. C., Tommasi, A.,
821 Kraemer, G., Ramgrab, G. E., Camozzato, E., 1995a. Evolução Tectônica do Cinturão
822 Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-grandense: Parte I - Uma contribuição a partir do
823 registro geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4), 351–374.
- 824 Fernandes, L. A. D., Menegat, R., Costa, A. F. U., Koester, E., Porcher, C. C., Tommasi, A.,
825 Kraemer, G., Ramgrab, G. E., Camozzato, E., 1995b. Evolução Tectônica do Cinturão
826 Dom Feliciano no Escudo Sul-Rio-grandense: Parte II - Uma contribuição a partir das
827 assinaturas geofísicas. *Revista Brasileira de Geociências* (Vol. 25). Sociedade Brasileira
828 de Geologia.
- 829 Fleet, M. E., Barnett, R. L., 1978. Al^{iv}/Al^{vi} partitioning in calciferous amphiboles from the
830 Froid Mine, Sudbury, Ontario. *Canadian Mineralogist*, 16(4), 527–532.

- 831 Fleischer, M., 1978. Relation of the relative concentrations of lanthanides in titanite to type of
832 host rocks. *American Mineralogist*, 63(9–10), 869–873.
- 833 Foster, M. D., 1960. Interpretation of the Composition of Trioctahedral Micas. U.S.
834 Geological Survey Professional Paper, 354-B, 1–49.
- 835 Fragoso Cesar, A. R. S., Lavina, E. L., Paim, P. G. S., Faccini, U. F., 1986. O Batólito Pelotas
836 (proterozoico superior/eo-paleozoico) no escudo do Rio Grande do Sul. Congresso
837 Brasileiro de Geologia (34. : 1986 : Goiania, Go). Anais. Goiania : SBG, 1986.
- 838 Franz, G., Spear, F. S., 1985. Aluminous titanite (sphene) from the Eclogite Zone, south-
839 central Tauern Window, Austria. *Chemical Geology*, 50(1–3), 33–46.
- 840 Garber, J. M., Hacker, B. R., Kylander-Clark, A. R. C., Stearns, M., Seward, G., 2017.
841 Controls on Trace Element Uptake in Metamorphic Titanite: Implications for
842 Petrochronology. *Journal of Petrology*, 58(6), 1031–1057.
- 843 Girelli, T. J., Chemale, F., Lavina, E. L. C., Laux, J. H., Bongiolo, E. M., Lana, C., 2018.
844 Granulite accretion to Rio de la Plata Craton, based on zircon U-Pb-Hf isotopes: Tectonic
845 implications for Columbia Supercontinent reconstruction. *Gondwana Research*, 56, 105–
846 118.
- 847 Gregory, T. R., Bitencourt, M. de F., Nardi, L. V. S., Florisbal, L. M., 2017. Petrogenesis of
848 metamorphosed Paleoproterozoic, arc-related tonalites, granodiorites and coeval basic to
849 intermediate rocks from southernmost Brazil, based on elemental and isotope
850 geochemistry. *Lithos*, 277, 72–91.
- 851 Hammarstrom, J. M., Zen, E., 1986. Aluminum in hornblende: An empirical igneous
852 geobarometer. *American Mineralogist*, 71, 1297–1.
- 853 Hartmann, L. A., Chemale Jr., F., Philipp, R. P., 2007. Evolução geotectônica do Rio Grande
854 do Sul no Pré-Cambriano. In R. Iannuzzi and J. C. Frantz (Orgs.), 50 Anos de geologia
855 no Rio Grande do Sul (p. 97–123). Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade,
856 CIGO e IG-UFRGS.
- 857 Hartmann, L. A., Lopes, W. R., Savian, J. F., 2016. Integrated evaluation of the geology,
858 aerogammaspectrometry and aeromagnetometry of the Sul-rio-grandense Shield,
859 Southernmost Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 88(1), 75–92.
- 860 Hayden, L. A., Watson, E. B., Wark, D. A., 2008. A thermobarometer for sphene (titanite).
861 *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 155(4), 529–540.
- 862 Holland, T., Blundy, J., 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing
863 on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*,
864 116(4), 433–447.

- 865 Hueck, M., Oyhantçabal, P., Philipp, R. P., Basei, M. A. S., Siegesmund, S., 2018. The Dom
866 Feliciano Belt in Southern Brazil and Uruguay. In *Geology of Southwest Gondwana* (p.
867 267–302).
- 868 Jiang, H., Lee, C. A., 2017. Coupled magmatism–erosion in continental arcs: Reconstructing
869 the history of the Cretaceous Peninsular Ranges batholith, southern California through
870 detrital hornblende barometry in forearc sediments. *Earth and Planetary Science Letters*,
871 472, 69–81.
- 872 Koester, E., 2002. Experimental Melting of Cordierite Gneiss and the Petrogenesis of
873 Syntranscurrent Peraluminous Granites in Southern Brazil. *Journal of Petrology*, 43(8),
874 1595–1616.
- 875 Koester, E., Porcher, C. C., Pimentel, M. M., Fernandes, L. A. D., Vignol-Lelarge, M. L.,
876 Oliveira, L. D., Ramos, R. C., 2016. Further evidence of 777 Ma subduction-related
877 continental arc magmatism in Eastern Dom Feliciano Belt, southern Brazil: The Chácara
878 das Pedras Orthogneiss. *Journal of South American Earth Sciences*, 68, 155–166.
- 879 Koester, E., Soliani, E., Leite, J. A. D., Hartmann, L. A., Fernandes, L. A. D., McNaughton,
880 N. J., Santos, J.O.S., Oliveira, L. D., 2001. SHRIMP U–Pb age for the emplacement of
881 the Santana Granite and reactivation of the Porto Alegre Suture, southern Brazil. *Journal*
882 *of South American Earth Sciences*, 14(1), 91–99.
- 883 Koester, Edinei, Chemale Jr., F., Porcher, C. C., Fernandes, L. A. D., 2008. U–Pb ages of
884 granitoids from Eastern Sul-rio-grandense Shield. In *VI South American Symposium on*
885 *Isotope Geology*. San Carlos de Bariloche - Argentina.
- 886 Kowallis, B. J., Christiansen, E. H., Griffen, D. T., 1997. Compositional variations in titanite.
887 *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 29, A-402.
- 888 Kraemer, G., 1995. *Evolução magmática e tectônica da suíte orto-metamórfica imbicuí,*
889 *região de lavras do sul (RS)*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- 890 Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D.,
891 Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J.,
892 Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Schumacher, J.C., Smith, D.C.,
893 Stephenson, N.C.N., Whittaker, E.J.W., Youzhi, G., 1997. Nomenclature of amphi-
894 boles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical
895 association, commission on new minerals and mineral names. *The Canadian*
896 *Mineralogist*. 35, 219–246.

- 897 Leite, J. A. D., Hartman, L. O. A., McNaughton, N. J., Chemale, F., 1998. SHRIMP U/Pb
898 zircon geochronology of neoproterozoic juvenile and crustal-reworked terranes in
899 southernmost Brazil. *International Geology Review*, 40(8), 688–705.
- 900 Lenz, C., Porcher, C. C., Fernandes, L. A. D., Masquelin, H., Koester, E., Conceição, R. V.,
901 2013. Geochemistry of the Neoproterozoic (800-767 Ma) Cerro Bori orthogneisses, Dom
902 Feliciano Belt in Uruguay: Tectonic evolution of an ancient continental arc. *Mineralogy
903 and Petrology*, 107(5), 785–806.
- 904 McLeod, G. W., Dempster, T. J., Faithfull, J. W., 2011. Deciphering Magma-Mixing
905 Processes Using Zoned Titanite from the Ross of Mull Granite, Scotland. *Journal of
906 Petrology*, 52(1), 55–82.
- 907 Menegat, R., Porto, M. L., Carraro, C. C., Fernandes, L. A. D., 1998. Atlas ambiental de
908 Porto Alegre. Porto Alegre: Editora da Universidade, Universidade Federal do Rio
909 Grande do Sul.
- 910 Mohammad, Y. O., Maekawa, H., 2008. Origin of titanite in metarodingite from the Zagros
911 Thrust Zone, Iraq. *American Mineralogist*, 93(7), 1133–1141.
- 912 Morad, S., El-Ghali, M. A. K., Caja, M. A., Al-Ramadan, K., Mansurbeg, H., 2009.
913 Hydrothermal alteration of magmatic titanite: Evidence from Proterozoic granitic rocks,
914 Southeastern Sweden. *Canadian Mineralogist*, 47(4), 801–811.
- 915 Nachit, H., Ibhi, A., Abia, E. H., Ben Ohoud, M., 2005. Discrimination between primary
916 magmatic biotites, reequilibrated biotites and neofomed biotites. *Comptes Rendus
917 Geoscience*, 337(16), 1415–1420.
- 918 Nardi, L. V. S., Hartmann, L. A., 1979. O Complexo Granulítico Santa Maria Chico no
919 Escudo Sulriograndense. *Acta Geológica Leopoldensia*, São Leopoldo, 10, 45–75.
- 920 Ng, Y., Shi, G., Santosh, M. 2016. Titanite-bearing omphacitite from the Jade Tract,
921 Myanmar: Interpretation from mineral and trace element compositions. *Journal of Asian
922 Earth Sciences*, 117, 1–12.
- 923 Oliveira, L. D. de, Koester, E., Júnior, E. S., 2001. Geoquímica das rochas graníticas pós-
924 transcorrentes da região de Porto Alegre e Viamão, RS. *Geochimica Brasiliensis*, 15(1/2),
925 65–92.
- 926 Paim, P. S. G., Chemale, F., Lopes, R. C., 2000. Bacia do Camaquã. In M. Holz and L. F. De
927 Ros (Orgs.), *Geologia do Rio Grande do Sul* (p. 231–274). Porto Alegre: CIGO/UFRGS.
- 928 Pan, Y., Fleet, M. E., MacRae, N. D., 1993. Late alteration in titanite (CaTiSiO₅):
929 Redistribution and remobilization of rare earth elements and implications for U/Pb and

- 930 Th/Pb geochronology and nuclear waste disposal. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,
931 57(2), 355–367.
- 932 Peel, E., Bettucci, L. S., Basei, M. A. S., 2018. Geology and geochronology of Paso del
933 Dragón Complex (northeastern Uruguay): Implications on the evolution of the Dom
934 Feliciano Belt (Western Gondwana). *Journal of South American Earth Sciences*, 85, 250–
935 262.
- 936 Philipp, R. P., 1998. *Evolução Geológica e Tectônica do Batólito Pelotas no RS*.
937 Universidade de São Paulo.
- 938 Philipp, R. P., Sacks, R., Campos, D., 2004. *Geologia, Petrografia e Litogeoquímica dos*
939 *Gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações Geotectônicas*. *Revista Pesquisas em*
940 *Geociências*, 31(2), 79–94.
- 941 Piccoli, P., Candela, P., Rivers, M., 2000. Interpreting magmatic processes from accessory
942 phases: titanite-a small-scale recorder of large-scale processes. *Transactions of the Royal*
943 *Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 91, 257–267.
- 944 Porcher, C. C., McNaughton, N. J., Leite, J. A. D., Hartmann, L. A., Fernandes, L. A. D.,
945 1999. Idade SHRIMP em zircão: vulcanismo ácido do Complexo Metamórfico Porongos.
946 *Boletim de Resumos, 1º Simpósio sobre Vulcanismo e ambientes associados, Gramado,*
947 *Brazil*, 1110.
- 948 Prowatke, S., Klemme, S., 2005. Effect of melt composition on the partitioning of trace
949 elements between titanite and silicate melt. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 69(3),
950 695–709.
- 951 Ramos, R. C., Koester, E., Porcher, C. C., 2017. Chemistry of chromites from Arroio Grande
952 Ophiolite (Dom Feliciano Belt, Brazil) and their possible connection with the Nama
953 Group (Namibia). *Journal of South American Earth Sciences*, 80, 192–206.
- 954 Ramos, R. C., Koester, E., Vieira, D. T., Porcher, C. C., Gezatt, J. N., Silveira, R. L., 2018.
955 Insights on the evolution of the Arroio Grande Ophiolite (Dom Feliciano Belt, Brazil)
956 from Rb-Sr and SHRIMP U-Pb isotopic geochemistry. *Journal of South American Earth*
957 *Sciences*, 86, 38–53.
- 958 Remus, M. V. D., Camatti, C., Macambira, M. B., Nunes, L. C., 2002. Precious and base-
959 metal mineralization linked to Neoproterozoic granites in the Rio Grande do Sul Shield,
960 southern Brazil: are they connected to the E-W Camaquã Lineament? In 41 Congresso
961 Brasileiro de Geologia, João Pessoa. Anais (p. 504).

- 962 René, M., 2007. Titanite-il menite-magnetite phase relations in amphibolites of the chýnov
963 area (Bohemian massif, Czech Republic). *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 5(3),
964 239–246.
- 965 Ribeiro, M., Fantinel, L. M., 1978. Associações petrotectônicas do Escudo Sul-rio-grandense:
966 I Tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do
967 Sul. *In*heringia, Série Geológica, 5, 19–54.
- 968 Saalman, K., Gerdes, A., Lahaye, Y., Hartmann, L. A., Remus, M. V.D., Läufer, A., 2011.
969 Multiple accretion at the eastern margin of the Rio de la Plata craton: The prolonged
970 Brasiliano orogeny in southernmost Brazil. *International Journal of Earth Sciences*,
971 100(2), 355–378.
- 972 Saalman, K., Hartmann, L. A., Remus, M. V.D., Koester, E., Conceição, R. V., 2005. Sm-
973 Nd isotope geochemistry of metamorphic volcano-sedimentary successions in the São
974 Gabriel block, southernmost Brazil: Evidence for the existence of juvenile
975 Neoproterozoic oceanic crust to the east of the Rio de la Plata craton. *Precambrian
976 Research*, 136(2), 159–175.
- 977 Schmidt, M. W., 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an
978 experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contributions to Mineralogy
979 and Petrology*, 110(2–3), 304–310
- 980 Schneider, A. W., Loss, E. L., Pinto, J. P., 1974. Mapa geológico da Folha Porto Alegre, RS,
981 escala 1:50.000. Porto Alegre.
- 982 Silva Filho, B. C., Soliani Júnior, E., 1987. Origem e Evolução dos Gnaisses Cambaí:
983 Exemplo de Estudo Integrado de Análise Estrutural, Petroquímica e Geocronologia. In III
984 Simpósio Sul-brasileiro de Geologia (p. 127–146). Curitiba.
- 985 Silva, R. F., 2016. O granito Capão do Leão: Magmatismo Tipo-I altamente fracionado no
986 sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
987 Porto Alegre.
- 988 Speer, A., 1984. Micas in Igneous Rocks. In S. W. Bailey (Org.), *Micas* (p. 299–356).
989 Madison: Mineralogical Society of America.
- 990 Stabel, L. Z., Nardi, L. V. S., Plá Cid, J., 2001. Química mineral e evolução petrológica do
991 Sienito Piquiri: magmatismo shoshonítico neoproterozoico, pós-colisional no sul do
992 Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(2), 211–222.
- 993 Szymanowski, D., Wotzlaw, J.-F., Ellis, B. S., Bachmann, O., Guillong, M., von Quadt, A.,
994 2017. Protracted near-solidus storage and pre-eruptive rejuvenation of large magma
995 reservoirs. *Nature Geoscience*, 10(10), 777–782.

- 996 Tropper, P., Manning, C. E., Essene, E. J., 2002. The Substitution of Al and F in Titanite at
997 High Pressure and Temperature: Experimental Constraints on Phase Relations and Solid
998 Solution Properties. *Journal of Petrology* (Vol. 43).
- 999 Uher, P., Broska, I., Krzeminska, E., Ondrejka, M., Mikus, T., Vaculovic, T., 2019. Titanite
1000 composition and SHRIMP U–Pb dating as indicators of post-magmatic tectono-thermal
1001 activity: Variscan I-type tonalites to granodiorites, the Western Carpathians. *Geologica
1002 Carpathica*, 70(6), 449–470.
- 1003 Vieira, D. T., Ramos, R., Koester, E., Vignol-Lelarge, M. L., PORCHER, C. C., Gonzati, C.,
1004 Boscato Gomes, M. E., Dal Olmo-Barbosa, L., Fontes Pinto, T., 2019. Petrografia e
1005 química mineral do Granito São Geraldo: evidências de magmatismo peraluminoso na
1006 região de Porto Alegre, RS. *Pesquisas em Geociências*, 46(3), 0773.
- 1007 Watson, E. B., Harrison, T. M., 1983. Zircon saturation revisited: temperature and
1008 composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science
1009 Letters*, 64(2), 295–304.
- 1010 Whitney, D. L., Evans, B. W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals.
1011 *American Mineralogist*, 95, 185–187.
- 1012 Yousefi, F., Sadeghian, M., Wanhainen, C., Ghasemi, H., Lambrini, P., Bark, G., Mehdi
1013 Rezaei-Kahkhaei, M., Koroneos, A., 2017. Mineral chemistry and P-T conditions of the
1014 adakitic rocks from Torud–Ahmad Abad magmatic belt, S-SE Shahrood, NE Iran.
1015 *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 110–120.

REFERÊNCIAS DA DISSERTAÇÃO

- Abdel-Rahman, A. M., 1994. Nature of Biotites from Alkaline, Calc-alkaline, and Peraluminous Magmas. *Journal of Petrology*, 35(2), 525–541.
- Alves, A., Janasi, V. de A., Campos Neto, M. da C., 2016. Sources of granite magmatism in the Embu Terrane (Ribeira Belt, Brazil): Neoproterozoic crust recycling constrained by elemental and isotope (Sr-Nd-Pb) geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, 68, 205–223.
- Anderson, J. L., 1996. Status of thermobarometry in granitic batholiths. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 87(1–2), 125–138.
- Anderson, J. L., Smith, D. R., 1995. The effects of temperature and f_{O_2} on the Al-in-hornblende barometer. *American Mineralogist*, 80, 549–559.
- Blundy, J. D., Holland, T. J. B., 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104, 208–224.
- Boehnke, P., Watson, E. B., Trail, D., Harrison, T. M., Schmitt, A. K., 2013. Zircon saturation re-revisited. *Chemical Geology*, 351, 324–334.
- Brasilino, R. G., Sial, A. N., Ferreira, V. P., Pimentel, M. M., 2011. Bulk rock and mineral chemistries and ascent rates of high-K calc-alkalic epidote-bearing magmas, Northeastern Brazil. *Lithos*, 127(3–4), 441–454.
- Chambers, J. A., Kohn, M. J., 2012. Titanium in muscovite, biotite, and hornblende: Modeling, thermometry, and rutile activities of metapelites and amphibolites. *American Mineralogist*, 97(4), 543–555.
- Coelho, M. B., Trouw, R. A. J., Ganade, C. E., Vinagre, R., Mendes, J. C., Sato, K., 2017. Constraining timing and P-T conditions of continental collision and late overprinting in the Southern Brasília Orogen (SE-Brazil): U-Pb zircon ages and geothermobarometry of the Andrelândia Nappe System. *Precambrian Research*, 292, 194–215.
- Corrie, S. L., Kohn, M. J., Vervoort, J. D., 2009. Young eclogite from the Greater Himalayan Sequence, Arun Valley, eastern Nepal: P–T–t path and tectonic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 289, 406–416.
- Fanka, A., Tsunogae, T., Daorerk, V., Tsutsumi, Y., Takamura, Y., Sutthirat, C., 2018. Petrochemistry and zircon U-Pb geochronology of granitic rocks in the Wang Nam Khiao area, Nakhon Ratchasima, Thailand: Implications for petrogenesis and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, 157, 92–118.
- Fleischer, M., 1978. Relation of the relative concentrations of lanthanides in titanite to type of host rocks. *American Mineralogist*, 63(9–10), 869–873.
- Foster, M. D., 1960. Interpretation of the Composition of Trioctahedral Micas. U.S. Geological Survey Professional Paper, 354-B, 1–49

- Franz, G., Spear, F. S., 1985. Aluminous titanite (sphene) from the Eclogite Zone, south-central Tauern Window, Austria. *Chemical Geology*, 50(1–3), 33–46.
- Hammarstrom, J. M., Zen, E., 1986. Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer. *American Mineralogist*, 71, 1297–1301.
- Hayden, L. A., Watson, E. B., 2007. Rutile saturation in hydrous siliceous melts and its bearing on Ti-thermometry of quartz and zircon. *Earth and Planetary Science Letters*, 258(3–4), 561–568.
- Hayden, L. A., Watson, E. B., Wark, D. A., 2008. A thermobarometer for sphene (titanite). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 155(4), 529–540.
- Higgins, J. B., Ribbe, P. H., 1976. The crystal chemistry and space groups of natural and synthetic titanites. *American Mineralogist*, 61(9–10), 1297–1301.
- Holland, T., Blundy, J., 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 116(4), 433–447.
- Hollister, L. S., Grissom, G. C., Peters, E. K., Stowell, H. H., Sisson, Y. B., 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *American Mineralogist*, 72(2), 231–239.
- Jiang, H., Lee, C. A., 2017. Coupled magmatism–erosion in continental arcs: Reconstructing the history of the Cretaceous Peninsular Ranges batholith, southern California through detrital hornblende barometry in forearc sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 472, 69–81.
- Johnson, M. C., Rutherford, M. J., 1989. Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, 17, 837–841.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Whittaker, E.J.W., Youzhi, G., 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *The Canadian Mineralogist*. 35, 219–246.
- Li, X., Fan, H., Zhang, Y., Hu, F., Yang, K., Liu, X., Cai, Y., Zhao, K., 2017. Rapid exhumation of the northern Jiaobei Terrane, North China Craton in the Early Cretaceous: Insights from Al-in-hornblende barometry and U-Pb geochronology. *Journal of Asian Earth Sciences*, 160, 365–379.
- Nachit, H., Ibhi, A., Abia, E. H., Ben Ohoud, M., 2005. Discrimination between primary magmatic biotites, reequilibrated biotites and neoformed biotites. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(16), 1415–1420.
- Neves, S. P., Bruguier, O., da Silva, J. M. R., Mariano, G., da Silva Filho, A. F., Teixeira, C. M. L., 2015. From extension to shortening: Dating the onset of the

- Brasiliano Orogeny in eastern Borborema Province (NE Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 58, 238–256.
- Oliveira, L. D. de, Koester, E., Júnior, E. S., 2001. Geoquímica das rochas graníticas pós-transcorrentes da região de Porto Alegre e Viamão, RS. *Geochimica Brasiliensis*, 15(1/2), 65–92.
- Philipp, R. P., Sacks, R., Campos, D., 2004. Geologia, Petrografia e Litogeoquímica dos Gnaisses Porto Alegre, RS, Brasil: Implicações Geotectônicas. *Revista Pesquisas em Geociências*, 31(2), 79–94.
- Pouchou, J.-L., Pichoir, F., 1991. Quantitative Analysis of Homogeneous or Stratified Microvolumes Applying the Model “PAP”. In *Electron Probe Quantitation* (p. 31–75). Boston, MA: Springer US.
- Putirka, K. D., 2008. Thermometers and Barometers for Volcanic Systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69(1), 61–120.
- Putirka, Keith D., Mikaelian, H., Ryerson, F., Shaw, H., 2003. New clinopyroxene-liquid thermobarometers for mafic, evolved, and volatile-bearing lava compositions, with applications to lavas from Tibet and the Snake River Plain, Idaho. *American Mineralogist*, 88(10), 1542–1554.
- Ribbe, P. H., 1980. Titanite. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 5(1), 137–154.
- Schmidt, M. W., 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 110(2–3), 304–310.
- Speer, A., 1984. Micas in Igneous Rocks. In S. W. Bailey (Org.), *Micas* (p. 299–356). Madison: Mineralogical Society of America.
- Szymanowski, D., Wotzlaw, J.-F., Ellis, B. S., Bachmann, O., Guillong, M., von Quadt, A., 2017. Protracted near-solidus storage and pre-eruptive rejuvenation of large magma reservoirs. *Nature Geoscience*, 10(10), 777–782.
- Thomas, W. M., Ernst, W. G., 1990. The aluminum content of hornblende in calc-alkaline granitic rocks: A mineralogic barometer calibrated experimentally to 12 kbars *. *Fluid-mineral interactions : a tribute to H.P. Eugster*, 2, 59–63.
- Valladares, C. S., Duarte, B. P., Machado, H. T., Viana, S. M., Figueiredo, P. L. C., 2017. Genesis and evolution of a Paleoproterozoic basement inlier within West Gondwana addressed by Sm-Nd isotopic geochemistry and Zr saturation thermometry. *Journal of South American Earth Sciences*, 80, 95–106.
- Vinagre, R., Trouw, R. A. J., Mendes, J. C., Ludka, I. 2014., Química mineral e geotermobarometria do Batólito Serra da Água Limpa, Nappe Socorro-Guaxupé, Faixa Brasília Meridional, Sudeste do Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, 44(3), 387–414.
- Watson, E. B., Harrison, T. M., 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 64(2), 295–304.

- Whitney, D. L., Evans, B. W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185–187.
- Wones, D. R., 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *American Mineralogist*, 74, 744–749.
- Yousefi, F., Sadeghian, M., Wanhainen, C., Ghasemi, H., Lambrini, P., Bark, G., Mehdi Rezaei-Kahkhaei, M., Koroneos, A., 2017. Mineral chemistry and P-T conditions of the adakitic rocks from Torud–Ahmad Abad magmatic belt, S-SE Shahrood, NE Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 110–120.

ANEXO A – Carta de submissão do artigo à revista *Journal of South American Earth Sciences*

Assunto Confirming handling editor for submission to Journal of South American Earth Sciences

Remetente Journal of South American Earth Sciences <em@editorialmanager.com>

Para Susan Martins Drago <susan.drago@ufrgs.br>

Responder para Journal of South American Earth Sciences <sames@elsevier.com>

Data 2020-02-27 14:30

This is an automated message.

Manuscript Number: SAMES-D-20-00120

Mineral chemistry and geothermobarometry of neoproterozoic rocks from northeast Dom Feliciano Belt, southernmost Brazil

Dear Mrs. Drago,

The above referenced manuscript will be handled by Dr Kerry Mccarney-Castle .

To track the status of your manuscript, please log into Editorial Manager at <https://www.editorialmanager.com/sames/>.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Journal of South American Earth Sciences

More information and support

You will find information relevant for you as an author on Elsevier's Author Hub: <https://www.elsevier.com/authors>.

FAQ: How can I reset a forgotten password?

https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/28452/supporthub/publishing/kw/editorial+manager/

For further assistance, please visit our customer service site: <https://service.elsevier.com/app/home/supporthub/publishing/>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions, and learn more about Editorial Manager via interactive tutorials. You can also talk 24/7 to our customer support team by phone and 24/7 by live chat and email.

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Use the following URL: <https://www.editorialmanager.com/sames/login.asp?a=r>). Please contact the publication office if you have any questions.

ANEXO B - Análises de Plagioclásios por microsonda eletrônica

		Gnaiss Chácara das Pedras																			
Amostra	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B	Lc-2B
Ponto	29	30	32	38	40	41	44	45	46	51	56	58	60	61	67	68	69	74	75	80	83
Grão	1	1	1'	1'	2	2	2	2	2'	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	9	9
Obs	Borda	Centro	Borda	Centro	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro
SiO ₂	56,43	58,00	56,46	56,36	55,60	55,38	56,37	59,79	59,28	55,43	58,19	56,42	56,63	56,86	56,58	56,52	56,29	57,23	57,16	56,25	55,64
TiO ₂	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	27,49	27,04	27,71	27,77	27,48	27,00	27,50	26,99	25,93	27,39	26,06	27,61	27,14	27,15	27,40	27,51	27,66	27,31	27,47	26,80	27,48
Cr ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	0,23	n.d.	0,14	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.
FeO _{total}	0,20	0,13	0,22	0,11	0,18	0,43	0,35	0,92	0,26	0,16	0,27	0,30	0,25	0,22	<l.d.	<l.d.	0,14	<l.d.	0,14	0,15	1,51
MgO	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
CaO	9,17	8,19	9,34	9,45	9,38	8,81	9,33	5,45	7,44	9,28	7,63	9,31	9,07	9,22	9,27	9,29	9,39	9,31	9,24	8,21	8,86
MnO	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
Na ₂ O	6,54	8,26	6,58	6,37	6,24	6,66	6,63	6,23	7,56	6,40	7,39	6,39	6,57	6,40	6,74	6,24	6,42	6,34	6,48	6,70	5,62
K ₂ O	0,14	0,14	0,14	0,12	0,16	0,28	0,11	1,92	0,11	0,12	0,16	0,15	0,09	0,11	0,09	0,11	0,09	0,10	0,12	0,27	0,19
Total	99,95	101,75	100,42	100,16	99,02	98,74	100,26	101,35	100,56	98,76	99,67	100,15	99,73	99,94	100,09	99,66	99,97	100,29	100,58	98,38	99,20
Si	10,145	10,262	10,113	10,111	10,098	10,100	10,118	10,532	10,531	10,093	10,446	10,127	10,195	10,215	10,161	10,167	10,119	10,228	10,202	10,253	10,073
Ti	0,003	0,000	0,000	0,003	0,000	0,008	0,001	0,000	0,004	0,002	0,002	0,002	0,006	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002
Al	5,824	5,639	5,849	5,873	5,881	5,803	5,818	5,603	5,429	5,878	5,514	5,840	5,759	5,749	5,798	5,833	5,860	5,754	5,778	5,758	5,866
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,027	0,018	0,029	0,014	0,024	0,058	0,048	0,123	0,035	0,022	0,037	0,041	0,035	0,030	0,008	0,012	0,018	0,008	0,019	0,021	0,206
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	1,766	1,553	1,793	1,817	1,825	1,721	1,795	1,029	1,417	1,810	1,467	1,791	1,750	1,774	1,784	1,790	1,809	1,783	1,767	1,603	1,719
Mn	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,005	0,006	0,000	0,000	0,001
Na	2,281	2,834	2,284	2,217	2,197	2,357	2,309	2,130	2,603	2,261	2,571	2,223	2,295	2,228	2,348	2,176	2,238	2,196	2,243	2,370	1,974
K	0,032	0,031	0,033	0,026	0,038	0,065	0,025	0,431	0,025	0,028	0,036	0,035	0,020	0,025	0,020	0,025	0,021	0,024	0,026	0,064	0,045
Z	15,999	15,919	15,991	16,001	16,003	15,969	15,985	16,258	15,999	15,995	15,999	16,010	15,995	15,995	15,967	16,012	15,997	15,991	15,999	16,032	16,147
X	4,079	4,418	4,110	4,062	4,065	4,143	4,129	3,592	4,045	4,099	4,080	4,049	4,065	4,027	4,152	3,996	4,068	4,009	4,036	4,037	3,739
Ab	55,9	64,1	55,6	54,6	54,0	56,9	55,9	59,3	64,4	55,2	63,0	54,9	56,5	55,3	56,6	54,5	55,0	54,8	55,6	58,7	52,8
An	43,3	35,2	43,6	44,8	45,0	41,5	43,5	28,7	35,0	44,2	36,1	44,2	43,1	44,1	43,0	44,9	44,5	44,6	43,8	39,7	46,0
Or	0,8	0,7	0,8	0,6	0,9	1,5	0,6	11,6	0,6	0,7	0,9	0,9	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	1,6	1,2

Amostra	Granito Saint Hilaire										Granito Pitinga										
	PMP-58	PMP-58	PMP-58	PMP-58	PMP-58	PMP-58	PMP-58	PMP-58	PMP-58	PMP-58	PMP-90	PMP-90	PMP-90	PMP-90	PMP-90	PMP-90	PMP-90	PMP-90	PMP-90	PMP-90	PMP-90
	6	7	10	12	14	16	18	19	20	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	18
Ponto	2s	2s	3s	4s	5s	5s	6s	6s	6s	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	7
Obs	Borda	Centro	Borda	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Borda	Borda	Centro	Borda	Inter	middle	middle	middle	middle	Centro	Centro	Middle	Centro
SiO ₂	60,77	61,04	61,23	62,27	62,19	60,42	62,05	61,34	62,12	63,47	64,30	61,31	60,98	61,11	59,00	61,03	61,65	58,76	58,93	57,38	59,80
TiO ₂	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	24,90	25,73	25,00	24,34	24,01	25,05	24,46	24,38	24,10	23,60	22,74	24,67	24,75	24,93	26,17	25,09	24,90	26,41	26,15	27,08	25,70
Cr ₂ O ₃	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	<l.d.	<l.d.	0,14	0,18	0,12	0,14	0,14	0,16	0,13	0,19	0,19	0,29
FeO _{total}	0,15	0,12	<l.d.	0,13	<l.d.	0,20	<l.d.	0,11	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
MgO	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.
CaO	6,64	7,10	6,45	5,75	5,74	7,09	5,99	6,06	5,37	4,05	3,53	5,95	6,08	5,97	7,89	6,44	6,14	7,70	7,54	9,05	6,88
MnO	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.
Na ₂ O	7,70	6,25	8,16	8,51	8,46	7,84	8,25	7,98	8,87	9,58	9,73	8,27	8,26	8,38	7,43	8,19	8,20	7,37	7,42	6,57	7,89
K ₂ O	0,23	0,21	0,19	0,20	0,12	0,24	0,10	0,17	0,17	0,11	0,15	0,20	0,20	0,14	0,14	0,12	0,10	0,10	0,13	0,14	0,19
Total	100,39	100,45	101,03	101,20	100,52	100,84	100,85	100,04	100,63	100,80	100,45	100,54	100,43	100,63	100,76	100,99	101,14	100,46	100,33	100,39	100,70
Si	10,774	10,758	10,782	10,932	10,975	10,697	10,913	10,886	10,959	11,130	11,290	10,844	10,805	10,801	10,475	10,758	10,830	10,453	10,496	10,257	10,603
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,003	0,005	0,000	0,000	0,000
Al	5,204	5,345	5,188	5,035	4,994	5,228	5,070	5,099	5,011	4,877	4,706	5,142	5,170	5,192	5,476	5,214	5,155	5,538	5,489	5,705	5,371
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,020	0,015	0,000	0,017	0,000	0,026	0,000	0,015	0,000	0,012	0,011	0,019	0,023	0,016	0,019	0,018	0,021	0,018	0,025	0,025	0,035
Mg	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001
Ca	1,262	1,340	1,217	1,082	1,086	1,346	1,129	1,153	1,016	0,761	0,665	1,128	1,154	1,130	1,501	1,215	1,156	1,468	1,438	1,733	1,307
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,006	0,000	0,003	0,000	0,000	0,003	0,000
Na	2,646	2,136	2,787	2,898	2,893	2,690	2,813	2,746	3,033	3,256	3,312	2,837	2,838	2,872	2,558	2,800	2,794	2,541	2,561	2,277	2,711
K	0,052	0,048	0,042	0,044	0,028	0,053	0,023	0,038	0,039	0,025	0,034	0,046	0,046	0,031	0,031	0,026	0,023	0,023	0,030	0,032	0,044
Z	15,998	16,118	15,970	15,984	15,969	15,951	15,983	16,000	15,970	16,023	16,009	16,005	15,999	16,010	15,972	15,993	16,009	16,014	16,010	15,987	16,009
X	3,960	3,527	4,046	4,024	4,008	4,089	3,965	3,938	4,088	4,042	4,015	4,011	4,041	4,036	4,096	4,044	3,978	4,032	4,030	4,045	4,063
Ab	66,8	60,6	68,9	72,0	72,2	65,8	70,9	69,7	74,2	80,6	82,5	70,7	70,2	71,2	62,5	69,2	70,2	63,0	63,5	56,3	66,7
An	31,9	38,1	30,1	26,9	27,1	32,9	28,5	29,3	24,9	18,8	16,7	28,1	28,6	28,1	36,8	30,1	29,2	36,4	35,7	42,9	32,2
Or	1,3	1,4	1,0	1,1	0,7	1,3	0,6	1,0	1,0	0,6	0,8	1,1	1,1	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	1,1

Amostra						Granito Independência										Granito Lami						
	PMP-90	PMP-90	PMP-90	PMP-90	PMP-90	PMP-25	PMP-25	PMP-25	PMP-25	PMP-25	PMP-25	PMP-25	PMP-25	PMP-25	PMP-25	PMP-77	PMP-77	PMP-77	PMP-77	PMP-77	PMP-77	PMP-77
	19	21	22	26	27	41	40	52	51	44	45	48	55	56	10	11	13	14	15	16	17	
Grão	7	8	8	4	4	1	1	5	5	2	2	3	4	4	6	6	4	8	8	7	9	
Obs	Borda	Borda	Centro	Borda	Centro	Centro	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	
SiO ₂	64,10	63,42	63,15	63,35	60,99	58,62	62,72	57,43	58,42	63,10	58,45	63,51	63,58	58,96	64,64	64,03	65,99	64,90	67,36	65,65	67,16	
TiO ₂	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	
Al ₂ O ₃	22,74	23,25	23,12	23,25	25,21	26,42	23,63	26,87	26,73	23,51	26,21	23,17	23,37	26,39	22,34	22,67	20,98	21,27	21,13	21,58	20,99	
Cr ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	0,14	0,11	0,12	<l.d.	0,06	<l.d.	0,02	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,03	<l.d.	0,14	0,12	0,26	0,19	0,09	0,17	<l.d.	
FeO _{total}	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,06	<l.d.	0,02	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,03	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	0,07	<l.d.	n.d.	n.d.	
MgO	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	
CaO	3,84	4,20	4,27	4,19	6,30	7,93	5,06	8,90	8,33	4,92	7,81	4,22	4,35	7,97	3,01	3,78	2,10	3,44	1,10	2,48	1,43	
MnO	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	
Na ₂ O	9,85	9,43	9,39	9,36	8,20	7,32	8,79	6,55	7,09	8,71	7,47	9,41	9,24	7,16	10,01	9,72	10,14	9,00	10,82	10,33	11,20	
K ₂ O	0,06	0,09	0,33	0,16	0,08	0,06	0,18	0,13	0,10	0,24	0,08	0,15	0,18	0,17	0,12	0,26	0,18	0,74	0,23	0,11	0,11	
Total	100,59	100,39	100,39	100,40	100,88	100,35	100,44	99,88	100,69	100,48	100,02	100,46	100,75	100,65	100,26	100,58	99,65	99,61	100,73	100,32	100,89	
Si	11,258	11,164	11,149	11,161	10,757	10,439	11,062	10,302	10,375	11,111	10,451	11,173	11,157	10,470	11,368	11,264	11,628	11,498	11,710	11,517	11,682	
Ti	0,004	0,005	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	0,001	0,000	0,000	0,002	
Al	4,707	4,824	4,811	4,828	5,240	5,546	4,912	5,681	5,596	4,880	5,523	4,805	4,834	5,523	4,631	4,699	4,356	4,442	4,330	4,462	4,302	
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	
Fe	0,005	0,008	0,019	0,014	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,015	0,035	0,025	0,012	0,023	0,007	
Mg	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,006	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,018	0,006	0,000	0,000	
Ca	0,722	0,793	0,808	0,791	1,190	1,512	0,955	1,710	1,584	0,927	1,497	0,795	0,818	1,516	0,568	0,713	0,397	0,654	0,205	0,467	0,266	
Mn	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	
Na	3,356	3,217	3,216	3,196	2,803	2,529	3,008	2,277	2,443	2,974	2,590	3,209	3,145	2,463	3,414	3,315	3,464	3,092	3,649	3,513	3,778	
K	0,012	0,021	0,075	0,035	0,018	0,013	0,041	0,031	0,022	0,053	0,019	0,033	0,039	0,038	0,027	0,059	0,041	0,167	0,051	0,026	0,024	
Z	15,974	16,001	15,979	16,005	16,013	15,985	15,974	15,983	15,971	15,991	15,975	15,978	15,991	15,993	16,018	15,978	16,024	15,966	16,053	16,002	15,993	
X	4,091	4,032	4,102	4,027	4,011	4,054	4,004	4,018	4,049	3,954	4,107	4,043	4,002	4,019	4,010	4,088	3,902	3,931	3,913	4,008	4,068	
Ab	82,0	79,8	78,4	79,4	69,9	62,4	75,1	56,7	60,3	75,2	63,1	79,4	78,6	61,3	85,1	81,1	88,8	78,7	93,3	87,6	92,9	
An	17,7	19,7	19,8	19,8	29,7	37,3	23,9	42,6	39,1	23,4	36,5	19,8	20,4	37,8	14,2	17,5	10,2	17,1	5,4	11,7	6,5	
Or	0,3	0,5	1,8	0,9	0,4	0,3	1,0	0,8	0,5	1,3	0,5	0,8	1,0	0,9	0,7	1,4	1,0	4,2	1,3	0,6	0,6	

Amostra	Gr. São Pedro										Granito São Caetano										
	PMP-93	PMP-93	PMP-93	PMP-93	PMP-93	PMP-93	PMP-93	PMP-93	PMP-93	PMP-93	PMP-75	PMP-76	PMP-77	PMP-78	PMP-79	PMP-80	PMP-81	PMP-82	PMP-83	PMP-84	PMP-85
	19	20	24	25	28	29	32	33	36	37	15	16	22	19	55	56	30	32	42	43	44
Grão	1	1	1	2	3	3	4	4	9	9	3ab	3b	4	4	10	10	6	6	8	9	9
Obs	Borda	Centro	Centro	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Centro	Centro	Borda
SiO ₂	66,17	62,45	62,93	63,66	63,38	63,35	63,28	63,29	62,28	63,36	61,26	59,93	58,63	61,31	60,27	61,72	61,37	61,20	61,95	59,27	60,15
TiO ₂	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	22,32	23,72	23,27	23,14	23,17	22,99	23,26	23,14	23,87	23,45	24,47	25,07	26,42	24,44	25,08	23,90	24,29	24,31	24,26	26,62	25,10
Cr ₂ O ₃	0,10	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,21	0,10	0,14	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.
FeO _{total}	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,20	0,64	<l.d.	0,38	<l.d.	<l.d.	0,57	0,40	0,41	<l.d.	0,46
MgO	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
CaO	2,75	5,01	4,41	4,33	4,33	4,19	4,46	4,19	5,19	4,41	6,00	6,83	8,21	6,11	7,04	5,61	5,62	5,95	5,72	5,22	6,54
MnO	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.
Na ₂ O	10,13	9,06	9,18	9,35	9,37	9,34	9,24	9,35	8,88	9,25	8,22	7,90	6,87	8,23	7,83	8,26	8,50	8,03	8,32	7,91	8,07
K ₂ O	0,09	0,11	0,14	0,08	0,21	0,39	0,23	0,22	0,12	0,13	0,12	0,10	0,19	0,21	0,09	0,10	0,15	0,11	0,11	0,21	0,16
Total	101,56	100,35	99,93	100,56	100,46	100,47	100,57	100,33	100,34	100,60	100,28	100,47	100,32	100,68	100,31	99,60	100,49	100,00	100,76	99,23	100,50
Si	11,460	11,035	11,136	11,194	11,159	11,173	11,144	11,167	11,003	11,142	10,862	10,658	10,438	10,845	10,708	10,975	10,870	10,877	10,922	10,588	10,685
Ti	0,001	0,000	0,004	0,000	0,007	0,005	0,001	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	4,557	4,939	4,854	4,795	4,809	4,778	4,828	4,812	4,971	4,859	5,114	5,255	5,543	5,095	5,251	5,010	5,070	5,091	5,040	5,604	5,255
Cr	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,013	0,005	0,007	0,001	0,011	0,027	0,014	0,018	0,005	0,001	0,040	0,128	0,000	0,075	0,000	0,000	0,113	0,080	0,081	0,027	0,093
Mg	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,511	0,948	0,836	0,815	0,816	0,792	0,841	0,792	0,983	0,831	1,139	1,302	1,565	1,158	1,340	1,069	1,067	1,133	1,081	1,000	1,246
Mn	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	3,402	3,105	3,151	3,186	3,200	3,193	3,157	3,198	3,043	3,153	2,826	2,723	2,373	2,823	2,698	2,849	2,918	2,768	2,844	2,738	2,781
K	0,019	0,024	0,032	0,017	0,048	0,088	0,051	0,051	0,027	0,030	0,028	0,022	0,044	0,048	0,020	0,023	0,034	0,025	0,024	0,047	0,037
Z	16,031	15,981	16,001	15,990	15,986	15,983	15,988	16,000	15,986	16,002	16,015	16,040	15,981	16,015	15,959	15,985	16,052	16,048	16,043	16,219	16,033
X	3,935	4,078	4,019	4,020	4,064	4,076	4,050	4,042	4,053	4,016	3,993	4,047	3,982	4,029	4,058	3,941	4,019	3,927	3,949	3,784	4,063
Ab	86,5	76,1	78,4	79,3	78,7	78,3	78,0	79,1	75,1	78,5	70,8	67,3	59,6	70,1	66,5	72,3	72,6	70,5	72,0	72,3	68,4
An	13,1	23,3	20,8	20,3	20,1	19,5	20,8	19,6	24,3	20,7	28,5	32,2	39,3	28,7	33,0	27,1	26,5	28,9	27,4	26,4	30,7
Or	0,5	0,6	0,8	0,4	1,2	2,1	1,3	1,3	0,7	0,7	0,7	0,5	1,1	1,2	0,5	0,6	0,8	0,6	0,6	1,2	0,9

Amostra	Granito Santana									
	PMP-86	PMP-44	PMP-45	PMP-46	PMP-47	PMP-48	PMP-49	PMP-50	PMP-51	PMP-52
Ponto	47	2	3	5	6	10	11	14	15	21
Grão	9'	1	1	3	3	5	5	8	8	6
Obs	Borda	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Centro	Borda	Pertite
SiO ₂	61,88	66,38	67,78	66,71	66,19	66,69	65,75	68,32	68,53	67,51
TiO ₂	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.
Al ₂ O ₃	24,42	20,81	20,56	20,58	21,08	20,34	21,16	20,05	19,64	20,33
Cr ₂ O ₃	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	0,00	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO _{total}	0,38	0,15	n.d.	0,15	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
MgO	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
CaO	4,60	1,66	1,10	1,50	1,73	0,88	1,74	0,39	0,09	0,91
MnO	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Na ₂ O	8,38	10,96	11,23	10,95	10,86	11,53	10,76	11,68	11,99	11,35
K ₂ O	0,94	0,18	0,06	0,10	0,08	0,10	0,08	0,05	0,07	0,13
Total	100,58	100,15	100,73	99,99	99,94	99,53	99,49	100,50	100,32	100,23
Si	10,941	11,654	11,786	11,710	11,628	11,750	11,602	11,887	11,944	11,797
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	5,088	4,306	4,215	4,258	4,365	4,223	4,400	4,112	4,034	4,186
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,075	0,020	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,871	0,312	0,204	0,282	0,325	0,167	0,330	0,073	0,018	0,170
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	2,872	3,732	3,785	3,726	3,700	3,937	3,682	3,941	4,052	3,846
K	0,212	0,041	0,014	0,022	0,017	0,022	0,019	0,010	0,016	0,030
Z	16,103	15,980	16,001	15,988	15,993	15,973	16,002	15,999	15,978	15,983
X	3,954	4,085	4,003	4,030	4,042	4,126	4,031	4,024	4,086	4,046
Ab	72,6	91,4	94,6	92,5	91,5	95,4	91,3	97,9	99,2	95,1
An	22,0	7,6	5,1	7,0	8,0	4,0	8,2	1,8	0,4	4,2
Or	5,3	1,0	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,2	0,4	0,7

ANEXO C - Análises de K-feldspatos por microsonda eletrônica

Ponto	Gnaiss Chácara das Pedras						Granito Saint Hilaire						Pitinga				Granito Independência				
	37	49	53	66	73	78	1	4	5	8	9	13	15	2	16	20	24	43	47	50	54
Grão	1	2	3	4	5	6	1s	1s	2s	2s	3s	5s	5s	1	7	8	4	2	3	5	4
Obs	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Centro	Matriz	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro
SiO ₂	64,13	63,78	62,95	63,99	63,78	64,87	65,27	64,75	64,94	65,12	64,93	64,69	64,60	63,26	63,02	64,75	64,04	65,35	64,53	64,58	64,38
TiO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	18,58	18,44	18,49	18,36	18,42	18,77	18,65	18,47	18,20	18,36	18,37	18,21	18,37	18,76	18,67	18,59	18,47	18,57	18,62	18,42	18,37
Cr ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,11	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,12	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
FeO _{total}	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.
MgO	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
CaO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.
MnO	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.
Na ₂ O	0,89	0,55	0,61	0,85	0,59	0,56	0,69	0,92	0,71	0,79	0,73	0,63	0,70	0,91	0,62	0,37	0,33	0,35	0,81	0,32	0,29
K ₂ O	15,56	15,92	15,90	15,52	15,95	16,00	14,99	15,30	15,52	15,48	15,55	15,70	15,64	15,10	15,43	16,28	16,30	16,20	15,76	16,48	16,32
Total	99,15	98,70	97,95	98,72	98,74	100,30	99,60	99,44	99,37	99,75	99,58	99,29	99,31	98,14	97,74	100,00	99,14	100,47	99,72	99,80	99,36
Si	11,930	11,943	11,892	11,955	11,939	11,939	12,016	11,984	12,025	12,013	12,004	12,016	11,986	11,882	11,894	11,967	11,949	12,003	11,943	11,973	11,977
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	4,074	4,070	4,117	4,043	4,064	4,071	4,046	4,028	3,971	3,991	4,002	3,985	4,018	4,153	4,154	4,050	4,061	4,020	4,062	4,026	4,028
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,009	0,006	0,010	0,012	0,006	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,004	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,006	0,000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Na	0,320	0,199	0,222	0,308	0,215	0,200	0,247	0,329	0,256	0,281	0,263	0,228	0,250	0,330	0,228	0,134	0,121	0,123	0,292	0,114	0,104
K	3,692	3,803	3,832	3,700	3,808	3,757	3,521	3,612	3,667	3,642	3,667	3,720	3,702	3,618	3,714	3,839	3,879	3,796	3,720	3,897	3,873
Z	16,013	16,019	16,019	16,010	16,012	16,032	16,062	16,012	15,996	16,004	16,006	16,001	16,004	16,052	16,052	16,021	16,016	16,023	16,005	15,999	16,005
X	4,022	4,002	4,054	4,012	4,023	3,959	3,768	3,941	3,923	3,923	3,930	3,948	3,952	3,955	3,946	3,973	4,000	3,919	4,014	4,011	3,977
Ab	8,0	5,0	5,5	7,7	5,3	5,1	6,6	8,3	6,5	7,2	6,7	5,8	6,3	8,3	5,8	3,4	3,0	3,1	7,3	2,8	2,6
An	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Or	91,8	95,0	94,5	92,2	94,7	94,9	93,4	91,7	93,5	92,8	93,3	94,2	93,7	91,5	94,1	96,6	97,0	96,9	92,7	97,2	97,4

Ponto	Granito Lami					Gr. São Pedro				Granito São Caetano											
	6	7	8	9	12	21	23	27	35	35	36	58	59	60	62	63	64	65	66	67	68
	9	8	4	7	4'	1	2	3	9	7	7	1	2	2	3	4	4	5	5	6	6
Obs	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda
SiO ₂	64,17	64,27	64,64	65,54	64,90	64,51	64,62	64,71	65,46	64,62	64,43	64,64	64,75	64,57	64,45	64,38	64,61	64,68	64,14	64,84	64,96
TiO ₂	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.
Al ₂ O ₃	18,43	18,63	18,38	18,55	18,37	18,44	18,39	18,57	18,58	18,55	18,52	18,35	18,25	18,31	18,17	18,47	18,51	18,43	18,46	18,33	18,27
Cr ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	0,13	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,56	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
FeO _{total}	<l.d.	0,22	0,29	0,22	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	0,20	0,33	0,37	<l.d.	<l.d.	0,24	0,40	<l.d.	<l.d.
MgO	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
CaO	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.
MnO	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.
Na ₂ O	0,43	0,36	0,51	0,32	0,52	0,50	0,57	0,66	1,11	0,52	0,59	0,39	0,51	0,59	0,54	0,71	0,55	0,77	0,33	0,48	0,34
K ₂ O	16,43	16,51	16,17	16,28	16,19	16,22	16,12	15,90	15,71	16,02	15,93	16,25	15,94	15,77	15,90	15,62	16,03	15,44	16,18	15,87	16,29
Total	99,46	99,99	99,99	100,91	100,11	99,67	99,70	99,84	100,86	100,27	99,47	99,63	99,65	99,56	99,44	99,18	99,69	99,56	99,50	99,53	99,85
Si	11,951	11,915	11,963	11,997	11,985	11,960	11,974	11,962	11,971	11,926	11,963	11,994	12,001	11,978	11,983	11,973	11,972	11,977	11,933	12,016	12,020
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	4,045	4,070	4,009	4,002	3,998	4,030	4,017	4,046	4,005	4,035	4,054	4,012	3,986	4,002	3,982	4,048	4,043	4,023	4,047	4,004	3,984
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,000	0,047	0,060	0,046	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,116	0,000	0,000	0,041	0,070	0,077	0,000	0,000	0,049	0,084	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,155	0,129	0,183	0,114	0,188	0,178	0,206	0,237	0,392	0,187	0,213	0,141	0,183	0,210	0,196	0,256	0,196	0,275	0,118	0,173	0,122
K	3,903	3,905	3,818	3,801	3,816	3,836	3,810	3,750	3,665	3,773	3,773	3,847	3,770	3,731	3,772	3,707	3,789	3,648	3,841	3,752	3,847
Z	15,997	15,986	15,972	15,999	15,983	15,990	15,991	16,008	15,976	15,961	16,017	16,006	15,988	15,980	15,965	16,022	16,015	16,000	15,980	16,020	16,004
X	4,059	4,081	4,061	3,961	4,026	4,014	4,016	3,987	4,057	4,075	3,986	3,987	3,994	4,012	4,045	3,962	3,985	3,973	4,043	3,924	3,968
Ab	3,8	3,2	4,6	2,9	4,7	4,4	5,1	5,9	9,7	4,6	5,4	3,5	4,6	5,2	4,8	6,5	4,9	6,9	2,9	4,4	3,1
An	0,0	1,2	1,5	1,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	1,0	1,7	1,9	0,0	0,0	1,2	2,1	0,0	0,0
Or	96,2	96,8	95,4	97,1	95,2	95,6	94,9	94,1	90,3	92,6	94,6	96,5	94,4	93,0	93,3	93,5	95,1	91,8	95,0	95,6	96,9

Ponto					Granito Santana							
	69	70	72	73	4	9	13	16	17	18	19	22
Grão	7	7	8	8	3	5	8	8'	6	6	6	6
Obs	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Borda	Centro	Pertita
SiO ₂	64,35	65,29	64,75	64,52	64,28	63,47	64,38	64,84	64,46	64,22	63,88	64,49
TiO ₂	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	18,47	18,45	18,54	18,42	18,31	18,56	18,41	18,55	18,45	18,28	18,35	18,49
Cr ₂ O ₃	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.
FeO _{total}	0,22	0,39	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,15	0,13	<l.d.	<l.d.	0,11	0,17
MgO	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.
CaO	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MnO	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.
Na ₂ O	0,41	0,45	0,69	0,68	0,39	0,68	0,47	0,41	0,31	0,34	0,35	0,67
K ₂ O	16,01	16,06	15,82	15,54	16,13	15,76	16,19	16,25	16,58	16,49	16,56	15,99
Total	99,47	100,63	99,80	99,16	99,10	98,46	99,59	100,17	99,79	99,33	99,25	99,82
Si	11,957	11,986	11,975	11,992	11,975	11,907	11,955	11,967	11,959	11,968	11,934	11,948
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	4,045	3,991	4,041	4,034	4,020	4,104	4,030	4,034	4,033	4,015	4,041	4,038
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,046	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,147	0,162	0,246	0,245	0,140	0,247	0,168	0,147	0,110	0,122	0,126	0,241
K	3,795	3,760	3,732	3,685	3,834	3,771	3,835	3,827	3,924	3,921	3,946	3,780
Z	16,003	15,977	16,016	16,026	15,995	16,011	15,985	16,001	15,992	15,983	15,975	15,986
X	3,989	4,002	3,979	3,930	3,974	4,018	4,003	3,974	4,034	4,043	4,072	4,021
Ab	3,7	4,0	6,2	6,2	3,5	6,1	4,2	3,7	2,7	3,0	3,1	6,0
An	1,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Or	95,2	94,0	93,8	93,8	96,5	93,9	95,8	96,3	97,3	97,0	96,9	94,0

ANEXO D - Análises de biotitas por microsonda eletrônica

Ponto	Gn. Chácara das Pedras			Granito Saint Hilaire						Granito Pitinga					Granito Independência				Granito Lam		
	36	48	64	42	48	71	73	75	79	1	15	17	23	25	38	42	49	53	1	2	3
Grão	1	2	4	9	10	11	12	13	14	1	5	7	8	4	1	2	5	4	6	7	4
Obs	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro
SiO ₂	36,86	37,13	37,08	37,24	36,40	37,04	37,38	36,42	37,17	37,07	36,32	36,21	36,45	35,85	35,98	36,03	36,11	35,92	37,07	36,27	36,91
TiO ₂	2,17	2,57	2,18	2,33	2,11	3,05	2,30	3,35	1,24	2,84	3,26	2,90	2,92	2,62	1,83	2,55	2,39	2,64	2,68	2,96	2,97
Al ₂ O ₃	15,42	15,39	15,17	15,77	15,11	14,95	15,00	14,54	15,79	15,51	15,45	15,00	15,17	15,57	17,19	16,78	17,39	17,39	13,68	13,92	13,99
Cr ₂ O ₃	<l.d.	0,05	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MgO	9,79	9,53	9,60	10,70	11,27	10,83	11,38	9,90	12,20	10,87	9,86	10,72	10,74	10,23	7,56	6,98	6,88	7,02	10,80	10,09	10,20
CaO	0,05	0,05	0,08	<l.d.	0,12	0,10	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,07	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
MnO	0,30	0,28	0,33	0,49	0,49	0,52	0,53	0,56	0,53	0,49	0,52	0,49	0,47	0,51	0,31	0,38	0,43	0,39	0,90	0,87	0,89
FeO _{total}	20,62	19,86	20,60	18,63	19,31	19,37	19,26	20,13	18,15	18,79	20,26	19,84	20,41	20,41	22,78	23,01	23,53	22,81	20,19	20,40	20,25
Na ₂ O	<l.d.	0,08	<l.d.	0,11	0,07	0,12	<l.d.	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,09	0,07	<l.d.	<l.d.	0,06	0,08	<l.d.	0,07	<l.d.
K ₂ O	8,90	8,64	8,61	9,56	9,08	9,31	9,57	9,44	9,43	9,85	9,63	9,62	9,60	9,57	9,67	9,56	9,61	9,72	9,60	9,39	9,46
H ₂ O _{calc}	3,87	3,87	3,86	3,92	3,89	3,92	3,93	3,86	3,92	3,94	3,90	3,89	3,92	3,87	3,87	3,86	3,90	3,89	3,88	3,83	3,87
Total	97,98	97,45	97,51	98,73	97,84	99,20	99,34	98,25	98,51	99,42	99,26	98,76	99,84	98,70	99,19	99,15	100,30	99,86	98,80	97,80	98,54
Si	5,705	5,749	5,755	5,689	5,660	5,657	5,696	5,653	5,678	5,643	5,581	5,589	5,573	5,550	5,580	5,595	5,553	5,539	5,733	5,681	5,719
Ti	0,252	0,299	0,255	0,268	0,247	0,350	0,264	0,391	0,143	0,325	0,377	0,337	0,336	0,304	0,214	0,298	0,277	0,306	0,312	0,349	0,346
Al	2,812	2,808	2,775	2,839	2,769	2,691	2,694	2,660	2,843	2,783	2,799	2,729	2,734	2,841	3,142	3,071	3,152	3,160	2,494	2,569	2,555
Cr	0,006	0,007	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000
Mg	2,259	2,200	2,222	2,437	2,613	2,466	2,585	2,291	2,778	2,466	2,260	2,468	2,448	2,361	1,749	1,616	1,578	1,614	2,490	2,355	2,357
Ca	0,008	0,009	0,012	0,000	0,020	0,016	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,011	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
Mn	0,040	0,037	0,043	0,063	0,065	0,067	0,068	0,074	0,069	0,063	0,067	0,064	0,061	0,067	0,041	0,050	0,056	0,051	0,118	0,116	0,117
Fe	2,669	2,571	2,674	2,380	2,423	2,474	2,455	2,613	2,319	2,392	2,603	2,561	2,610	2,642	2,950	2,984	3,022	2,937	2,609	2,668	2,621
Na	0,013	0,024	0,015	0,033	0,021	0,036	0,000	0,021	0,021	0,017	0,020	0,025	0,028	0,020	0,008	0,014	0,019	0,023	0,011	0,022	0,006
K	1,756	1,706	1,705	1,863	1,801	1,814	1,861	1,869	1,838	1,913	1,888	1,894	1,874	1,891	1,914	1,895	1,885	1,911	1,894	1,877	1,870
OH	4,000	4,000	4,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Total	19,519	19,409	19,460	17,572	17,619	17,571	17,623	17,572	17,689	19,605	19,596	19,669	19,674	19,681	19,597	19,525	19,545	19,542	19,660	19,636	19,596

ii		Granito São Pedro						Granito São Caetano												Gr. Santana		
4	5	18	22	26	30	34	5	6	29	31	37	38	45	46	50	51	53	71	1	7	8	
8	9	1	2	3	4	9	1a	1a	6	6	7	7	9	9	1	2	4	6	1	3	5	
Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Inclusão	Inclusão	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	Centro	
36,57	36,46	37,66	37,21	37,15	37,16	37,31	37,24	36,31	36,38	37,50	37,48	37,18	36,90	36,56	37,18	36,81	37,28	37,75	36,85	38,63	38,31	
2,69	2,80	2,76	2,20	2,78	2,81	2,46	2,39	2,27	2,13	2,08	1,59	1,42	1,86	2,21	2,08	2,25	2,32	2,21	2,62	2,04	2,05	
13,63	13,49	14,80	15,14	15,08	14,51	15,32	15,07	14,30	16,04	15,50	16,01	16,45	15,47	15,46	14,75	14,49	14,85	15,21	13,98	13,58	13,51	
n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,05	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	
10,43	10,46	10,64	10,67	10,57	10,30	10,38	12,02	11,25	11,49	12,28	12,00	12,06	12,36	12,41	11,89	12,33	11,93	12,68	10,63	11,77	11,26	
<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	<l.d.	0,05	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	
0,84	0,91	0,91	0,79	0,83	0,81	0,84	0,50	0,44	0,49	0,42	0,42	0,41	0,34	0,41	0,50	0,47	0,43	0,51	1,52	1,11	1,21	
20,66	21,21	18,82	19,41	19,39	19,91	19,31	18,60	18,06	17,58	17,09	17,34	16,98	17,62	17,46	19,11	18,82	19,07	17,62	19,44	17,56	18,82	
0,07	0,08	<l.d.	0,06	<l.d.	0,07	0,07	0,08	0,09	<l.d.	0,09	0,07	<l.d.	<l.d.	0,08	<l.d.	0,06	<l.d.	0,06	0,06	<l.d.	<l.d.	
9,46	9,46	9,79	9,87	9,80	9,74	9,76	9,48	9,43	9,60	9,71	9,74	9,43	9,80	9,60	9,65	9,50	9,60	9,75	9,22	9,68	9,63	
3,84	3,85	3,93	3,91	3,93	3,90	3,93	3,95	3,81	3,89	3,95	3,94	3,93	3,92	3,91	3,92	3,91	3,94	3,98	3,86	3,92	3,91	
98,19	98,72	99,32	99,26	99,53	99,21	99,43	99,34	96,00	97,60	98,61	98,59	97,86	98,28	98,16	99,08	98,70	99,41	99,78	98,18	98,33	98,76	
5,710	5,682	5,742	5,700	5,673	5,711	5,698	5,659	5,716	5,605	5,700	5,699	5,674	5,650	5,606	5,685	5,650	5,672	5,684	5,722	5,913	5,880	
0,316	0,328	0,317	0,253	0,320	0,325	0,282	0,273	0,269	0,246	0,237	0,182	0,163	0,215	0,255	0,239	0,260	0,265	0,251	0,306	0,234	0,236	
2,507	2,478	2,659	2,732	2,714	2,627	2,757	2,698	2,653	2,913	2,777	2,868	2,959	2,791	2,793	2,658	2,621	2,663	2,698	2,558	2,449	2,444	
0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,007	0,003	0,003	0,000	0,000	0,002	
2,428	2,430	2,417	2,436	2,406	2,361	2,363	2,723	2,641	2,639	2,781	2,721	2,745	2,820	2,837	2,710	2,822	2,707	2,847	2,461	2,686	2,576	
0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,003	0,008	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	
0,111	0,121	0,117	0,103	0,107	0,106	0,108	0,065	0,059	0,065	0,054	0,054	0,053	0,044	0,054	0,065	0,061	0,055	0,065	0,199	0,144	0,158	
2,694	2,760	2,397	2,483	2,473	2,556	2,463	2,363	2,378	2,266	2,173	2,205	2,167	2,256	2,238	2,443	2,416	2,426	2,219	2,525	2,249	2,416	
0,023	0,023	0,017	0,019	0,005	0,020	0,019	0,024	0,026	0,015	0,025	0,019	0,006	0,013	0,023	0,005	0,019	0,013	0,019	0,018	0,016	0,015	
1,884	1,881	1,903	1,929	1,909	1,910	1,902	1,838	1,893	1,887	1,882	1,889	1,837	1,915	1,877	1,881	1,860	1,864	1,872	1,826	1,890	1,885	
4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	
19,673	19,703	19,571	19,655	19,607	19,615	19,601	19,649	19,646	19,642	19,629	19,638	19,604	19,704	19,693	19,689	19,716	19,669	19,660	19,615	19,581	19,611	

I	
12	20
8	6
Centro	Centro
38,29	38,15
1,94	1,74
14,30	14,50
n.d.	n.d.
11,07	11,29
n.d.	n.d.
1,00	1,07
18,07	18,71
<l.d.	<l.d.
9,89	9,45
3,91	3,92
<u>98,51</u>	<u>98,86</u>
5,867	5,829
0,223	0,199
2,582	2,612
0,000	0,000
2,529	2,571
0,000	0,000
0,130	0,139
2,315	2,391
0,010	0,010
1,934	1,841
4,000	4,000
<u>19,591</u>	<u>19,591</u>

ANEXO E - Análises de anfibólios por microsonda eletrônica

Gnaiss Chácara das Pedras																					
Ponto	28	31	33	34	35	39	42	43	47	50	52	55	57	59	65	70	71	76	77	79	81
Grão	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	9
Obs.	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Borda	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Borda	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Borda
SiO ₂	41,75	42,30	42,10	42,03	42,26	42,79	42,63	40,72	42,52	37,88	42,11	41,96	41,80	41,33	43,33	40,99	42,89	42,51	43,69	41,28	42,37
TiO ₂	1,07	1,25	1,14	0,90	0,39	1,12	1,24	0,45	0,87	1,02	1,25	1,33	0,80	0,61	1,22	0,40	1,27	0,83	1,24	0,30	0,99
Al ₂ O ₃	9,73	10,02	9,67	10,59	10,78	9,96	9,93	12,49	10,34	8,31	9,49	9,84	10,88	12,48	9,37	12,07	9,53	10,94	9,66	11,99	10,53
Fe ₂ O _{3,calc}	3,27	6,16	4,43	5,08	7,44	5,62	5,85	6,39	5,43	3,46	5,58	6,18	5,92	4,61	5,06	6,73	3,75	5,06	4,58	6,94	5,39
FeO,calc	16,73	15,67	17,05	16,46	14,99	16,00	15,92	16,20	16,37	14,83	15,39	15,21	16,00	18,14	16,01	16,32	16,93	16,26	16,53	15,93	16,07
MgO	7,46	8,10	7,19	7,60	7,88	8,16	7,97	6,74	7,63	6,94	8,34	8,21	7,48	5,93	8,33	6,76	7,84	7,78	8,25	7,05	7,76
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MnO	0,52	0,54	0,52	0,52	0,52	0,47	0,55	0,54	0,58	0,46	0,59	0,52	0,55	0,49	0,58	0,55	0,59	0,53	0,60	0,55	0,56
CaO	11,21	11,49	11,03	11,70	11,65	11,68	11,64	11,65	11,75	10,41	11,51	11,49	11,66	11,31	11,70	11,67	11,54	11,66	11,64	11,65	11,64
Na ₂ O	0,92	1,00	0,81	1,08	1,03	0,99	0,86	1,09	0,93	0,78	1,08	0,97	1,03	0,92	0,91	1,13	0,93	1,11	0,97	1,12	0,97
K ₂ O	1,20	1,31	1,12	1,25	1,10	1,25	1,23	1,42	1,24	0,97	1,19	1,22	1,20	1,47	1,12	1,30	1,21	1,20	1,19	1,34	1,22
H ₂ O,calc	1,88	1,94	1,89	1,93	1,94	1,95	1,94	1,92	1,94	1,70	1,92	1,92	1,93	1,92	1,95	1,92	1,93	1,95	1,96	1,93	1,94
Total	95,74	99,79	96,96	99,15	99,99	100,00	99,76	99,62	99,59	86,76	98,46	98,84	99,26	99,22	99,57	99,84	98,40	99,83	100,32	100,06	99,42
Fe ³⁺ /Fe* =	0,150	0,261	0,190	0,217	0,309	0,240	0,249	0,262	0,230	0,173	0,246	0,268	0,250	0,186	0,221	0,271	0,166	0,219	0,200	0,282	0,232
Sítio T																					
Si	6,611	6,447	6,599	6,453	6,417	6,499	6,492	6,247	6,494	6,623	6,495	6,446	6,410	6,370	6,592	6,280	6,614	6,462	6,598	6,298	6,471
Al ^{IV}	1,389	1,553	1,401	1,547	1,583	1,501	1,508	1,753	1,506	1,377	1,505	1,554	1,590	1,630	1,408	1,720	1,386	1,538	1,402	1,702	1,529
Al(total)	1,817	1,800	1,787	1,917	1,930	1,784	1,782	2,259	1,861	1,712	1,725	1,782	1,967	2,268	1,680	2,179	1,732	1,961	1,719	2,156	1,895
Al ^{VI}	0,429	0,246	0,385	0,371	0,347	0,283	0,274	0,506	0,355	0,335	0,220	0,228	0,377	0,638	0,272	0,459	0,346	0,423	0,317	0,454	0,366
Ti	0,128	0,144	0,134	0,104	0,044	0,128	0,142	0,052	0,100	0,134	0,145	0,153	0,092	0,071	0,140	0,047	0,148	0,095	0,141	0,034	0,114
Fe ³⁺	0,390	0,707	0,523	0,587	0,851	0,643	0,671	0,738	0,625	0,455	0,648	0,715	0,684	0,535	0,579	0,775	0,435	0,579	0,521	0,797	0,619
Mg	1,760	1,840	1,679	1,738	1,783	1,847	1,808	1,541	1,737	1,808	1,917	1,881	1,709	1,363	1,889	1,543	1,802	1,762	1,858	1,603	1,766
Mn	0,070	0,070	0,069	0,068	0,067	0,060	0,071	0,070	0,075	0,069	0,077	0,067	0,072	0,064	0,074	0,071	0,077	0,068	0,077	0,071	0,073
Fe ²⁺	2,216	1,994	2,210	2,114	1,904	2,032	2,027	2,078	2,091	2,169	1,985	1,954	2,052	2,330	2,037	2,091	2,183	2,067	2,087	2,032	2,053
Ca	0,008	0,000	0,000	0,018	0,004	0,007	0,007	0,014	0,018	0,031	0,008	0,002	0,014	0,000	0,010	0,010	0,010	0,006	0,000	0,009	0,009
Soma M1,2,3	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Fe	0,000	0,004	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Ca	1,894	1,877	1,853	1,906	1,890	1,894	1,893	1,901	1,905	1,920	1,894	1,888	1,902	1,868	1,896	1,901	1,897	1,893	1,884	1,896	1,896
Na	0,106	0,119	0,122	0,094	0,110	0,106	0,107	0,099	0,095	0,080	0,106	0,112	0,098	0,124	0,104	0,099	0,103	0,107	0,115	0,104	0,104
Soma M4	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,177	0,177	0,124	0,229	0,194	0,184	0,147	0,225	0,179	0,184	0,218	0,178	0,208	0,151	0,165	0,237	0,176	0,221	0,169	0,226	0,182
K	0,243	0,255	0,224	0,245	0,213	0,243	0,240	0,278	0,242	0,215	0,235	0,239	0,235	0,289	0,217	0,254	0,237	0,233	0,229	0,261	0,237
Soma A	0,420	0,432	0,348	0,474	0,408	0,427	0,387	0,504	0,422	0,399	0,453	0,417	0,443	0,440	0,382	0,491	0,413	0,454	0,398	0,487	0,419
Sítio OH	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Soma cátions	15,420	15,432	15,348	15,474	15,408	15,427	15,387	15,504	15,422	15,399	15,453	15,417	15,443	15,440	15,382	15,491	15,413	15,454	15,398	15,487	15,419
Plagioclásio	1	1	1				2	2	2	3			4	4		5	5	6	6		9
XAb	0,559	0,641	0,556				0,587	0,559	0,643	0,552			0,549	0,565		0,550	0,565	0,556	0,587		0,587
XAn	0,433	0,352	0,436				0,294	0,435	0,350	0,442			0,442	0,430		0,445	0,430	0,438	0,294		0,397
T (°C)	701	742	719				714	731	698	704			737	701		739	715	726	699		720
P(kb)	5,3	4,5	4,9				4,9	6,8	5,6	4,8			5,4	7,4		6,2	4,7	5,5	4,9		5,3

Ponto	Granito Saint Hilaire																				
	82	1	2	5	6	9	15	19	23	24	30	31	36	37	38	44	54	55	60	61	63
Grão	9	1	1	4	4	5	5	7	7	7	8	8	9	9	9	10	11	11	12	12	12
Obs.	Borda	Borda	Centro	Borda	Centro	Centro	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Borda	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Borda	Borda
SiO ₂	43,72	45,07	45,26	45,05	46,38	44,62	44,42	45,58	44,59	47,27	45,44	44,64	46,39	45,26	45,02	44,31	45,09	44,55	44,90	44,80	44,67
TiO ₂	1,28	1,46	1,58	1,64	0,89	1,41	0,57	1,45	1,04	1,26	1,04	1,23	0,79	0,79	1,33	0,70	1,51	0,53	1,42	1,48	1,19
Al ₂ O ₃	9,01	8,32	8,30	8,36	8,59	8,79	8,51	8,00	8,44	6,31	7,96	8,52	8,35	8,35	8,21	8,80	8,42	9,46	8,17	8,33	8,00
Fe ₂ O _{3,calc}	4,93	4,38	4,33	4,10	4,06	4,93	5,74	3,87	5,26	4,38	4,24	3,27	3,73	4,99	4,15	5,61	3,84	5,94	4,39	4,30	3,67
FeO _{3,calc}	15,92	13,82	13,37	13,93	13,60	13,97	12,64	14,48	13,52	14,20	14,07	14,88	13,04	13,80	13,31	13,73	13,95	14,22	13,76	13,91	14,95
MgO	8,69	10,49	10,82	10,48	10,41	9,98	10,13	10,23	10,17	10,09	10,31	9,55	11,11	10,07	10,46	9,73	10,57	9,34	10,42	10,32	9,73
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MnO	0,56	0,83	0,78	0,74	0,88	0,79	0,79	0,74	0,86	0,80	0,79	0,78	0,68	0,79	0,78	0,83	0,74	0,76	0,78	0,82	0,74
CaO	11,56	11,40	11,35	11,43	11,03	11,33	11,61	11,25	11,36	11,29	11,42	11,45	11,66	11,45	11,54	11,46	11,37	11,56	11,34	11,38	11,26
Na ₂ O	1,00	1,18	1,19	1,14	1,18	1,12	0,89	1,03	1,15	1,23	1,10	1,02	0,83	0,98	0,92	1,12	1,30	1,08	1,15	1,21	1,15
K ₂ O	1,13	1,00	0,92	0,95	0,52	0,93	0,77	0,89	0,97	0,70	0,86	0,84	0,83	0,88	0,83	0,91	1,00	0,87	0,94	0,90	0,94
H ₂ O _{3,calc}	1,95	1,98	1,99	1,99	2,00	1,98	1,94	1,98	1,96	2,01	1,97	1,95	2,00	1,97	1,97	1,96	1,99	1,98	1,97	1,97	1,95
Total	99,74	99,93	99,88	99,81	99,53	99,86	98,00	99,50	99,33	99,54	99,22	98,14	99,41	99,32	98,52	99,16	99,77	100,28	99,25	99,43	98,25
Fe ³⁺ /Fe ^{*+} =	0,218	0,222	0,226	0,209	0,212	0,241	0,290	0,194	0,259	0,217	0,213	0,165	0,205	0,246	0,219	0,269	0,199	0,273	0,223	0,218	0,181
Sítio T																					
Si	6,630	6,736	6,746	6,735	6,892	6,685	6,751	6,831	6,716	6,750	6,832	6,798	6,892	6,800	6,793	6,696	6,743	6,663	6,753	6,732	6,811
Al ^{IV}	1,370	1,264	1,254	1,265	1,108	1,315	1,249	1,169	1,284	1,250	1,168	1,202	1,108	1,200	1,207	1,304	1,257	1,337	1,247	1,268	1,189
Al(total)	1,611	1,466	1,459	1,474	1,504	1,552	1,524	1,414	1,499	1,497	1,411	1,530	1,463	1,478	1,460	1,568	1,484	1,669	1,449	1,476	1,439
Al ^{VI}	0,242	0,202	0,204	0,209	0,396	0,237	0,275	0,245	0,214	0,246	0,243	0,328	0,355	0,278	0,254	0,264	0,227	0,332	0,202	0,208	0,250
Ti	0,145	0,164	0,177	0,184	0,099	0,159	0,065	0,163	0,118	0,119	0,118	0,140	0,088	0,089	0,151	0,080	0,170	0,060	0,160	0,167	0,137
Fe ³⁺	0,562	0,493	0,485	0,461	0,454	0,556	0,656	0,436	0,596	0,496	0,480	0,375	0,417	0,564	0,471	0,638	0,432	0,668	0,497	0,487	0,421
Mg	1,963	2,336	2,403	2,335	2,305	2,228	2,294	2,285	2,284	2,265	2,310	2,167	2,459	2,254	2,353	2,191	2,355	2,081	2,337	2,310	2,211
Mn	0,072	0,105	0,099	0,094	0,111	0,100	0,101	0,094	0,110	0,106	0,100	0,101	0,085	0,101	0,100	0,106	0,093	0,096	0,100	0,105	0,096
Fe ²⁺	2,015	1,700	1,632	1,717	1,636	1,720	1,606	1,776	1,678	1,768	1,748	1,889	1,596	1,714	1,671	1,720	1,721	1,763	1,703	1,723	1,886
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma M1,2,3	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Fe	0,004	0,028	0,034	0,025	0,055	0,031	0,000	0,039	0,024	0,020	0,021	0,007	0,025	0,020	0,009	0,014	0,024	0,015	0,027	0,025	0,020
Ca	1,878	1,826	1,813	1,832	1,756	1,819	1,888	1,807	1,834	1,843	1,840	1,869	1,856	1,843	1,867	1,855	1,822	1,854	1,828	1,832	1,840
Na	0,119	0,146	0,153	0,143	0,189	0,150	0,112	0,154	0,142	0,137	0,138	0,124	0,118	0,137	0,124	0,131	0,155	0,131	0,145	0,143	0,140
Soma M4	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,174	0,196	0,190	0,188	0,151	0,175	0,150	0,145	0,193	0,225	0,182	0,178	0,120	0,148	0,143	0,197	0,221	0,183	0,191	0,209	0,200
K	0,219	0,191	0,175	0,182	0,099	0,178	0,149	0,170	0,187	0,183	0,166	0,164	0,158	0,169	0,160	0,175	0,190	0,167	0,180	0,173	0,184
Soma A	0,393	0,387	0,364	0,370	0,250	0,353	0,299	0,314	0,381	0,407	0,348	0,342	0,278	0,317	0,304	0,372	0,411	0,349	0,371	0,382	0,384
Sítio OH	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Soma cátions	15,393	15,387	15,364	15,370	15,250	15,353	15,299	15,314	15,381	15,407	15,348	15,342	15,278	15,317	15,304	15,372	15,411	15,349	15,371	15,382	15,384
Plagioclásio	9	1	1	4	4	5	5	7a	7a	7b	8	8	9	9a	9b	10	11	11	12a'	12b	12
XAb	0,527	0,778	0,689	0,754	0,667	0,734	0,728	0,727	0,726	0,722	0,721	0,682	0,709	0,707	0,728	0,718	0,700	0,734	0,769	0,724	0,743
XAn	0,461	0,216	0,297	0,242	0,329	0,252	0,263	0,264	0,268	0,247	0,271	0,314	0,286	0,286	0,270	0,273	0,292	0,257	0,222	0,271	0,250
T (°C)	759	684	719	691	674	697	664	682	702	686	681	672	638	678	672	690	713	671	684	705	676
P(kb)	3,4	3,9	3,4	3,8	4,2	4,1	4,3	3,7	3,8	4,0	3,7	4,3	4,2	4,0	4,0	4,3	3,6	5,0	3,8	3,7	3,8

Granito São Caetano																				
Ponto	66	1	8	11	12	13	17	18	20	21	25	26	33	34	39	40	48	48	49	
Grão	12	1	1	2	3a	3a	3b	3b	4	4	5	5'	7	7	8	8	9	9	9	
Obs.	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Centro	Borda	Borda	Borda	Centro
SiO ₂	44,07	45,17	44,38	44,21	46,03	43,90	44,90	44,42	44,58	44,14	46,27	44,11	44,17	44,19	44,54	44,98	44,28	44,28	44,84	
TiO ₂	0,69	0,75	0,89	1,09	0,37	1,11	0,88	0,88	0,87	0,97	0,30	0,86	1,61	0,70	0,94	0,89	0,71	0,71	0,42	
Al ₂ O ₃	8,92	8,27	8,89	8,83	7,31	9,28	8,59	8,56	8,70	8,58	7,49	9,05	9,01	9,12	8,91	8,74	8,96	8,96	8,57	
Fe ₂ O _{3,calc}	5,10	6,04	6,21	6,21	6,13	5,42	5,36	5,32	5,05	5,29	5,95	6,18	5,19	6,35	5,03	5,81	5,36	5,36	6,27	
FeO _{3,calc}	14,46	12,79	12,74	12,54	11,98	13,62	13,42	13,92	13,62	13,25	12,58	13,42	13,81	13,25	13,42	13,00	13,52	13,52	12,28	
MgO	9,31	10,72	10,41	10,44	11,37	9,99	10,46	10,01	10,37	10,40	11,04	10,05	10,22	9,89	10,39	10,55	9,81	9,81	10,59	
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	
MnO	0,81	0,78	0,59	0,70	0,67	0,64	0,65	0,63	0,63	0,60	0,61	0,69	0,66	0,68	0,66	0,62	0,66	0,66	0,64	
CaO	11,51	11,61	11,73	11,90	11,72	11,52	11,66	11,57	11,55	11,97	11,60	11,52	11,72	11,79	11,61	11,69	11,69	11,69	11,86	
Na ₂ O	1,17	1,12	1,01	0,95	1,05	1,19	1,17	1,17	1,31	1,21	0,94	1,22	1,21	0,98	1,19	1,06	0,92	0,92	0,93	
K ₂ O	0,85	0,97	0,98	0,96	0,67	1,08	0,96	0,95	0,96	1,00	0,61	1,03	1,10	1,03	0,98	0,98	0,93	0,93	0,83	
H ₂ O _{3,calc}	1,95	1,98	1,97	1,97	1,98	1,97	1,98	1,96	1,97	1,96	1,99	1,97	1,98	1,97	1,98	1,99	1,96	1,96	1,97	
Total	98,86	100,20	99,80	99,80	99,29	99,71	100,03	99,39	99,62	98,95	99,76	100,17	100,48	99,88	99,82	100,23	98,80	98,80	99,20	
Fe ³⁺ /Fe ^{*+} =	0,241	0,298	0,305	0,308	0,315	0,264	0,264	0,256	0,250	0,264	0,299	0,293	0,253	0,301	0,252	0,287	0,263	0,263	0,315	
Sítio T																				
Si	6,696	6,729	6,643	6,621	6,875	6,599	6,708	6,698	6,693	6,672	6,885	6,608	6,592	6,630	6,669	6,694	6,699	6,699	6,728	
Al ^{IV}	1,304	1,271	1,357	1,379	1,125	1,401	1,292	1,302	1,307	1,328	1,115	1,392	1,408	1,370	1,331	1,306	1,301	1,301	1,272	
Al(total)	1,597	1,452	1,568	1,558	1,288	1,644	1,512	1,522	1,541	1,529	1,313	1,599	1,585	1,614	1,573	1,534	1,599	1,599	1,516	
Al ^{VI}	0,293	0,181	0,211	0,179	0,162	0,244	0,220	0,220	0,233	0,201	0,198	0,206	0,177	0,244	0,242	0,229	0,298	0,298	0,244	
Ti	0,079	0,084	0,100	0,122	0,042	0,125	0,099	0,099	0,098	0,110	0,034	0,096	0,180	0,079	0,105	0,099	0,080	0,080	0,048	
Fe ³⁺	0,584	0,677	0,700	0,700	0,689	0,613	0,603	0,604	0,571	0,602	0,667	0,697	0,582	0,717	0,567	0,651	0,611	0,611	0,707	
Mg	2,108	2,381	2,321	2,330	2,530	2,239	2,328	2,249	2,321	2,342	2,448	2,243	2,273	2,212	2,319	2,341	2,211	2,211	2,367	
Mn	0,105	0,099	0,075	0,088	0,085	0,081	0,083	0,080	0,080	0,076	0,077	0,087	0,083	0,086	0,084	0,078	0,085	0,085	0,082	
Fe ²⁺	1,832	1,578	1,593	1,570	1,492	1,698	1,667	1,748	1,698	1,668	1,566	1,670	1,704	1,662	1,681	1,602	1,711	1,711	1,542	
Ca	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,004	0,004	0,010	
Soma M1,2,3	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	
Fe	0,005	0,015	0,002	0,000	0,005	0,014	0,009	0,008	0,013	0,006	0,000	0,011	0,020	0,001	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	
Ca	1,874	1,853	1,881	1,898	1,875	1,856	1,866	1,869	1,859	1,873	1,898	1,862	1,843	1,884	1,889	1,851	1,890	1,890	1,897	
Na	0,120	0,132	0,117	0,102	0,120	0,130	0,125	0,123	0,129	0,121	0,102	0,127	0,137	0,115	0,111	0,133	0,110	0,110	0,103	
Soma M4	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Na	0,226	0,192	0,175	0,174	0,183	0,216	0,213	0,220	0,252	0,233	0,169	0,226	0,214	0,170	0,235	0,173	0,161	0,161	0,168	
K	0,166	0,184	0,188	0,184	0,128	0,207	0,183	0,183	0,185	0,193	0,116	0,197	0,210	0,197	0,188	0,186	0,180	0,180	0,160	
Soma A	0,391	0,377	0,363	0,358	0,311	0,424	0,396	0,403	0,437	0,426	0,285	0,423	0,425	0,366	0,422	0,360	0,341	0,341	0,328	
Sítio OH	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
Soma cátions	15,391	15,377	15,363	15,358	15,311	15,424	15,396	15,403	15,437	15,426	15,285	15,423	15,425	15,366	15,422	15,360	15,341	15,341	15,328	
Plagioclásio	12a	1	1	2	3a	3ab	3b	3ab	4	4						8	9	9	9	
XAb	0,742	0,693	0,705	0,641	0,732	0,708	0,673	0,708	0,701	0,596						0,720	0,684	0,726	0,723	
XAn	0,243	0,280	0,290	0,344	0,259	0,285	0,322	0,285	0,287	0,393						0,274	0,307	0,220	0,264	
T (°C)	670	711	705	727	684	712	715	703	707	749						697	680	652	671	
P(kb)	4,6	3,5	4,1	3,7	3,0	4,4	3,7	3,9	3,9	3,2						4,0	4,6	4,8	4,2	

ANEXO F - Análises de Titanitas por microsonda eletrônica

Gnaiss Chácara das Pedras																						
Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	24	25	26	27	28
Grão	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4B	4B	4B	4B	4B
P ₂ O ₅	0,04	0,09	0,04	<l.d.	0,05	0,04	0,03	0,05	0,05	0,03	0,06	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Nb ₂ O ₅	n.d.	0,04	<l.d.	<l.d.	0,35	0,08	0,40	0,28	0,15	0,40	0,30	0,06	0,05	0,06	<l.d.	0,06	0,42	0,13	0,09	0,08	0,22	0,16
SiO ₂	30,35	30,07	30,23	30,53	30,23	29,99	30,07	29,78	29,94	27,91	29,96	30,34	30,50	30,30	30,27	30,98	30,40	30,04	30,30	29,88	29,79	29,91
TiO ₂	35,52	33,27	35,12	31,13	36,15	35,44	35,24	35,31	35,96	30,75	35,57	31,37	36,18	35,53	35,65	31,92	36,33	36,43	36,51	36,50	36,36	36,20
ZrO ₂	<l.d.	0,01	<l.d.	0,02	0,04	0,01	0,05	0,04	0,02	0,03	0,04	0,01	<l.d.	0,01	0,23	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
ThO ₂	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	2,51	2,87	2,37	4,82	1,68	2,33	2,06	2,04	2,17	1,75	1,99	4,60	2,28	2,52	2,55	4,95	1,91	1,69	1,87	1,84	1,71	1,75
Fe ₂ O ₃	1,10	4,18	1,19	3,66	1,01	1,19	1,37	1,43	1,37	0,97	1,29	3,65	1,02	1,17	1,16	2,67	1,23	0,99	1,01	1,01	1,21	1,30
Y ₂ O ₃	0,12	<l.d.	<l.d.	n.d.	0,37	0,07	0,48	0,43	0,11	0,25	0,14	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	0,11	0,03	<l.d.	0,04	0,15	0,17
Ce ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	0,17	<l.d.	0,19	0,14	<l.d.	0,16	0,12	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,09	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,17	0,21
La ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.
Pr ₂ O ₃	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
Nd ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,20	<l.d.	0,25	0,08	0,13	0,11	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	0,07	0,12	0,12	0,10	0,38	0,41	
Sm ₂ O ₃	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,14	<l.d.
MgO	0,05	0,05	n.d.	0,86	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	1,16	n.d.	<l.d.	n.d.	0,44	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
CaO	27,64	26,13	27,80	25,37	27,17	27,85	27,39	27,22	27,54	23,68	27,60	26,43	28,24	28,10	28,19	27,10	27,62	27,76	27,77	27,68	27,34	27,31
MnO	0,08	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,16	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	<l.d.	0,08	<l.d.	<l.d.	0,11	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,09	0,10
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.
F	0,68	0,67	0,64	0,59	0,36	0,62	0,44	0,41	0,43	0,39	0,42	0,47	0,50	0,63	0,61	0,63	0,35	0,37	0,45	0,50	0,39	0,37
OH _{Calc}	0,46	1,25	0,48	1,86	0,45	0,47	0,59	0,61	0,63	0,44	0,56	1,90	0,53	0,52	0,56	1,66	0,58	0,45	0,44	0,39	0,48	0,53
Total	98,53	98,63	97,87	98,83	98,37	98,19	98,65	98,03	98,53	86,99	98,25	100,11	99,32	98,95	99,25	100,44	99,28	98,07	98,62	98,09	98,51	98,51
P	0,001	0,003	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Nb	0,000	0,001	0,000	0,000	0,005	0,001	0,006	0,004	0,002	0,007	0,005	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,006	0,002	0,001	0,001	0,003	0,002
Si	1,004	1,005	1,006	1,008	1,008	0,996	1,001	0,997	0,994	1,050	0,998	0,986	1,000	0,998	0,994	1,004	1,003	1,000	1,003	0,995	0,994	0,997
Ti	0,884	0,836	0,879	0,773	0,907	0,885	0,883	0,889	0,898	0,870	0,892	0,767	0,893	0,880	0,881	0,778	0,902	0,913	0,909	0,915	0,912	0,908
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,098	0,113	0,093	0,188	0,066	0,091	0,081	0,080	0,085	0,077	0,078	0,176	0,088	0,098	0,099	0,189	0,074	0,066	0,073	0,072	0,067	0,069
Fe	0,027	0,105	0,030	0,091	0,025	0,030	0,034	0,036	0,034	0,028	0,032	0,089	0,025	0,029	0,029	0,065	0,030	0,025	0,025	0,025	0,030	0,033
Y	0,002	0,000	0,000	0,000	0,006	0,001	0,008	0,008	0,002	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,003	0,003
Ce	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
La	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,005
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Mg	0,002	0,002	0,000	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,980	0,935	0,991	0,898	0,971	0,991	0,977	0,977	0,980	0,955	0,985	0,920	0,992	0,991	0,992	0,941	0,976	0,990	0,985	0,988	0,977	0,976
Mn	0,002	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,072	0,071	0,067	0,061	0,038	0,065	0,046	0,044	0,045	0,047	0,044	0,048	0,051	0,066	0,063	0,064	0,037	0,039	0,047	0,052	0,041	0,039
OH	0,053	0,147	0,056	0,217	0,053	0,055	0,069	0,073	0,074	0,058	0,066	0,218	0,062	0,061	0,065	0,190	0,068	0,053	0,051	0,045	0,057	0,062
O	4,890	4,846	4,887	4,782	4,931	4,886	4,902	4,901	4,899	4,937	4,902	4,757	4,895	4,880	4,881	4,785	4,918	4,919	4,918	4,915	4,919	4,917
Σ F + OH + O	5,015	5,064	5,009	5,060	5,022	5,007	5,017	5,018	5,018	5,042	5,013	5,022	5,009	5,007	5,008	5,039	5,023	5,010	5,016	5,013	5,017	5,018
Σ sítio Ca	0,984	0,935	0,991	0,898	0,984	0,995	0,990	0,989	0,984	0,965	0,991	0,923	0,992	0,994	0,992	0,941	0,982	0,991	0,985	0,988	0,985	0,984
Σ sítio Ti	1,009	1,055	1,002	1,052	1,004	1,008	1,005	1,011	1,020	0,983	1,007	1,034	1,006	1,008	1,012	1,033	1,013	1,006	1,009	1,014	1,014	1,013
Σ sítio Si	1,005	1,007	1,007	1,008	1,010	0,997	1,002	0,998	0,995	1,051	1,000	0,987	1,001	0,999	0,995	1,005	1,004	1,002	1,005	0,997	0,995	0,999
X Al	0,097	0,107	0,093	0,178	0,066	0,090	0,081	0,080	0,084	0,079	0,078	0,171	0,088	0,097	0,098	0,183	0,074	0,066	0,072	0,071	0,067	0,068
X F	0,014	0,014	0,013	0,012	0,008	0,																

Ponto Grão											Granito Saint Hilaire											
	29 4B	30 4B	31 5	32 5	33 5	34 5	35 5	36 5	37 5	38 5	40 1	41 1	42 1	43 1	44 1	45 2'	46 2'	47 2'	48 2'	49 2'	50 2'	56 3
P ₂ O ₅	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,09	0,09	0,07	0,07	0,07	0,14	0,09	0,07	0,11	0,11	0,07	0,09	0,12
Nb ₂ O ₅	0,12	<.d.	0,25	0,21	0,20	0,21	0,23	0,39	0,18	0,18	0,13	<.d.	<.d.	n.d.	0,21	0,09	n.d.	0,21	0,10	<.d.	0,09	0,20
SiO ₂	30,02	30,06	30,02	30,33	30,06	29,89	30,00	29,92	30,03	30,18	30,09	30,31	30,19	31,21	30,15	30,14	30,60	29,85	30,34	30,54	30,05	30,16
TiO ₂	35,99	35,80	36,42	36,33	36,34	36,44	36,23	36,21	36,38	35,42	35,22	36,27	36,68	36,32	36,52	36,24	36,07	36,63	36,25	36,29	36,61	36,24
ZrO ₂	0,10	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,07	0,08	0,04	0,04	0,02	0,08	0,06	0,03	0,08	0,07	0,05	0,06	0,06
ThO ₂	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	n.d.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Al ₂ O ₃	1,94	2,05	1,87	1,79	1,84	1,82	1,86	1,85	1,87	1,31	1,45	1,32	1,10	1,62	1,04	1,23	1,50	1,03	1,14	1,39	1,01	1,04
Fe ₂ O ₃	1,27	1,15	1,09	1,14	1,02	1,14	1,09	1,15	1,14	1,78	1,79	1,35	1,24	1,51	1,35	1,50	1,72	1,40	1,58	1,60	1,32	1,19
Y ₂ O ₃	0,11	<.d.	0,27	0,21	0,23	0,21	0,25	0,30	0,23	0,48	0,31	0,05	0,05	<.d.	0,11	0,05	<.d.	0,12	0,08	<.d.	0,05	<.d.
Ce ₂ O ₃	0,12	<.d.	0,10	0,10	<.d.	0,07	<.d.	0,08	0,08	1,03	1,07	0,44	0,49	0,12	1,25	0,62	0,23	1,06	0,94	0,34	0,57	0,62
La ₂ O ₃	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	0,16	0,24	0,16	0,16	0,07	0,39	0,25	0,10	0,41	0,29	0,12	0,24	0,21
Pr ₂ O ₃	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	n.d.	n.d.	<.d.	n.d.	<.d.	0,21	0,18	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.
Nd ₂ O ₃	0,36	<.d.	0,12	0,10	0,09	0,09	0,10	0,17	0,10	0,84	0,61	0,16	0,18	0,07	0,42	0,22	0,09	0,45	0,39	0,16	0,24	0,20
Sm ₂ O ₃	0,18	<.d.	<.d.	n.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	0,22	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.
MgO	<.d.	n.d.	n.d.	<.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<.d.	n.d.	<.d.	<.d.	n.d.	<.d.	<.d.	<.d.	n.d.	n.d.
CaO	27,38	27,87	27,85	27,79	27,75	27,63	27,62	27,44	27,71	26,31	26,54	27,31	27,37	27,65	26,50	27,28	27,69	26,48	26,88	27,37	27,09	27,25
MnO	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	0,11	0,09	0,15	0,13	0,16	0,18	0,16	0,14	0,19	0,18	0,17	0,13	0,18	0,16	0,17
Na ₂ O	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	n.d.	n.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	<.d.	n.d.	<.d.	<.d.	<.d.	n.d.	<.d.	<.d.	n.d.	n.d.	<.d.
F	0,38	0,49	0,51	0,55	0,60	0,48	0,49	0,50	0,40	0,23	0,29	0,32	0,36	0,55	0,13	0,28	0,50	0,19	0,30	0,30	0,30	0,23
OH _{Calc}	0,58	0,49	0,40	0,35	0,29	0,43	0,41	0,41	0,51	0,61	0,61	0,44	0,31	0,37	0,52	0,48	0,42	0,47	0,45	0,54	0,35	0,40
Total	98,61	97,95	98,98	98,97	98,47	98,48	98,35	98,60	98,81	99,26	98,82	98,41	98,41	99,74	98,93	98,73	99,20	98,65	99,06	98,93	98,22	98,08
P	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003
Nb	0,002	0,000	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,006	0,003	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,003	0,002	0,000	0,001	0,003
Si	0,999	1,000	0,993	1,003	0,998	0,994	0,998	0,995	0,995	1,013	1,011	1,011	1,008	1,023	1,011	1,005	1,010	1,004	1,013	1,013	1,007	1,011
Ti	0,901	0,896	0,907	0,904	0,908	0,912	0,907	0,906	0,907	0,895	0,890	0,910	0,921	0,896	0,922	0,909	0,896	0,927	0,910	0,905	0,923	0,914
Zr	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,076	0,081	0,073	0,070	0,072	0,071	0,073	0,072	0,073	0,052	0,057	0,052	0,043	0,063	0,041	0,048	0,059	0,041	0,045	0,054	0,040	0,041
Fe	0,032	0,029	0,027	0,028	0,025	0,029	0,027	0,029	0,028	0,045	0,045	0,034	0,031	0,037	0,034	0,038	0,043	0,043	0,040	0,040	0,033	0,030
Y	0,002	0,000	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,009	0,006	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000
Ce	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,013	0,013	0,005	0,006	0,001	0,015	0,008	0,003	0,013	0,012	0,004	0,007	0,008
La	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001	0,005	0,003	0,001	0,005	0,004	0,001	0,003	0,003
Pr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,004	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,010	0,007	0,002	0,002	0,001	0,005	0,003	0,001	0,005	0,005	0,002	0,003	0,002
Sm	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,976	0,993	0,987	0,984	0,987	0,984	0,985	0,978	0,983	0,946	0,955	0,976	0,978	0,971	0,953	0,975	0,980	0,954	0,961	0,972	0,973	0,979
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,040	0,052	0,053	0,057	0,063	0,050	0,052	0,053	0,042	0,024	0,030	0,034	0,038	0,057	0,014	0,030	0,053	0,021	0,032	0,031	0,032	0,024
OH	0,068	0,058	0,047	0,041	0,034	0,050	0,048	0,048	0,060	0,072	0,072	0,052	0,036	0,043	0,061	0,056	0,049	0,056	0,053	0,063	0,042	0,047
O	4,913	4,898	4,911	4,917	4,915	4,915	4,915	4,917	4,912	4,936	4,925	4,930	4,938	4,924	4,958	4,928	4,912	4,955	4,942	4,925	4,944	4,942
Σ F + OH + O	5,020	5,007	5,011	5,015	5,012	5,015	5,015	5,018	5,013	5,033	5,027	5,015	5,012	5,024	5,034	5,014	5,014	5,031	5,026	5,020	5,018	5,013
Σ sítio Ca	0,980	0,993	0,993	0,989	0,991	0,989	0,989	0,988	0,991	0,974	0,981	0,989	0,992	0,978	0,979	0,992	0,989	0,979	0,982	0,983	0,988	0,994
Σ sítio Ti	1,013	1,005	1,011	1,005	1,009	1,015	1,011	1,014	1,012	0,995	0,996	0,997	0,996	0,996	1,001	0,997	0,998	1,008	0,998	1,000	0,999	0,989
Σ sítio Si	1,001	1,001	0,995	1,004	0,999	0,995	0,999	0,997	0,996	1,016	1,013	1,013	1,010	1,025	1,015	1,008	1,012	1,007	1,016	1,015	1,010	1,014
X Al	0,075	0,080	0,073	0,070	0,072	0,071	0,072	0,072	0,072	0,052	0,058	0,052	0,043	0,063	0,041	0,049	0,059	0,041	0,045	0,054	0,040	0,042
X F	0,008	0,010	0,011	0,011	0,013	0,010	0,010	0,011	0,008	0,005	0,006	0,007	0,008	0,011	0,003	0,006	0,010	0,004	0,006	0,006	0,006	0,005
Zr, ppm	766	67	173	170	133	216	170	207	262	492	577	326	325	167	560	447	251	576	523	345	467	434
P (GPa)	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
a(TiO ₂)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
a(SiO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T(°C)	778	653	698	697	685	709	697	707	719	732	741	710	710	677	739	727	697	741	736	713	729	725

Ponto																Granito Pitinga						
	58	59	60	61	67	68	69	66	62	63	64	65	51	52	53	54	55	1	2	3	4	5
Grão	3	3	3	3	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	5'	1S	1S	1S	1S	1S	1B	1B	1B	1B	1B
P ₂ O ₅	0,12	n.d.	0,10	0,07	0,07	0,05	0,07	0,12	0,04	0,05	0,07	0,05	0,07	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06	0,07	0,04	0,06	0,09
Nb ₂ O ₅	0,15	<l.d.	0,06	<l.d.	n.d.	n.d.	0,07	0,15	<l.d.	n.d.	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	0,07	0,19	0,18	0,20	0,15	0,29
SiO ₂	30,27	30,49	30,45	23,97	30,45	30,52	30,90	30,60	31,06	30,67	30,73	30,89	30,73	30,71	30,84	30,64	30,78	29,67	29,28	29,56	29,98	29,68
TiO ₂	36,87	36,52	36,52	35,90	35,71	35,97	36,22	35,98	36,47	36,67	36,41	36,13	37,10	37,27	37,00	36,06	36,15	33,03	33,64	33,65	35,01	35,42
ZrO ₂	0,05	<l.d.	0,05	0,04	0,04	<l.d.	0,04	0,07	0,01	0,01	0,04	0,01	<l.d.	0,01	<l.d.	0,01	<l.d.	0,07	0,12	0,07	0,06	0,07
ThO ₂	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	<l.d.	<l.d.	0,07	<l.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	1,07	1,48	1,33	1,46	1,48	1,68	1,52	1,11	1,53	1,59	1,58	1,63	1,21	1,18	1,43	1,69	1,59	2,06	2,00	2,01	1,83	1,70
Fe ₂ O ₃	1,20	0,97	1,31	1,39	1,49	1,75	1,12	1,39	1,59	1,48	1,10	1,42	1,10	1,31	1,19	1,64	1,85	2,78	2,66	2,53	2,05	1,63
Y ₂ O ₃	<l.d.	n.d.	0,06	0,05	0,04	n.d.	n.d.	0,11	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	0,94	1,02	0,74	0,27	0,16
Ce ₂ O ₃	0,51	0,09	0,48	0,32	0,19	0,09	<l.d.	0,97	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	0,07	<l.d.	1,06	1,11	1,20	0,63	0,73
La ₂ O ₃	0,23	n.d.	0,19	0,11	0,08	<l.d.	<l.d.	0,36	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,08	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,19	0,20	0,23	0,16	0,21
Pr ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	0,12	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,15	0,21	0,31	<l.d.	<l.d.
Nd ₂ O ₃	0,16	<l.d.	0,18	0,12	0,08	<l.d.	<l.d.	0,36	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	1,08	1,13	1,03	0,31	0,32
Sm ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,29	0,35	0,26	<l.d.	<l.d.
MgO	<l.d.	n.d.	0,04	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
CaO	27,31	27,96	27,58	26,91	27,43	27,77	28,04	26,09	28,11	28,21	28,24	28,15	28,00	28,06	28,11	28,03	27,90	25,63	25,67	26,10	27,13	27,24
MnO	0,19	0,11	0,15	0,11	0,14	0,11	0,10	0,17	0,09	<l.d.	0,09	<l.d.	0,11	0,08	0,10	0,11	0,13	<l.d.	<l.d.	0,11	0,15	0,14
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
F	0,29	0,22	0,32	0,35	0,44	0,36	0,44	0,17	0,36	0,41	0,44	0,44	0,35	0,35	0,45	0,40	0,34	0,50	0,51	0,40	0,54	0,44
OH _{Calc}	0,35	0,50	0,44	0,47	0,42	0,61	0,35	0,51	0,52	0,48	0,37	0,45	0,33	0,36	0,33	0,56	0,62	0,83	0,78	0,85	0,56	0,52
Total	98,78	98,34	99,24	91,28	98,07	98,90	98,86	98,29	99,79	99,58	99,12	99,17	99,00	99,48	99,50	99,36	99,41	98,55	98,95	99,34	98,89	98,63
P	0,003	0,000	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
Nb	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	0,003	0,003	0,002	0,004
Si	1,008	1,010	1,007	0,867	1,016	1,008	1,018	1,031	1,016	1,005	1,010	1,015	1,013	1,009	1,011	1,007	1,011	1,009	0,995	0,998	1,000	0,993
Ti	0,923	0,911	0,909	0,976	0,896	0,894	0,898	0,912	0,897	0,904	0,901	0,893	0,920	0,921	0,913	0,892	0,894	0,845	0,860	0,855	0,879	0,892
Zr	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Al	0,042	0,058	0,052	0,062	0,058	0,065	0,059	0,044	0,059	0,062	0,061	0,063	0,047	0,045	0,055	0,065	0,062	0,083	0,080	0,080	0,072	0,067
Fe	0,030	0,024	0,033	0,038	0,037	0,043	0,028	0,035	0,039	0,037	0,027	0,035	0,027	0,032	0,029	0,041	0,046	0,071	0,068	0,064	0,051	0,041
Y	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,019	0,013	0,005	0,003
Ce	0,006	0,001	0,006	0,004	0,002	0,001	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,013	0,014	0,015	0,008	0,009
La	0,003	0,000	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003
Pr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,004	0,000	0,000
Nd	0,002	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,014	0,012	0,004	0,004
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,003	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,974	0,993	0,978	1,042	0,980	0,983	0,990	0,942	0,985	0,991	0,995	0,991	0,988	0,987	0,987	0,987	0,982	0,934	0,934	0,944	0,970	0,977
Mn	0,005	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,005	0,003	0,000	0,002	0,000	0,003	0,002	0,003	0,003	0,004	0,000	0,000	0,003	0,004	0,004
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,031	0,024	0,033	0,040	0,047	0,038	0,046	0,018	0,038	0,042	0,046	0,046	0,036	0,036	0,047	0,041	0,035	0,054	0,055	0,042	0,057	0,047
OH	0,041	0,058	0,051	0,060	0,049	0,071	0,041	0,061	0,061	0,056	0,043	0,052	0,038	0,042	0,038	0,065	0,072	0,100	0,094	0,102	0,066	0,062
O	4,946	4,922	4,928	4,851	4,918	4,905	4,922	4,965	4,915	4,912	4,916	4,911	4,935	4,933	4,926	4,904	4,908	4,889	4,892	4,886	4,896	4,905
Σ F + OH + O	5,018	5,004	5,013	4,951	5,014	5,014	5,009	5,044	5,013	5,010	5,004	5,009	5,009	5,011	5,011	5,015	5,015	5,042	5,040	5,030	5,019	5,013
Σ sítio Ca	0,989	0,997	0,991	1,052	0,988	0,987	0,993	0,965	0,987	0,991	0,997	0,991	0,992	0,991	0,990	0,991	0,986	0,967	0,969	0,978	0,989	0,995
Σ sítio Ti	0,998	0,993	0,995	1,077	0,993	1,003	0,987	0,995	0,995	1,003	0,990	0,992	0,994	0,999	0,997	0,999	1,001	1,003	1,013	1,004	1,006	1,005
Σ sítio Si	1,011	1,010	1,010	0,869	1,018	1,010	1,020	1,034	1,017	1,006	1,012	1,017	1,015	1,010	1,013	1,009	1,013	1,011	0,997	0,999	1,002	0,996
X Al	0,042	0,058	0,052	0,058	0,059	0,065	0,060	0,044	0,059	0,061	0,062	0,064	0,047	0,046	0,056	0,066	0,062	0,083	0,080	0,080	0,072	0,067
X F	0,006	0,005	0,007	0,008	0,009	0,008	0,009	0,004	0,007	0,008	0,009	0,009	0,007	0,007	0,009	0,008	0,007	0,011	0,011	0,008	0,011	0,009
Zr, ppm	371		333	281	294		302	531	72	82	269	70		101		97	527	925	494	463	488	
P (GPa)	0,4		0,4	0,4	0,4		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		0,4		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
a(TiO ₂)	0,6		0,6	0,6	0,6		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		0,6		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
a(SiO ₂)	1		1	1	1		1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1	1	
T(°C)	717		712	703	705		706	736	638	644	700	637		653		651	736	768	732	729	732	

Ponto	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Grão	1B	1B	1B	1B	1B	2C	2C	2C	2C	2C	2C	2C	2C	2C	2C	2C	2B	2B	2B	2B	2B	2B
P ₂ O ₅	0,07	0,12	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,09	0,07	0,10	0,10	0,20	0,10	0,08
Nb ₂ O ₅	0,37	0,71	0,24	0,29	0,19	0,13	0,13	0,14	0,12	0,14	0,11	0,10	0,14	0,15	0,14	0,12	0,30	0,28	0,26	0,31	0,34	0,38
SiO ₂	30,05	29,87	29,77	29,89	30,18	29,77	29,43	29,45	29,76	29,70	29,06	29,51	29,50	29,65	29,60	29,60	29,31	29,56	29,49	29,57	29,51	29,83
TiO ₂	35,94	34,87	34,20	33,81	35,68	35,25	35,86	35,24	35,29	35,66	35,12	35,44	35,04	36,51	35,28	36,74	34,67	34,44	35,78	35,42	34,75	35,21
ZrO ₂	0,11	0,14	0,05	0,09	0,06	0,09	0,09	0,06	0,11	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,07	0,09	0,10	0,08	<l.d.	0,07	0,11
ThO ₂	<l.d.	0,09	0,06	0,09	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	<l.d.	0,08	<l.d.	<l.d.	0,07	<l.d.
Al ₂ O ₃	1,43	1,77	1,91	1,90	1,56	1,55	1,50	1,53	1,42	1,43	1,63	1,44	1,64	1,17	1,41	1,04	1,72	1,84	1,44	1,58	1,85	1,71
Fe ₂ O ₃	1,74	1,99	2,52	2,35	1,86	2,04	1,73	2,00	1,86	1,76	2,11	1,98	1,90	1,51	1,89	1,44	2,11	2,14	1,74	1,84	1,72	1,65
Y ₂ O ₃	0,19	0,31	0,55	0,64	0,13	0,38	0,30	0,38	0,27	0,28	0,35	0,27	0,47	0,24	0,29	0,21	0,61	0,58	0,35	0,30	0,25	0,41
Ce ₂ O ₃	0,58	0,89	1,11	1,38	0,60	1,16	0,96	1,16	1,14	1,04	1,27	1,21	1,01	1,15	1,22	1,11	1,33	1,26	1,23	1,48	1,34	1,14
La ₂ O ₃	0,14	0,21	0,26	0,34	0,16	0,35	0,24	0,25	0,33	0,24	0,37	0,35	0,19	0,32	0,32	0,27	0,29	0,35	0,33	0,37	0,38	0,24
Pr ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	0,18	0,23	<l.d.	0,22	0,21	0,20	0,19	0,14	0,19	0,17	0,16	0,16	<l.d.	0,16	0,21	0,28	0,18	0,18	0,14	0,19
Nd ₂ O ₃	0,29	0,45	0,81	1,08	0,26	0,82	0,80	0,76	0,69	0,64	0,85	0,63	0,90	0,67	0,69	0,59	1,09	0,97	0,74	0,73	0,59	1,01
Sm ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	0,18	0,25	<l.d.	0,17	<l.d.	0,18	0,16	0,13	0,17	<l.d.	0,21	0,17	<l.d.	<l.d.	0,18	0,19	0,13	0,14	<l.d.	0,15
MgO	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	0,04	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
CaO	27,17	26,59	26,24	25,82	27,37	26,32	26,57	26,28	26,63	26,61	26,23	26,43	26,21	26,62	26,45	26,71	25,92	26,08	26,43	26,32	26,69	26,86
MnO	0,14	0,16	<l.d.	<l.d.	0,18	0,09	<l.d.	0,11	<l.d.	0,12	0,10	<l.d.	0,13	0,12	0,15	<l.d.	0,12	0,11	0,11	0,20	0,15	0,17
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
F	0,32	0,49	0,51	0,45	0,50	0,32	0,42	0,25	0,36	0,23	0,28	0,33	0,34	0,19	0,36	0,22	0,34	0,41	0,36	0,33	0,45	0,45
OH _{Calc}	0,57	0,58	0,72	0,73	0,47	0,66	0,49	0,71	0,55	0,64	0,75	0,61	0,64	0,55	0,55	0,46	0,72	0,70	0,53	0,62	0,58	0,52
Total	99,11	99,22	99,38	99,40	99,30	99,41	98,81	98,79	98,95	98,93	98,71	98,61	98,59	99,35	98,55	98,88	99,09	99,48	99,26	99,59	98,99	100,11
P	0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,006	0,003	0,002
Nb	0,006	0,011	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,005	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006
Si	1,001	1,001	1,001	1,010	1,002	1,000	0,991	0,995	1,002	0,998	0,985	0,997	0,998	0,994	0,999	0,995	0,993	0,997	0,992	0,993	0,993	0,994
Ti	0,901	0,879	0,865	0,860	0,891	0,891	0,908	0,896	0,893	0,902	0,895	0,900	0,892	0,921	0,896	0,929	0,883	0,874	0,905	0,894	0,880	0,883
Zr	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,002
Th	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Al	0,056	0,070	0,076	0,076	0,061	0,061	0,060	0,061	0,056	0,057	0,065	0,057	0,065	0,046	0,056	0,041	0,069	0,073	0,057	0,063	0,073	0,067
Fe	0,044	0,050	0,064	0,060	0,047	0,052	0,044	0,051	0,047	0,044	0,054	0,050	0,048	0,038	0,048	0,036	0,054	0,054	0,044	0,047	0,044	0,041
Y	0,003	0,005	0,010	0,011	0,002	0,007	0,005	0,007	0,005	0,005	0,006	0,005	0,008	0,004	0,005	0,004	0,011	0,010	0,006	0,005	0,004	0,007
Ce	0,007	0,011	0,014	0,017	0,007	0,014	0,012	0,014	0,014	0,013	0,016	0,015	0,013	0,014	0,015	0,014	0,017	0,016	0,015	0,018	0,017	0,014
La	0,002	0,003	0,003	0,004	0,002	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0,005	0,004	0,002	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,003
Pr	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
Nd	0,003	0,005	0,010	0,013	0,003	0,010	0,010	0,009	0,008	0,008	0,010	0,008	0,011	0,008	0,008	0,007	0,013	0,012	0,009	0,009	0,007	0,012
Sm	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,002	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,002	0,002	0,001	0,002	0,000	0,002
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,970	0,955	0,946	0,935	0,974	0,948	0,959	0,951	0,960	0,958	0,952	0,957	0,950	0,956	0,956	0,962	0,941	0,942	0,952	0,947	0,962	0,959
Mn	0,004	0,005	0,000	0,000	0,005	0,003	0,000	0,003	0,000	0,004	0,003	0,000	0,004	0,004	0,004	0,000	0,003	0,003	0,003	0,006	0,004	0,005
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,033	0,052	0,054	0,049	0,052	0,034	0,045	0,027	0,038	0,025	0,029	0,035	0,037	0,020	0,039	0,024	0,036	0,043	0,038	0,035	0,048	0,047
OH	0,067	0,068	0,086	0,087	0,055	0,079	0,059	0,085	0,065	0,076	0,089	0,073	0,077	0,065	0,065	0,054	0,086	0,084	0,063	0,074	0,069	0,061
O	4,923	4,916	4,897	4,908	4,909	4,919	4,924	4,917	4,921	4,924	4,908	4,920	4,916	4,941	4,919	4,947	4,912	4,907	4,927	4,923	4,904	4,911
Σ F + OH + O	5,022	5,036	5,037	5,043	5,016	5,032	5,027	5,029	5,024	5,025	5,026	5,028	5,029	5,025	5,023	5,025	5,035	5,034	5,029	5,032	5,020	5,020
Σ sítio Ca	0,986	0,978	0,973	0,967	0,991	0,976	0,979	0,979	0,983	0,983	0,982	0,981	0,977	0,982	0,985	0,983	0,975	0,976	0,981	0,981	0,992	0,989
Σ sítio Ti	1,008	1,012	1,010	1,001	1,002	1,007	1,015	1,011	1,000	1,006	1,017	1,011	1,008	1,009	1,003	1,010	1,012	1,008	1,012	1,008	1,003	0,999
Σ sítio Si	1,003	1,004	1,004	1,012	1,004	1,003	0,994	0,997	1,004	1,001	0,987	0,999	1,000	0,997	1,001	0,998	0,995	0,999	0,995	0,998	0,996	0,997
X Al	0,056	0,070	0,075	0,076	0,061	0,061	0,059	0,061	0,057	0,057	0,064	0,057	0,065	0,046	0,056	0,041	0,068	0,073	0,057	0,062	0,074	0,068
X F	0,007	0,010	0,011	0,010	0,010	0,007	0,009	0,005	0,008	0,005	0,006	0,007	0,007	0,004	0,008	0,005	0,007	0,009	0,008	0,007	0,009	0,009
Zr, ppm	786	1041	404	700	457	635	664	459	841	537	538	453	524	597	523	540	685	770	566		532	791
P (GPa)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
a(TiO ₂)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
a(SiO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T(°C)	758	775	722	752	728	746	749	728	762	737	737	728	736	743	736	737	750	757	740</			

Ponto	28	29	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
Grão	2B	2B	2B	2B	2B	7A	7A	7A	7A	7A	7A	7A	7A	7A	7A		4B	4B	4B	4B	4B	4B	
P ₂ O ₅	0,10	0,07	0,05	0,09	0,11	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,11	0,08	0,05	0,08	0,05	0,08	0,12	0,09	0,11	0,09	0,09	0,08
Nb ₂ O ₅	0,36	0,21	0,14	0,28	0,36	0,08	0,08	0,10	0,17	0,16	0,27	0,12	0,22	0,16	0,12	0,16	0,37	0,24	0,24	0,16	0,26	0,15	
SiO ₂	29,71	29,97	30,09	29,42	29,79	29,92	29,62	29,90	30,20	30,01	30,07	29,65	30,31	30,12	30,13	29,96	29,20	29,63	29,29	29,65	29,85	29,92	
TiO ₂	34,70	35,32	34,74	34,30	35,36	35,79	35,99	36,08	37,14	36,36	36,69	36,08	37,27	37,17	37,29	36,73	35,21	36,30	35,63	35,48	36,25	35,93	
ZrO ₂	0,10	0,06	0,11	0,10	0,06	0,09	0,07	0,07	0,04	0,07	0,07	0,06	<l.d.	0,04	<l.d.	0,05	0,11	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04	
ThO ₂	0,08	0,08	<l.d.	<l.d.	0,06	0,06	<l.d.	0,06	0,08	0,08	0,09	<l.d.	n.d.	0,08	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,07	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	
Al ₂ O ₃	1,89	1,79	1,86	1,78	1,85	1,54	1,48	1,33	1,24	1,50	1,22	1,51	1,53	1,15	1,27	1,30	1,37	1,26	1,45	1,44	1,42	1,49	
Fe ₂ O ₃	1,69	2,04	2,17	2,23	1,55	1,88	1,88	1,68	1,34	1,53	1,37	1,58	0,93	1,32	1,18	1,41	2,02	1,63	1,72	2,04	1,47	1,75	
Y ₂ O ₃	0,29	0,27	0,32	0,62	0,23	0,17	0,14	0,13	0,08	0,15	0,15	0,11	0,19	0,09	0,13	0,10	0,48	0,31	0,37	0,31	0,26	0,13	
Ce ₂ O ₃	1,32	0,84	1,03	1,41	1,07	0,93	0,87	0,99	0,50	0,54	0,85	0,50	<l.d.	0,61	0,27	0,50	1,87	1,02	1,72	0,96	1,05	0,61	
La ₂ O ₃	0,34	0,22	0,28	0,29	0,33	0,28	0,24	0,34	0,18	0,19	0,25	0,17	<l.d.	0,22	<l.d.	0,16	0,49	0,25	0,46	0,24	0,29	0,18	
Pr ₂ O ₃	0,14	0,12	0,13	0,15	0,17	<l.d.	0,11	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,28	0,20	0,18	<l.d.	0,11	<l.d.	
Nd ₂ O ₃	0,68	0,42	0,57	1,04	0,49	0,40	0,33	0,42	0,22	0,27	0,32	0,23	0,17	0,19	0,23	0,21	1,04	0,66	0,96	0,62	0,54	0,29	
Sm ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	0,13	0,25	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,23	<l.d.	0,16	<l.d.	<l.d.	<l.d.	
MgO	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	
CaO	26,53	27,15	26,84	25,87	26,81	27,17	27,05	27,01	27,63	27,49	27,13	27,45	28,08	27,64	27,81	27,59	25,62	26,65	25,85	26,75	26,79	27,39	
MnO	0,13	0,18	0,12	0,11	0,16	0,14	0,15	0,12	0,15	0,13	<l.d.	0,12	0,11	0,14	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,11	0,16	0,14	
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	
F	0,48	0,55	0,47	0,40	0,42	0,28	0,39	0,33	0,30	0,36	0,28	0,40	0,52	0,28	0,40	0,33	0,22	0,32	0,19	0,43	0,31	0,47	
OH _{calc}	0,56	0,54	0,66	0,71	0,57	0,67	0,54	0,51	0,43	0,50	0,45	0,48	0,24	0,41	0,32	0,44	0,69	0,48	0,68	0,53	0,51	0,45	
Total	99,10	99,81	99,70	99,05	99,41	99,47	99,04	99,18	99,76	99,42	99,33	98,54	99,62	99,71	99,33	99,13	99,44	99,31	99,22	98,85	99,39	99,02	
P	0,003	0,002	0,001	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	
Nb	0,006	0,003	0,002	0,004	0,005	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,006	0,004	0,004	0,002	0,004	0,002	
Si	0,999	0,995	1,003	0,997	0,995	0,996	0,990	0,999	0,997	0,995	1,001	0,990	0,996	0,996	0,995	0,994	0,991	0,993	0,992	0,996	0,997	0,996	
Ti	0,878	0,882	0,871	0,874	0,889	0,896	0,905	0,907	0,922	0,907	0,919	0,907	0,921	0,924	0,927	0,917	0,899	0,916	0,908	0,896	0,911	0,900	
Zr	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	
Th	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	
Al	0,075	0,070	0,073	0,071	0,073	0,061	0,058	0,053	0,048	0,059	0,048	0,060	0,059	0,045	0,050	0,051	0,055	0,050	0,058	0,057	0,056	0,058	
Fe	0,043	0,051	0,054	0,057	0,039	0,047	0,047	0,042	0,033	0,038	0,034	0,040	0,023	0,033	0,029	0,035	0,052	0,041	0,044	0,051	0,037	0,044	
Y	0,005	0,005	0,006	0,011	0,004	0,003	0,003	0,002	0,001	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,009	0,006	0,007	0,006	0,005	0,002	
Ce	0,016	0,010	0,013	0,018	0,013	0,011	0,011	0,012	0,006	0,007	0,010	0,006	0,000	0,007	0,003	0,006	0,023	0,013	0,022	0,012	0,013	0,007	
La	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,003	0,004	0,002	0,002	0,003	0,002	0,000	0,003	0,000	0,002	0,006	0,003	0,006	0,003	0,004	0,002	
Pr	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000	
Nd	0,008	0,005	0,007	0,013	0,006	0,005	0,004	0,005	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,013	0,008	0,012	0,007	0,006	0,004	
Sm	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Ca	0,956	0,966	0,958	0,939	0,960	0,969	0,969	0,967	0,977	0,977	0,968	0,982	0,988	0,979	0,984	0,981	0,932	0,957	0,938	0,962	0,959	0,977	
Mn	0,004	0,005	0,003	0,003	0,005	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,000	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,005	0,004	
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	
F	0,051	0,057	0,049	0,043	0,045	0,029	0,042	0,035	0,032	0,038	0,029	0,042	0,054	0,029	0,041	0,034	0,023	0,034	0,021	0,046	0,033	0,049	
OH	0,066	0,063	0,078	0,085	0,067	0,078	0,064	0,060	0,050	0,059	0,053	0,057	0,028	0,048	0,038	0,052	0,083	0,057	0,081	0,063	0,060	0,053	
O	4,910	4,899	4,897	4,908	4,913	4,911	4,912	4,925	4,933	4,918	4,943	4,911	4,926	4,935	4,931	4,926	4,934	4,935	4,936	4,914	4,933	4,911	
Σ F + OH + O	5,027	5,020	5,024	5,036	5,025	5,018	5,018	5,020	5,015	5,015	5,025	5,010	5,008	5,013	5,010	5,012	5,041	5,026	5,037	5,023	5,025	5,014	
Σ sítio Ca	0,985	0,989	0,984	0,975	0,986	0,990	0,989	0,989	0,991	0,992	0,984	0,996	0,995	0,994	0,993	0,994	0,973	0,982	0,975	0,986	0,984	0,993	
Σ sítio Ti	1,003	1,008	1,002	1,008	1,008	1,007	1,013	1,005	1,008	1,007	1,009	1,006	1,005	1,007	1,007	1,013	1,012	1,014	1,008	1,008	1,008	1,005	
Σ sítio Si	1,002	0,997	1,004	1,000	0,998	0,998	0,993	1,001	0,999	0,997	1,005	0,993	0,997	0,998	0,997	0,997	0,995	0,996	0,995	0,998	1,000	0,998	
X Al	0,075	0,070	0,073	0,071	0,073	0,060	0,058	0,052	0,048	0,058	0,048	0,059	0,059	0,045	0,049	0,051	0,055	0,049	0,057	0,057	0,056	0,058	
X F	0,010	0,011	0,010	0,009	0,009	0,006	0,008	0,007	0,006	0,008	0,006	0,008	0,011	0,006	0,008	0,007	0,005	0,007	0,004	0,009	0,006	0,010	
Zr, ppm	724	429	816	713	461	635	530	549	284	512	535	409		310		396	783	403	520	304	318	293	
P (GPa)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		0,4		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
a(TiO ₂)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		0,6		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
a(SiO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1		1	1	1	1	1	1	1	
T(°C)	754	725	760	753	729	746	736	738	703	734	737	722		708		721	758	721	735	707	709	705	

Ponto											Granito Independência											
	51	52	53	54	55	56	57	58	59		2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	14	15
	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
P ₂ O ₅	0,07	0,10	0,08	0,09	0,13	0,12	0,08	0,08	0,08		0,04	0,05	0,04	0,04	0,24	0,30	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05
Nb ₂ O ₅	0,09	0,21	0,12	0,25	0,26	0,32	0,16	0,15	0,17		0,05	0,13	b.d.l.	0,14	0,67	0,64	0,07	0,06	b.d.l.	0,13	0,21	b.d.l.
SiO ₂	29,30	29,89	29,85	30,24	29,32	29,45	29,88	29,64	29,81		31,90	31,61	31,94	31,39	31,31	30,93	31,62	31,34	31,67	31,58	31,13	31,72
TiO ₂	33,74	36,56	35,97	35,43	35,23	35,23	35,58	35,37	35,99		24,05	25,00	23,12	29,41	29,66	29,95	28,19	27,65	28,47	28,29	30,73	29,10
ZrO ₂	0,04	0,06	0,05	0,06	0,11	0,09	0,05	0,07	0,04		0,02	0,01	0,01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,02	0,01
ThO ₂	0,08	<l.d.	<l.d.	0,08	<l.d.	0,07	0,06	<l.d.	<l.d.		b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Al ₂ O ₃	1,99	1,37	1,62	1,84	1,28	1,38	1,55	1,54	1,52		10,64	9,89	11,42	6,92	6,43	6,29	7,90	7,44	7,70	7,77	6,23	7,48
Fe ₂ O ₃	2,05	1,50	2,02	1,89	2,02	1,94	1,94	2,03	1,73		0,67	0,62	0,62	0,57	0,68	0,74	0,48	3,39	0,49	0,60	0,67	0,67
Y ₂ O ₃	0,04	0,18	0,13	0,20	0,55	0,45	0,31	0,45	0,23		0,10	0,12	0,09	0,22	0,07	0,10	0,11	0,25	0,13	0,12	0,17	b.d.l.
Ce ₂ O ₃	0,51	0,74	0,56	1,00	1,84	1,90	0,98	1,24	0,78		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.
La ₂ O ₃	0,12	0,24	0,19	0,25	0,45	0,43	0,25	0,29	0,22		n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.
Pr ₂ O ₃	<l.d.	0,14	0,13	0,14	0,26	0,20	0,15	0,19	<l.d.		n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.
Nd ₂ O ₃	0,16	0,47	0,28	0,41	1,26	1,07	0,60	0,83	0,46		b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Sm ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,21	0,23	0,12	0,13	<l.d.		b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	n.d.	b.d.l.
MgO	0,24	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.		b.d.l.	0,04	0,06	b.d.l.	0,06	0,08	b.d.l.	0,70	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
CaO	26,68	27,38	27,35	26,60	25,51	25,71	26,65	26,29	27,14		29,08	29,14	29,14	28,72	28,78	28,76	28,87	27,27	28,93	28,87	28,55	28,78
MnO	0,11	0,12	0,19	0,11	0,10	<l.d.	0,15	0,11	0,15		0,09	0,09	0,11	0,11	0,17	0,14	0,08	0,13	b.d.l.	0,09	0,16	0,12
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.		n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.
F	0,57	0,35	0,54	0,38	0,27	0,22	0,49	0,43	0,43		3,99	3,96	4,43	2,58	2,41	2,27	3,06	2,12	2,96	3,06	1,46	1,70
OH _{Calc}	0,59	0,46	0,49	0,68	0,61	0,67	0,50	0,56	0,49		0,12	-0,12	-0,02	0,12	0,13	0,22	0,00	1,30	0,03	-0,02	0,91	1,12
Total	96,40	99,75	99,57	99,65	99,42	99,49	99,48	99,41	99,25		100,75	100,55	100,97	100,21	100,61	100,41	100,44	101,68	100,43	100,53	100,29	100,75
P	0,002	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002		0,001	0,001	0,001	0,001	0,006	0,008	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Nb	0,001	0,003	0,002	0,004	0,004	0,005	0,002	0,002	0,003		0,001	0,002	0,000	0,002	0,010	0,009	0,001	0,001	0,000	0,002	0,003	0,000
Si	0,998	0,991	0,990	1,007	0,996	0,998	0,999	0,996	0,994		1,014	1,008	1,011	1,011	1,006	0,997	1,013	1,000	1,015	1,012	1,004	1,013
Ti	0,865	0,912	0,898	0,888	0,900	0,895	0,895	0,903	0,903		0,575	0,600	0,551	0,712	0,717	0,726	0,680	0,664	0,686	0,682	0,745	0,699
Zr	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,080	0,054	0,063	0,072	0,051	0,055	0,061	0,061	0,060		0,398	0,372	0,426	0,263	0,244	0,239	0,298	0,280	0,291	0,293	0,237	0,281
Fe	0,053	0,037	0,051	0,047	0,052	0,049	0,049	0,051	0,043		0,016	0,015	0,015	0,014	0,016	0,018	0,012	0,081	0,012	0,015	0,016	0,016
Y	0,001	0,003	0,002	0,004	0,010	0,008	0,006	0,008	0,004		0,002	0,002	0,002	0,004	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,002	0,003	0,000
Ce	0,006	0,009	0,007	0,012	0,023	0,024	0,012	0,015	0,010		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
La	0,001	0,003	0,002	0,003	0,006	0,005	0,003	0,004	0,003		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pr	0,000	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,002	0,006	0,003	0,005	0,015	0,013	0,007	0,010	0,005		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,001	0,001	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,002	0,003	0,000	0,003	0,004	0,000	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,974	0,973	0,972	0,949	0,929	0,934	0,955	0,947	0,969		0,990	0,996	0,989	0,991	0,991	0,993	0,991	0,932	0,993	0,991	0,986	0,985
Mn	0,003	0,003	0,005	0,003	0,003	0,000	0,004	0,003	0,004		0,002	0,003	0,003	0,003	0,005	0,004	0,002	0,004	0,000	0,002	0,004	0,003
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000		3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,062	0,037	0,056	0,040	0,029	0,024	0,051	0,046	0,045		0,401	0,400	0,443	0,263	0,245	0,231	0,310	0,214	0,300	0,310	0,149	0,172
OH	0,071	0,054	0,057	0,080	0,074	0,080	0,058	0,067	0,058		0,013	-0,013	-0,002	0,013	0,015	0,025	-0,001	0,147	0,003	-0,002	0,104	0,126
O	4,874	4,924	4,903	4,919	4,939	4,938	4,918	4,920	4,915		4,593	4,614	4,565	4,729	4,749	4,751	4,697	4,669	4,704	4,699	4,757	4,715
Σ F + OH + O	5,007	5,015	5,017	5,038	5,042	5,043	5,028	5,032	5,018		5,007	5,001	5,006	5,006	5,009	5,007	5,007	5,030	5,006	5,007	5,010	5,012
Σ sítio Ca	0,986	0,991	0,989	0,971	0,970	0,971	0,980	0,977	0,990		0,995	1,000	0,993	0,998	0,997	0,999	0,995	0,940	0,995	0,995	0,993	0,988
Σ sítio Ti	1,000	1,007	1,014	1,013	1,009	1,010	1,009	1,010	1,009		0,990	0,988	0,992	0,991	0,987	0,992	0,991	1,026	0,989	0,992	1,001	0,997
Σ sítio Si	1,000	0,994	0,992	1,010	1,000	1,001	1,001	0,999	0,996		1,015	1,010	1,012	1,012	1,013	1,005	1,014	1,001	1,016	1,013	1,005	1,015
X Al	0,080	0,053	0,063	0,072	0,051	0,055	0,061	0,060	0,059		0,403	0,377	0,430	0,266	0,249	0,243	0,301	0,273	0,294	0,296	0,237	0,282
X F	0,012	0,007	0,011	0,008	0,006	0,005	0,010	0,009	0,009		0,080	0,080	0,089	0,053	0,049	0,046	0,062	0,043	0,060	0,062	0,030	0,034
Zr, ppm	262	449	346	421	786	700	369	514	323		118	90	54								129	49
P (GPa)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		0,4	0,4	0,4								0,4	0,4
a(TiO ₂)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		0,6	0,6	0,6								0,6	0,6
a(SiO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1								1	1
T(°C)	699	727	714	724	758	752	717	735	710		661	648	625								664	621

Ponto	16	17	18	19	20	21	25	26	27	28	29	30	31	32	33	35	36	37	38	39
Grão	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5B	5B	5B	5B	5B
P ₂ O ₅	0,04	0,04	0,05	0,05	0,08	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,04	b.d.l.	0,04	0,04	b.d.l.	0,04	0,03	0,06	b.d.l.	0,04
Nb ₂ O ₅	n.d.	b.d.l.	0,05	0,04	0,12	0,06	0,05	0,06	n.d.	n.d.	b.d.l.	0,09	b.d.l.	b.d.l.	0,05	0,10	0,15	0,09	0,23	0,22
SiO ₂	31,70	31,19	31,18	31,91	31,07	31,49	31,41	31,53	31,62	31,57	31,43	31,91	31,28	31,43	30,26	31,37	31,27	31,11	31,49	31,64
TiO ₂	27,74	23,34	29,38	28,85	28,98	29,61	27,97	28,63	29,74	28,07	29,20	30,25	28,99	29,58	29,50	29,93	30,86	29,46	31,40	30,41
ZrO ₂	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	n.d.	0,03	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	0,01	b.d.l.	n.d.	0,01	n.d.	n.d.
ThO ₂	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.
Al ₂ O ₃	8,32	9,83	7,20	7,82	7,43	6,93	8,40	7,76	7,22	8,24	7,57	6,85	7,56	7,09	6,60	6,18	5,89	6,81	5,62	6,23
Fe ₂ O ₃	0,56	5,26	0,57	0,55	0,85	0,50	0,58	0,53	0,50	0,49	0,57	0,53	0,55	0,48	0,43	0,64	0,62	0,65	0,67	0,56
Y ₂ O ₃	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0,08	b.d.l.	b.d.l.	0,08	b.d.l.	b.d.l.	0,05	0,09	0,09	0,10	0,18	0,15	0,27	0,10	0,37	0,15
Ce ₂ O ₃	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.
La ₂ O ₃	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.
Pr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.
Nd ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.
Sm ₂ O ₃	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.
MgO	b.d.l.	1,20	b.d.l.	0,06	0,18	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	n.d.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
CaO	29,14	25,38	28,79	28,07	28,55	28,80	29,10	28,86	28,88	29,10	28,92	29,12	29,10	28,73	28,43	28,77	28,45	28,54	28,31	28,54
MnO	b.d.l.	0,17	b.d.l.	0,10	0,15	0,11	0,11	0,12	0,08	0,13	0,09	0,12	0,10	0,12	0,08	0,12	0,11	0,13	0,10	0,15
Na ₂ O	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	n.d.	b.d.l.	b.d.l.	0,05	b.d.l.
F	1,78	1,90	1,79	1,92	1,44	2,15	2,33	2,18	2,14	2,41	1,91	2,07	2,02	2,08	1,62	2,23	2,20	3,97	1,92	2,40
OH _{Calc}	1,30	2,70	0,92	1,01	1,37	0,49	0,84	0,75	0,60	0,70	0,94	0,55	0,83	0,60	0,85	0,20	0,13	-1,15	0,29	0,05
Total	100,59	101,02	99,93	100,38	100,31	100,19	100,84	100,57	100,83	100,75	100,72	101,57	100,54	100,26	98,00	99,72	99,99	99,78	100,46	100,37
P	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001
Nb	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003
Si	1,011	1,001	1,005	1,023	0,998	1,012	1,001	1,009	1,010	1,006	1,005	1,013	1,001	1,010	0,995	1,015	1,012	1,008	1,015	1,018
Ti	0,666	0,564	0,712	0,696	0,700	0,716	0,671	0,689	0,715	0,673	0,702	0,722	0,698	0,715	0,730	0,728	0,751	0,718	0,761	0,736
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,313	0,372	0,273	0,295	0,281	0,263	0,316	0,293	0,272	0,310	0,285	0,256	0,285	0,269	0,256	0,236	0,224	0,260	0,213	0,236
Fe	0,014	0,127	0,014	0,013	0,021	0,012	0,014	0,013	0,012	0,012	0,014	0,013	0,013	0,012	0,011	0,015	0,015	0,016	0,016	0,014
Y	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,005	0,002	0,006	0,003
Ce	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
La	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,057	0,000	0,003	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,996	0,873	0,994	0,964	0,982	0,992	0,994	0,990	0,988	0,994	0,990	0,990	0,998	0,989	1,002	0,997	0,986	0,991	0,978	0,984
Mn	0,000	0,005	0,000	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,004	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,179	0,192	0,182	0,194	0,146	0,219	0,235	0,221	0,216	0,243	0,193	0,208	0,204	0,212	0,168	0,228	0,225	0,407	0,196	0,245
OH	0,147	0,307	0,105	0,114	0,155	0,056	0,095	0,084	0,068	0,078	0,106	0,061	0,094	0,069	0,098	0,023	0,015	-0,131	0,033	0,005
O	4,679	4,567	4,720	4,722	4,705	4,732	4,675	4,702	4,727	4,682	4,709	4,738	4,701	4,727	4,728	4,748	4,770	4,731	4,783	4,763
Σ F + OH + O	5,005	5,066	5,007	5,031	5,006	5,006	5,005	5,008	5,010	5,003	5,008	5,007	4,999	5,007	4,995	4,999	5,010	5,006	5,013	5,012
Σ sítio Ca	0,996	0,878	0,994	0,967	0,988	0,995	0,997	0,994	0,990	0,998	0,993	0,995	1,002	0,994	1,007	1,003	0,994	0,996	0,990	0,991
Σ sítio Ti	0,992	1,063	1,000	1,005	1,004	0,992	1,001	0,995	0,998	0,995	1,001	0,992	0,996	0,995	0,998	0,981	0,993	0,995	0,994	0,990
Σ sítio Si	1,012	1,002	1,006	1,025	1,000	1,014	1,002	1,010	1,011	1,008	1,006	1,013	1,002	1,011	0,995	1,016	1,013	1,009	1,015	1,019
X Al	0,315	0,350	0,273	0,294	0,281	0,265	0,316	0,294	0,272	0,311	0,285	0,259	0,286	0,270	0,257	0,241	0,227	0,262	0,215	0,240
X F	0,036	0,038	0,036	0,039	0,029	0,044	0,047	0,044	0,043	0,049	0,039	0,041	0,041	0,042	0,034	0,046	0,045	0,039	0,039	0,049
Zr, ppm					211										57			47		
P (GPa)					0,4										0,4			0,4		
a(TiO ₂)					0,6										0,6			0,6		
a(SiO ₂)					1										1			1		
T(°C)					688										628			620		

Ponto	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Grão	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	2A	2A	2A	2A	2A	2A	4B	4B	4B
P ₂ O ₅	<l.d.	0,10	0,06	<l.d.	0,05	<l.d.	0,05	<l.d.	0,09	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,04	0,05	0,16	0,04	5,90	0,04	0,04	<l.d.	<l.d.
Nb ₂ O ₅	0,36	0,47	0,56	0,75	0,67	0,65	0,45	0,53	0,26	0,39	0,85	1,06	0,41	0,41	0,34	0,89	0,38	0,76	0,54	0,78	0,50	1,65
SiO ₂	30,28	28,89	29,25	28,95	29,08	30,15	29,40	29,98	31,50	30,21	30,62	30,41	29,97	29,58	29,95	29,25	27,44	30,16	30,42	30,08	30,13	29,98
TiO ₂	28,20	32,32	33,00	32,23	27,66	32,31	32,01	33,96	27,74	30,75	30,82	29,38	30,34	31,06	31,59	31,10	28,79	34,04	30,76	31,13	31,48	30,10
ZrO ₂	0,18	0,22	0,20	0,18	0,21	0,05	0,26	0,06	n.d.	0,08	0,01	0,03	0,00	0,56	0,30	0,72	n.d.	0,12	0,05	0,03	0,01	0,04
ThO ₂	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Al ₂ O ₃	6,18	1,76	1,81	1,96	2,26	2,72	2,05	1,76	7,15	3,36	3,80	4,98	3,45	2,33	2,44	1,95	1,58	1,96	3,23	3,06	3,25	2,78
Fe ₂ O ₃	1,44	3,03	2,72	2,87	3,03	2,56	2,91	2,35	1,03	2,84	2,83	2,42	3,02	3,48	3,43	3,25	2,42	1,94	2,95	3,08	2,80	3,54
Y ₂ O ₃	1,14	1,89	1,76	1,67	1,47	0,22	1,49	0,80	1,27	1,08	0,81	1,17	2,44	1,70	1,48	1,96	0,86	1,18	1,01	0,93	1,09	1,26
Ce ₂ O ₃	0,38	1,41	1,57	1,20	1,40	<l.d.	1,26	0,53	<l.d.	0,69	0,35	0,23	0,18	0,92	1,00	1,45	0,76	1,22	0,62	0,48	0,50	0,38
La ₂ O ₃	<l.d.	0,27	0,36	0,22	0,27	n.d.	0,29	0,12	n.d.	0,07	0,06	<l.d.	n.d.	0,19	0,17	0,34	0,13	0,27	0,13	0,10	<l.d.	0,08
Pr ₂ O ₃	<l.d.	0,26	0,25	0,18	0,23	<l.d.	0,21	<l.d.	<l.d.	0,19	<l.d.	<l.d.	0,12	0,25	0,17	0,28	0,13	0,21	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,14
Nd ₂ O ₃	0,58	1,33	1,38	1,05	1,02	<l.d.	1,02	0,50	<l.d.	0,71	0,31	0,37	0,61	0,89	0,76	1,28	0,61	0,87	0,53	0,42	0,49	0,35
Sm ₂ O ₃	0,13	0,38	0,40	0,35	0,16	0,18	0,29	0,13	n.d.	0,13	<l.d.	<l.d.	0,25	0,28	0,14	0,40	0,16	0,16	<l.d.	<l.d.	0,19	<l.d.
MgO	0,11	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,08	0,05	<l.d.	n.d.	0,19	0,15	0,13	0,10	0,14	0,05	0,06	0,07	<l.d.	0,04	0,14	0,13	0,12	0,13
CaO	26,59	23,91	24,61	24,49	26,74	25,90	24,84	26,45	27,23	25,65	26,41	26,28	25,48	24,88	25,06	24,08	28,67	26,29	25,74	26,32	26,15	25,62
MnO	0,16	0,14	0,17	0,21	0,30	0,38	0,20	0,27	0,19	0,38	0,42	0,33	0,38	0,19	0,18	0,10	0,21	0,26	0,44	0,39	0,38	0,34
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	0,06	<l.d.	<l.d.	0,05	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,08	0,07	0,09	0,09	<l.d.	0,06	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	0,08	0,06	0,08
F	1,86	0,50	0,35	0,45	0,52	1,55	0,47	0,76	1,96	1,31	1,16	1,20	1,21	0,77	0,77	0,39	0,74	0,16	1,17	1,36	1,46	1,21
OH _{Calc}	0,70	0,79	0,87	0,86	0,93	0,06	0,88	0,40	0,85	0,56	0,83	1,10	0,71	0,83	0,86	1,00	0,38	0,93	0,66	0,46	0,37	0,59
Total	98,30	97,66	99,41	97,64	96,08	96,84	98,09	98,61	99,46	98,66	99,48	99,16	98,81	98,40	98,80	98,68	93,29	106,48	98,49	98,87	98,98	98,28
P	0,000	0,003	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,005	0,001	0,158	0,001	0,001	0,000	0,000
Nb	0,005	0,007	0,009	0,012	0,011	0,010	0,007	0,008	0,004	0,006	0,013	0,016	0,006	0,006	0,005	0,014	0,006	0,011	0,008	0,012	0,008	0,025
Si	1,010	1,008	1,001	1,004	1,012	1,024	1,012	1,009	1,026	1,017	1,015	1,010	1,010	1,014	1,017	1,012	0,969	0,952	1,024	1,008	1,009	1,017
Ti	0,708	0,848	0,850	0,841	0,724	0,826	0,829	0,860	0,680	0,779	0,769	0,734	0,769	0,801	0,807	0,810	0,765	0,809	0,779	0,784	0,793	0,768
Zr	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,001	0,004	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,005	0,012	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,243	0,072	0,073	0,080	0,093	0,109	0,083	0,070	0,275	0,133	0,149	0,195	0,137	0,094	0,098	0,080	0,066	0,073	0,128	0,121	0,128	0,111
Fe	0,036	0,079	0,070	0,075	0,079	0,065	0,075	0,059	0,025	0,072	0,071	0,061	0,076	0,090	0,088	0,085	0,064	0,046	0,075	0,078	0,070	0,090
Y	0,020	0,035	0,032	0,031	0,027	0,004	0,027	0,014	0,022	0,019	0,014	0,021	0,044	0,031	0,027	0,036	0,016	0,020	0,018	0,017	0,019	0,023
Ce	0,005	0,018	0,020	0,015	0,018	0,000	0,016	0,007	0,000	0,009	0,004	0,003	0,002	0,012	0,012	0,019	0,010	0,014	0,008	0,006	0,006	0,005
La	0,000	0,003	0,004	0,003	0,003	0,000	0,004	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,004	0,002	0,003	0,002	0,001	0,000	0,001
Pr	0,000	0,003	0,003	0,002	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,003	0,002	0,004	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002
Nd	0,007	0,017	0,017	0,013	0,013	0,000	0,013	0,006	0,000	0,009	0,004	0,004	0,007	0,011	0,009	0,016	0,008	0,010	0,006	0,005	0,006	0,004
Sm	0,001	0,005	0,005	0,004	0,002	0,002	0,003	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,003	0,002	0,005	0,002	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000
Mg	0,006	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0,009	0,008	0,006	0,005	0,007	0,003	0,003	0,004	0,000	0,002	0,007	0,006	0,006	0,007
Ca	0,951	0,893	0,902	0,910	0,997	0,942	0,916	0,954	0,951	0,926	0,938	0,935	0,919	0,914	0,912	0,893	1,084	0,889	0,928	0,945	0,938	0,931
Mn	0,005	0,004	0,005	0,006	0,009	0,011	0,006	0,008	0,005	0,011	0,012	0,009	0,011	0,006	0,005	0,003	0,006	0,007	0,012	0,011	0,011	0,010
Na	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,006	0,005	0,006	0,006	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,005	0,004	0,005
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,196	0,055	0,038	0,050	0,057	0,167	0,051	0,081	0,202	0,139	0,122	0,126	0,129	0,083	0,082	0,043	0,082	0,016	0,124	0,145	0,154	0,130
OH	0,083	0,097	0,105	0,105	0,115	0,007	0,107	0,048	0,098	0,066	0,098	0,129	0,084	0,101	0,103	0,122	0,048	0,103	0,078	0,054	0,044	0,071
O	4,746	4,916	4,908	4,900	4,791	4,866	4,891	4,898	4,727	4,825	4,813	4,780	4,814	4,866	4,864	4,904	4,764	5,041	4,832	4,824	4,828	4,839
Σ F + OH + O	5,025	5,067	5,051	5,055	4,963	5,041	5,049	5,027	5,027	5,030	5,032	5,036	5,027	5,051	5,050	5,068	4,893	5,160	5,035	5,022	5,027	5,040
Σ sítio Ca	0,980	0,954	0,968	0,966	1,054	0,961	0,969	0,984	0,978	0,971	0,974	0,974	0,982	0,964	0,963	0,955	1,118	0,933	0,972	0,984	0,978	0,975
Σ sítio Ti	0,995	1,011	1,005	1,011	0,910	1,010	0,999	0,999	0,984	0,992	1,001	1,007	0,989	1,001	1,003	1,000	0,900	0,940	0,990	0,995	0,999	0,996
Σ sítio Si	1,010	1,011	1,003	1,004	1,013	1,024	1,013	1,009	1,029	1,017	1,015	1,010	1,010	1,015	1,019	1,017	0,970	1,110	1,025	1,009	1,009	1,017
X Al	0,246	0,072	0,074	0,080	0,104	0,109	0,084	0,070	0,280	0,135	0,150	0,197	0,140	0,096	0,098	0,082	0,073	0,079	0,130			

Ponto Grão																Granito São Pedro						
	25 4B	26 4B	27 4B	28 4B	29 4B	30 5	31 5	32 5	33 7	34 7	35 7	36 7	37 7	38 7	39 7	137 9A	138 9A	139 9A	140 9A	141 9A	142 9A	143 9A
P ₂ O ₅	0,04	<l.d.	0,05	0,03	0,03	<l.d.	<l.d.	0,03	0,04	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,05	<l.d.	0,06	0,04	0,04	<l.d.	0,05	0,06	0,07
Nb ₂ O ₅	0,52	0,58	0,26	0,43	0,23	0,95	0,94	0,56	0,57	0,56	0,57	0,55	0,28	0,96	0,36	0,37	0,49	0,36	0,42	0,50	0,36	0,34
SiO ₂	29,23	30,63	30,50	30,16	30,51	29,96	29,88	29,78	29,03	30,03	30,17	29,11	29,96	29,38	30,15	30,00	29,84	30,61	29,75	30,11	30,64	30,31
TiO ₂	32,69	31,19	31,60	31,88	31,57	31,10	30,96	31,39	31,82	31,37	31,15	32,42	33,66	31,77	32,08	34,73	34,86	35,12	33,25	34,84	35,29	35,38
ZrO ₂	0,13	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,26	0,08	0,02	0,03	0,23	0,14	0,29	0,04	0,06	0,06	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04
ThO ₂	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,06	0,06	<l.d.	<l.d.	0,08	<l.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	1,85	3,19	3,16	3,00	3,62	3,04	3,14	3,20	2,10	2,98	2,98	1,96	1,93	1,99	3,14	1,86	1,69	1,93	2,16	1,80	1,88	1,93
Fe ₂ O ₃	2,80	3,10	2,93	2,68	2,74	2,83	2,74	2,68	3,22	3,04	2,97	2,95	2,35	2,94	2,69	2,48	2,17	2,09	2,94	2,06	1,86	1,93
Y ₂ O ₃	1,66	1,21	0,60	0,46	0,74	1,20	1,21	0,59	1,83	1,06	1,21	1,66	1,29	1,62	0,75	0,66	0,59	0,68	1,55	0,67	0,42	0,26
Ce ₂ O ₃	1,17	0,46	0,40	0,40	0,27	0,45	0,46	0,28	0,99	0,57	0,71	0,36	0,37	1,40	0,46	0,77	0,72	0,62	0,95	0,81	0,44	0,45
La ₂ O ₃	0,23	0,06	0,08	0,09	0,07	0,09	<l.d.	<l.d.	0,20	0,09	0,09	<l.d.	<l.d.	0,32	0,09	0,16	0,18	0,09	0,16	0,18	0,08	0,14
Pr ₂ O ₃	0,26	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,15	<l.d.	<l.d.	0,16	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,25	0,13	0,12	0,17	0,17	0,17	<l.d.	<l.d.	<l.d.
Nd ₂ O ₃	0,95	0,64	0,35	0,33	0,38	0,48	0,52	0,40	0,85	0,61	0,64	0,52	0,63	1,07	0,36	0,71	0,70	0,62	1,04	0,76	0,43	0,35
Sm ₂ O ₃	0,29	0,23	<l.d.	0,19	0,19	0,21	<l.d.	0,13	0,24	0,12	0,18	0,29	0,26	0,32	<l.d.	0,15	0,18	0,16	0,20	0,19	0,13	<l.d.
MgO	<l.d.	0,14	0,10	0,07	0,11	0,13	0,12	0,08	0,05	0,11	0,13	0,06	0,08	0,05	0,10	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,07	0,05	<l.d.	<l.d.
CaO	24,85	26,19	26,76	26,56	26,42	25,61	25,55	26,29	24,83	25,67	25,52	24,71	26,14	24,57	26,16	26,13	26,20	26,81	25,20	26,34	26,96	27,21
MnO	0,18	0,44	0,44	0,43	0,44	0,46	0,46	0,41	0,12	0,37	0,43	0,15	0,19	0,16	0,40	0,36	0,41	0,46	0,38	0,27	0,35	0,36
Na ₂ O	<l.d.	0,10	<l.d.	0,07	0,07	0,11	0,08	0,07	<l.d.	0,06	0,11	0,06	0,06	<l.d.	0,06	<l.d.	0,11	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
F	0,54	1,28	1,43	1,18	1,26	0,89	0,92	0,91	0,46	0,85	0,87	0,69	0,64	0,45	1,27	0,48	0,42	0,56	0,40	0,46	0,57	0,56
OH _{Calc}	0,74	0,58	0,40	0,51	0,66	0,82	0,81	0,83	0,98	0,88	0,85	0,67	0,57	0,89	0,48	0,72	0,65	0,59	0,99	0,63	0,51	0,56
Total	98,13	100,05	99,08	98,51	99,32	98,34	97,93	97,87	97,40	98,55	98,59	96,39	98,56	98,47	98,71	99,87	99,55	101,00	99,71	99,87	100,03	99,89
P	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002
Nb	0,008	0,009	0,004	0,007	0,003	0,014	0,014	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,004	0,015	0,005	0,006	0,007	0,005	0,006	0,008	0,005	0,005
Si	1,006	1,016	1,015	1,010	1,012	1,012	1,013	1,004	1,004	1,013	1,017	1,010	1,009	1,012	1,010	1,002	0,999	1,007	1,004	1,005	1,012	1,001
Ti	0,846	0,778	0,791	0,803	0,788	0,790	0,790	0,796	0,828	0,796	0,790	0,846	0,853	0,824	0,808	0,873	0,878	0,869	0,844	0,875	0,877	0,879
Zr	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,000	0,000	0,004	0,002	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Al	0,075	0,125	0,124	0,119	0,142	0,121	0,125	0,127	0,086	0,118	0,119	0,080	0,077	0,081	0,124	0,073	0,067	0,075	0,086	0,071	0,073	0,075
Fe	0,073	0,077	0,073	0,068	0,068	0,072	0,070	0,068	0,084	0,077	0,075	0,077	0,059	0,076	0,068	0,062	0,055	0,052	0,075	0,052	0,046	0,048
Y	0,030	0,021	0,011	0,008	0,013	0,022	0,022	0,011	0,034	0,019	0,022	0,031	0,023	0,030	0,013	0,012	0,011	0,012	0,028	0,012	0,007	0,005
Ce	0,015	0,006	0,005	0,005	0,003	0,006	0,006	0,003	0,013	0,007	0,009	0,005	0,005	0,018	0,006	0,010	0,009	0,008	0,012	0,010	0,005	0,005
La	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,004	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002
Pr	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000
Nd	0,012	0,008	0,004	0,004	0,004	0,006	0,006	0,005	0,010	0,007	0,008	0,006	0,008	0,013	0,004	0,008	0,008	0,007	0,012	0,009	0,005	0,004
Sm	0,003	0,003	0,000	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	0,003	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000
Mg	0,000	0,007	0,005	0,004	0,005	0,006	0,006	0,004	0,003	0,006	0,007	0,003	0,004	0,003	0,005	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000
Ca	0,916	0,931	0,954	0,953	0,939	0,927	0,928	0,950	0,920	0,928	0,922	0,918	0,943	0,907	0,939	0,936	0,939	0,945	0,911	0,942	0,954	0,963
Mn	0,005	0,012	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013	0,012	0,004	0,011	0,012	0,005	0,006	0,005	0,011	0,010	0,012	0,013	0,011	0,008	0,010	0,010
Na	0,000	0,007	0,000	0,004	0,004	0,007	0,005	0,004	0,000	0,004	0,007	0,004	0,004	0,000	0,004	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,058	0,134	0,151	0,125	0,132	0,095	0,098	0,097	0,050	0,090	0,093	0,076	0,068	0,049	0,134	0,051	0,045	0,058	0,042	0,049	0,060	0,059
OH	0,089	0,068	0,047	0,061	0,078	0,098	0,097	0,098	0,119	0,105	0,101	0,082	0,068	0,108	0,057	0,084	0,077	0,068	0,119	0,074	0,060	0,065
O	4,902	4,823	4,824	4,832	4,817	4,839	4,840	4,827	4,879	4,840	4,838	4,893	4,888	4,901	4,838	4,905	4,904	4,903	4,888	4,912	4,910	4,899
Σ F + OH + O	5,050	5,025	5,021	5,018	5,027	5,032	5,035	5,022	5,048	5,035	5,032	5,050	5,024	5,058	5,029	5,040	5,025	5,030	5,048	5,035	5,030	5,023
Σ sítio Ca	0,970	0,978	0,983	0,984	0,973	0,975	0,974	0,980	0,972	0,970	0,973	0,962	0,980	0,963	0,974	0,969	0,980	0,978	0,963	0,974	0,977	0,985
Σ sítio Ti	1,004	0,989	0,992	0,996	1,002	0,998	0,999	1,004	1,007	1,001	0,993	1,016	0,996	1,000	1,006	1,015	1,008	1,002	1,012	1,006	1,003	1,008
Σ sítio Si	1,007	1,016	1,016	1,011	1,013	1,012	1,013	1,005	1,005	1,013	1,017	1,010	1,009	1,014	1,010	1,004	1,000	1,008	1,004	1,006	1,013	1,003
X Al	0,076	0,127	0,125	0,120	0,142	0,123	0,127	0,128	0,086	0,119	0,120	0,080	0,078	0,082	0,124	0,073	0,067	0,075	0,086	0,071	0,074	0,075
X F	0,012	0,027	0,030	0,025	0,026	0,019	0,020	0,019	0,010	0,018	0,019	0,015	0,014	0,010	0,027	0,010	0,009	0,012	0,008	0,010	0,012	0,012
Zr, ppm	968	182	95	93	156	85	117	1929	608	167	186	1718	1015	2143	306	418	458	569	587	484	472	269
P (GPa)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
a(TiO ₂)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
a(SiO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T(°C)	770	681	650	649	674	645	660	812	744	677	682	805	773	819	707	723	728	740	742	731	73	

Ponto	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	62	63	64	65	66	67	68	69
Grão	9A	9A	9A	9A	9A	9A	9A	9A	9A	9A	9A	9A	9A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A
P ₂ O ₅	0,05	0,06	0,06	0,07	0,06	0,08	0,05	0,08	0,05	0,06	0,06	<l.d.	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	<l.d.	<l.d.	0,04	0,05
Nb ₂ O ₅	0,35	0,47	0,49	0,48	0,45	0,44	0,35	0,59	0,08	0,24	0,32	0,42	0,38	0,45	0,37	0,35	0,55	0,54	0,50	0,48	0,53
SiO ₂	30,24	29,95	30,45	30,03	30,33	30,11	30,16	30,12	30,95	28,33	30,36	29,80	29,86	30,08	29,75	30,26	30,12	29,72	29,80	30,03	29,99
TiO ₂	34,24	34,24	35,42	34,54	35,35	35,35	34,48	34,93	35,17	37,38	35,32	33,10	33,69	35,31	35,38	35,36	34,44	33,77	33,59	33,92	34,89
ZrO ₂	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,06	0,08	0,02	0,02	0,03	0,07	0,08	0,05	0,03	0,03	0,07	0,07	0,08	0,08	0,06
ThO ₂	0,09	<l.d.	0,07	0,09	<l.d.	0,08	<l.d.	0,09	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	<l.d.	0,08	0,06	<l.d.	0,06	<l.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	2,10	1,97	1,69	1,95	1,73	1,72	1,98	1,65	2,49	2,25	2,01	2,01	2,12	1,85	1,89	1,95	1,83	1,91	2,03	2,04	1,83
Fe ₂ O ₃	2,41	2,47	1,87	2,38	2,08	2,04	2,36	2,09	1,66	2,89	2,36	2,97	2,68	1,99	2,04	1,86	2,47	2,50	2,75	2,69	2,26
Y ₂ O ₃	0,42	0,80	0,27	0,64	0,25	0,27	0,46	0,60	0,05	0,11	0,26	1,42	1,29	0,57	0,49	0,56	1,20	1,54	1,20	0,75	0,80
Ce ₂ O ₃	0,71	0,82	0,61	0,76	0,60	0,57	0,74	0,86	0,13	0,20	0,46	0,87	0,94	0,57	0,48	0,40	0,90	0,93	0,89	0,81	0,81
La ₂ O ₃	0,18	0,16	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,18	n.d.	<l.d.	0,13	0,18	0,14	0,14	0,11	0,09	0,14	0,18	0,12	0,14	0,17
Pr ₂ O ₃	0,16	0,16	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,17	0,12	n.d.	<l.d.	<l.d.	0,20	0,22	<l.d.	<l.d.	0,19	0,17	0,17	0,17	0,16	0,14
Nd ₂ O ₃	0,49	0,68	0,31	0,61	0,32	0,37	0,45	0,63	<l.d.	0,12	0,28	0,97	0,91	0,53	0,49	0,42	0,84	1,08	0,86	0,63	0,72
Sm ₂ O ₃	<l.d.	0,15	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,13	0,12	n.d.	<l.d.	<l.d.	0,33	0,24	<l.d.	0,13	0,42	0,20	0,33	0,19	0,15	0,19
MgO	<l.d.	0,07	0,05	0,05	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,04	n.d.	<l.d.	<l.d.	0,08	0,04	0,05	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	0,05	0,05	0,05
CaO	26,65	26,12	27,23	26,41	27,17	27,14	26,54	26,30	27,89	24,98	27,25	25,31	25,68	26,71	26,28	26,92	25,60	25,12	25,62	26,26	26,17
MnO	0,36	0,41	0,38	0,34	0,37	0,43	0,41	0,38	0,36	0,36	0,37	0,36	0,30	0,42	0,32	0,38	0,35	0,32	0,38	0,36	0,34
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,07	<l.d.	0,09	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,07	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
F	0,74	0,53	0,51	0,65	0,61	0,55	0,61	0,39	0,80	0,56	0,83	0,52	0,54	0,61	0,66	0,69	0,51	0,51	0,60	0,72	0,54
OH _{Calc}	0,55	0,71	0,51	0,58	0,48	0,51	0,62	0,65	0,47	0,87	0,43	0,84	0,79	0,49	0,47	0,43	0,68	0,72	0,72	0,60	0,61
Total	99,82	99,84	100,11	99,79	100,00	99,86	99,71	99,94	100,11	98,47	100,47	99,44	99,97	99,93	99,04	99,75	100,23	99,53	99,54	99,96	100,14
P	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001
Nb	0,005	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,005	0,009	0,001	0,004	0,005	0,006	0,006	0,007	0,006	0,005	0,008	0,008	0,008	0,007	0,008
Si	1,006	1,001	1,005	1,001	1,002	0,998	1,005	1,004	1,010	0,956	0,998	1,007	1,002	0,998	0,996	1,002	1,009	1,006	1,004	1,002	1,000
Ti	0,857	0,861	0,879	0,866	0,879	0,881	0,864	0,876	0,863	0,949	0,874	0,842	0,851	0,882	0,891	0,881	0,868	0,860	0,851	0,852	0,875
Zr	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Th	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,082	0,077	0,066	0,077	0,067	0,067	0,078	0,065	0,096	0,090	0,078	0,080	0,084	0,072	0,075	0,076	0,072	0,076	0,081	0,080	0,072
Fe	0,060	0,062	0,046	0,060	0,052	0,061	0,059	0,052	0,041	0,073	0,058	0,075	0,068	0,050	0,051	0,046	0,062	0,064	0,070	0,068	0,057
Y	0,007	0,014	0,005	0,011	0,004	0,005	0,008	0,011	0,001	0,002	0,005	0,026	0,023	0,010	0,009	0,010	0,021	0,028	0,021	0,013	0,014
Ce	0,009	0,010	0,007	0,009	0,007	0,007	0,009	0,011	0,002	0,003	0,006	0,011	0,012	0,007	0,006	0,005	0,011	0,012	0,011	0,010	0,010
La	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Pr	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Nd	0,006	0,008	0,004	0,007	0,004	0,004	0,005	0,008	0,000	0,001	0,003	0,012	0,011	0,006	0,006	0,005	0,010	0,013	0,010	0,008	0,009
Sm	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,002	0,000	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002
Mg	0,000	0,003	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,004	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002
Ca	0,950	0,935	0,963	0,943	0,962	0,963	0,947	0,939	0,975	0,904	0,960	0,917	0,923	0,950	0,942	0,955	0,919	0,911	0,924	0,939	0,935
Mn	0,010	0,012	0,011	0,010	0,010	0,012	0,011	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,009	0,012	0,009	0,011	0,010	0,009	0,011	0,010	0,010
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,077	0,056	0,053	0,068	0,064	0,058	0,064	0,041	0,083	0,060	0,086	0,055	0,058	0,064	0,070	0,073	0,054	0,054	0,064	0,076	0,057
OH	0,065	0,084	0,059	0,068	0,055	0,060	0,072	0,076	0,054	0,103	0,050	0,101	0,094	0,057	0,056	0,050	0,081	0,086	0,086	0,071	0,072
O	4,888	4,895	4,908	4,898	4,904	4,902	4,894	4,913	4,878	4,914	4,890	4,888	4,891	4,906	4,908	4,905	4,918	4,910	4,891	4,887	4,910
Σ F + OH + O	5,030	5,035	5,020	5,034	5,023	5,020	5,031	5,030	5,015	5,077	5,026	5,044	5,043	5,028	5,034	5,027	5,052	5,050	5,042	5,034	5,038
Σ sítio Ca	0,978	0,973	0,987	0,975	0,986	0,989	0,978	0,978	0,987	0,924	0,982	0,966	0,969	0,980	0,972	0,982	0,963	0,962	0,969	0,975	0,971
Σ sítio Ti	1,007	1,009	1,000	1,012	1,006	1,007	1,007	1,004	1,002	1,116	1,015	1,005	1,009	1,011	1,023	1,010	1,012	1,010	1,010	1,008	1,013
Σ sítio Si	1,007	1,003	1,007	1,003	1,004	1,000	1,006	1,006	1,011	0,958	1,000	1,007	1,003	1,000	0,998	1,004	1,010	1,006	1,004	1,004	1,001
X Al	0,082	0,077	0,066	0,076	0,068	0,067	0,078	0,065	0,096	0,081	0,077	0,080	0,084	0,072	0,073	0,076	0,072	0,076	0,081	0,080	0,072
X F	0,015	0,011	0,011	0,014	0,013	0,012	0,013	0,008	0,016	0,012	0,017	0,011	0,011	0,013	0,014	0,014	0,011	0,011	0,013	0,015	0,011
Zr, ppm	555	478	378	516	384	371	468	597	112	124	257	553	623	344	255	256	515</				

Ponto	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Grão	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	2A	2A	2A	2A	2A	2A	2A	2A	2A
P ₂ O ₅	0,07	0,04	0,07	0,08	0,05	0,07	0,04	0,06	0,08	0,08	0,05	0,05	0,07	0,04	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07
Nb ₂ O ₅	0,52	0,20	0,18	0,42	0,35	0,42	0,13	0,36	0,49	0,40	0,08	0,18	0,24	0,27	0,33	0,41	0,35	0,32	0,26	0,27
SiO ₂	30,44	30,63	30,83	30,51	30,48	30,36	30,61	30,43	30,27	30,56	31,42	30,59	30,62	30,55	30,42	27,81	30,34	30,55	30,36	30,39
TiO ₂	35,59	35,04	34,97	35,71	35,64	35,59	35,46	35,80	35,62	35,55	33,80	35,49	35,65	35,82	35,66	35,15	35,50	35,45	35,37	35,17
ZrO ₂	0,07	0,02	0,01	0,04	0,03	0,04	0,00	0,04	0,06	0,05	0,01	<l.d.	0,01	0,01	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
ThO ₂	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,06	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	0,06	<l.d.	<l.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	1,66	2,36	2,43	1,76	1,92	1,85	2,62	1,83	1,73	1,79	3,61	2,51	2,40	2,00	1,95	1,86	1,90	1,98	2,03	2,03
Fe ₂ O ₃	2,00	1,96	1,86	1,76	1,83	1,77	1,61	1,79	1,91	2,04	1,22	1,47	1,46	1,73	1,77	2,56	1,85	1,99	1,86	1,98
Y ₂ O ₃	0,27	0,12	0,11	0,23	0,22	0,33	0,05	0,27	0,22	0,30	0,08	<l.d.	0,04	0,26	0,21	0,51	0,32	0,27	0,16	0,21
Ce ₂ O ₃	0,66	0,21	0,21	0,57	0,44	0,56	0,10	0,48	0,64	0,60	0,11	0,13	0,18	0,31	0,40	0,55	0,43	0,40	0,39	0,38
La ₂ O ₃	0,14	0,06	0,07	0,12	0,07	0,14	<l.d.	0,07	0,17	0,16	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,09	0,12	0,11	0,09	0,08	0,11
Pr ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,13	0,15	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,12	<l.d.	<l.d.	0,10	<l.d.
Nd ₂ O ₃	0,35	0,16	0,14	0,34	0,29	0,42	0,08	0,35	0,38	0,43	0,06	<l.d.	0,12	0,29	0,29	0,54	0,33	0,28	0,26	0,27
Sm ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,12	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	0,11	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,12	<l.d.	<l.d.
MgO	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
CaO	27,00	27,67	27,74	27,20	27,34	26,97	28,29	27,14	27,07	27,10	27,94	27,92	27,96	27,44	27,25	26,73	27,13	27,15	27,46	27,21
MnO	0,37	0,39	0,41	0,36	0,38	0,42	0,33	0,40	0,35	0,35	0,17	0,30	0,34	0,40	0,33	0,28	0,34	0,39	0,42	0,36
Na ₂ O	0,05	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	<l.d.	0,09	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
F	0,61	0,91	0,97	0,68	0,75	0,66	0,88	0,65	0,58	0,71	1,34	0,71	0,63	0,61	0,59	0,81	0,60	0,58	0,60	0,66
OH _{Calc}	0,44	0,39	0,34	0,35	0,36	0,40	0,43	0,41	0,46	0,40	0,26	0,51	0,54	0,49	0,50	0,44	0,49	0,57	0,54	0,51
Total	100,23	100,18	100,34	100,14	100,15	99,99	100,65	100,20	100,22	100,67	100,16	99,85	100,37	100,28	99,88	98,16	99,87	100,23	99,99	99,65
P	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Nb	0,008	0,003	0,003	0,006	0,005	0,006	0,002	0,005	0,007	0,006	0,001	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006	0,005	0,005	0,004	0,004
Si	1,005	1,003	1,007	1,006	1,003	1,004	0,994	1,003	1,001	1,005	1,021	1,001	0,999	1,001	1,003	0,943	1,003	1,006	1,000	1,004
Ti	0,884	0,863	0,859	0,886	0,882	0,885	0,866	0,888	0,886	0,880	0,827	0,874	0,875	0,883	0,885	0,897	0,883	0,878	0,876	0,874
Zr	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,065	0,091	0,094	0,069	0,075	0,072	0,100	0,071	0,067	0,069	0,138	0,097	0,092	0,077	0,076	0,074	0,074	0,077	0,079	0,079
Fe	0,050	0,048	0,046	0,044	0,045	0,044	0,039	0,044	0,047	0,050	0,030	0,036	0,036	0,043	0,044	0,065	0,046	0,049	0,046	0,049
Y	0,005	0,002	0,002	0,004	0,004	0,006	0,001	0,005	0,004	0,005	0,001	0,000	0,001	0,004	0,004	0,009	0,006	0,005	0,003	0,004
Ce	0,008	0,003	0,002	0,007	0,005	0,007	0,001	0,006	0,008	0,007	0,001	0,002	0,002	0,004	0,005	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005
La	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Pr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000
Nd	0,004	0,002	0,002	0,004	0,003	0,005	0,001	0,004	0,004	0,005	0,001	0,000	0,001	0,003	0,003	0,007	0,004	0,003	0,003	0,003
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,955	0,971	0,971	0,961	0,964	0,955	0,984	0,958	0,959	0,955	0,973	0,979	0,977	0,964	0,963	0,971	0,961	0,957	0,969	0,963
Mn	0,010	0,011	0,011	0,010	0,011	0,012	0,009	0,011	0,010	0,010	0,005	0,008	0,009	0,011	0,009	0,008	0,010	0,011	0,012	0,010
Na	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,063	0,094	0,100	0,071	0,078	0,069	0,091	0,068	0,061	0,074	0,138	0,073	0,065	0,063	0,061	0,086	0,063	0,060	0,063	0,069
OH	0,051	0,045	0,039	0,041	0,042	0,047	0,049	0,048	0,054	0,046	0,030	0,059	0,063	0,057	0,059	0,053	0,057	0,066	0,062	0,060
O	4,911	4,877	4,877	4,913	4,902	4,911	4,867	4,910	4,912	4,909	4,854	4,881	4,885	4,896	4,905	4,864	4,905	4,901	4,891	4,895
Σ F + OH + O	5,026	5,016	5,016	5,025	5,022	5,027	5,006	5,025	5,026	5,029	5,022	5,014	5,013	5,016	5,025	5,003	5,025	5,027	5,016	5,023
Σ sítio Ca	0,983	0,987	0,988	0,983	0,985	0,981	0,996	0,981	0,982	0,979	0,980	0,989	0,990	0,987	0,982	1,003	0,983	0,979	0,989	0,983
Σ sítio Ti	1,007	1,006	1,002	1,005	1,008	1,008	1,008	1,009	1,009	1,006	0,996	1,009	1,007	1,007	1,010	1,044	1,009	1,009	1,005	1,007
Σ sítio Si	1,007	1,005	1,009	1,008	1,004	1,005	0,995	1,004	1,003	1,007	1,023	1,002	1,001	1,002	1,005	0,945	1,005	1,007	1,001	1,006
X Al	0,065	0,091	0,094	0,069	0,074	0,072	0,100	0,071	0,067	0,069	0,139	0,096	0,092	0,077	0,075	0,072	0,074	0,076	0,079	0,079
X F	0,013	0,019	0,020	0,014	0,016	0,014	0,018	0,014	0,012	0,015	0,028	0,015	0,013	0,013	0,012	0,017	0,013	0,012	0,012	0,014
Zr, ppm	482	158	105	321	240	306	36	291	417	391	70	71	81	231	323	296	252	202	227	
P (GPa)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
a(TiO ₂)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
a(SiO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T(°C)	731	674	655	710	695	707	607	705	723	720	637	637	643	693	710	705	697	686	692	

Ponto	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
Grão	2A	2A	2A	2A	2A	2A	2A	2A	2A	2A	2A	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
P ₂ O ₅	0,05	0,06	0,08	0,06	0,07	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	<l.d.	0,06	0,06	0,04	0,05	0,06	0,04	0,05	0,06
Nb ₂ O ₅	0,22	0,41	0,41	0,31	0,36	0,33	0,39	0,46	0,26	0,29	0,40	0,24	0,45	0,42	0,32	0,47	0,20	0,43	0,30	0,15	0,54
SiO ₂	30,50	30,61	30,29	30,44	30,48	30,57	30,55	30,62	30,42	30,54	30,39	29,44	29,28	29,81	29,79	29,50	29,34	29,49	29,86	30,40	29,85
TiO ₂	34,92	35,48	35,47	35,07	35,75	35,56	35,18	35,30	35,17	35,08	35,29	34,78	33,44	35,42	35,78	34,14	34,99	35,25	35,33	34,21	35,07
ZrO ₂	0,03	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06	0,08	0,04	0,02	0,00	0,04
ThO ₂	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,09	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,07	<l.d.	n.d.	0,06
Al ₂ O ₃	2,20	1,85	1,82	2,01	1,84	1,89	1,90	1,83	2,06	2,01	1,94	1,70	2,01	1,86	2,00	1,99	1,68	1,88	2,06	3,60	1,94
Fe ₂ O ₃	2,07	1,99	2,01	2,03	1,74	1,77	1,94	1,97	2,01	1,97	1,94	2,36	2,75	1,98	1,72	2,35	2,36	1,97	1,93	1,35	1,84
Y ₂ O ₃	0,19	0,26	0,27	0,23	0,26	0,28	0,63	0,42	0,29	0,31	0,59	0,72	1,56	0,50	0,22	1,08	0,75	0,56	0,36	<l.d.	0,26
Ce ₂ O ₃	0,42	0,57	0,54	0,44	0,46	0,40	0,49	0,64	0,46	0,45	0,50	0,99	0,93	0,64	0,41	0,92	0,93	0,66	0,38	n.d.	0,82
La ₂ O ₃	<l.d.	0,11	0,11	0,13	0,11	0,07	0,11	0,13	0,12	0,09	0,08	0,19	0,17	0,16	0,09	0,16	0,20	0,12	0,07	<l.d.	0,25
Pr ₂ O ₃	<l.d.	0,13	<l.d.	0,11	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,18	0,15	0,11	<l.d.	0,21	0,14	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
Nd ₂ O ₃	0,24	0,32	0,31	0,29	0,32	0,29	0,47	0,51	0,33	0,37	0,44	0,96	1,07	0,51	0,22	0,90	0,90	0,57	0,31	<l.d.	0,42
Sm ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,13	<l.d.	0,13	0,14	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,29	0,31	0,15	<l.d.	<l.d.	0,23	0,18	<l.d.	<l.d.	<l.d.
MgO	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,05	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,04	<l.d.	<l.d.	<l.d.
CaO	27,23	27,07	27,06	27,30	27,21	27,24	26,74	26,74	27,09	27,13	26,72	26,08	25,20	26,61	27,39	26,40	26,09	26,46	27,04	28,23	26,90
MnO	0,37	0,38	0,41	0,38	0,44	0,44	0,40	0,37	0,39	0,39	0,38	0,28	0,32	0,41	0,37	0,30	0,25	0,37	0,41	0,20	0,35
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,05	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.
F	0,69	0,54	0,52	0,82	0,62	0,59	0,54	0,41	0,68	0,65	0,55	0,59	0,61	0,67	0,83	0,70	0,66	0,68	0,90	1,46	0,75
OH _{Calc}	0,56	0,56	0,57	0,37	0,43	0,48	0,57	0,67	0,50	0,51	0,57	0,54	0,71	0,44	0,29	0,54	0,47	0,44	0,29	0,18	0,37
Total	99,69	100,41	99,93	100,03	100,25	100,00	100,10	100,41	99,89	99,89	99,87	99,51	99,10	99,83	99,58	99,77	99,32	99,26	99,32	99,82	99,52
P	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002
Nb	0,003	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006	0,007	0,004	0,004	0,006	0,004	0,007	0,006	0,005	0,007	0,003	0,006	0,005	0,002	0,008
Si	1,006	1,008	1,001	1,004	1,003	1,007	1,011	1,011	1,004	1,008	1,007	0,990	0,995	0,993	0,986	0,989	0,989	0,988	0,992	0,992	0,995
Ti	0,867	0,879	0,882	0,870	0,885	0,881	0,875	0,877	0,874	0,871	0,879	0,880	0,855	0,887	0,891	0,861	0,887	0,888	0,883	0,840	0,879
Zr	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Al	0,086	0,072	0,071	0,078	0,071	0,073	0,074	0,071	0,080	0,078	0,076	0,067	0,081	0,073	0,078	0,079	0,067	0,074	0,081	0,138	0,076
Fe	0,051	0,049	0,050	0,050	0,043	0,044	0,048	0,049	0,050	0,049	0,048	0,060	0,070	0,050	0,043	0,059	0,060	0,050	0,048	0,033	0,046
Y	0,003	0,005	0,005	0,004	0,005	0,005	0,011	0,007	0,005	0,005	0,010	0,013	0,028	0,009	0,004	0,019	0,013	0,010	0,006	0,000	0,005
Ce	0,005	0,007	0,007	0,005	0,006	0,005	0,006	0,008	0,006	0,006	0,006	0,012	0,012	0,008	0,005	0,011	0,012	0,008	0,005	0,000	0,010
La	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,003
Pr	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,003	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,006	0,006	0,004	0,004	0,005	0,012	0,013	0,006	0,003	0,011	0,011	0,007	0,004	0,000	0,005
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,002	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Ca	0,963	0,955	0,958	0,964	0,960	0,961	0,948	0,946	0,958	0,960	0,949	0,940	0,918	0,949	0,971	0,948	0,942	0,950	0,963	0,987	0,960
Mn	0,010	0,011	0,012	0,011	0,012	0,012	0,011	0,010	0,011	0,011	0,011	0,008	0,009	0,012	0,010	0,009	0,007	0,010	0,012	0,006	0,010
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,072	0,056	0,055	0,086	0,064	0,061	0,056	0,042	0,071	0,068	0,057	0,063	0,066	0,070	0,087	0,075	0,070	0,072	0,095	0,151	0,079
OH	0,065	0,065	0,066	0,043	0,050	0,056	0,066	0,078	0,059	0,059	0,067	0,064	0,085	0,052	0,034	0,063	0,056	0,052	0,034	0,021	0,043
O	4,887	4,908	4,905	4,892	4,908	4,906	4,910	4,915	4,895	4,897	4,909	4,900	4,892	4,907	4,894	4,886	4,905	4,904	4,892	4,837	4,901
Σ F + OH + O	5,024	5,029	5,026	5,020	5,023	5,023	5,032	5,036	5,026	5,024	5,033	5,027	5,043	5,029	5,015	5,024	5,032	5,028	5,021	5,009	5,023
Σ sítio Ca	0,982	0,978	0,983	0,986	0,984	0,984	0,977	0,973	0,981	0,983	0,977	0,979	0,969	0,979	0,992	0,989	0,976	0,980	0,986	0,993	0,988
Σ sítio Ti	1,008	1,007	1,010	1,004	1,006	1,004	1,004	1,006	1,008	1,003	1,010	1,012	1,014	1,017	1,018	1,007	1,018	1,020	1,017	1,014	1,011
Σ sítio Si	1,008	1,009	1,004	1,005	1,005	1,009	1,012	1,013	1,006	1,010	1,008	0,992	0,995	0,994	0,988	0,990	0,990	0,989	0,993	0,994	0,996
X Al	0,085	0,072	0,071	0,078	0,071	0,073	0,074	0,072	0,080	0,078	0,075	0,067	0,080	0,072	0,077	0,079	0,066	0,073	0,080	0,137	0,076
X F	0,014	0,011	0,011	0,017	0,013	0,012	0,011	0,008	0,014	0,013	0,011	0,012	0,013	0,014	0,017	0,015	0,014	0,014	0,019	0,030	0,016
Zr, ppm	217	413	346	306	232	228	268	326	227	300	259	583	526	523	614	475	585	332	158	0	269

Ponto	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133
Grão	3	3	3	3	3	3	3	3	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A	4A
P ₂ O ₅	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	<l.d.	0,05	0,07	0,08	0,06	0,08	0,06	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Nb ₂ O ₅	0,29	0,27	<l.d.	0,18	0,24	0,33	0,32	0,53	0,22	0,23	0,16	0,18	0,45	0,21	0,32	0,51	0,51	0,53	0,37	0,18	0,12	0,40
SiO ₂	29,93	30,13	30,32	29,55	29,82	29,82	29,86	29,27	29,82	29,57	29,75	29,95	30,19	30,12	29,58	29,14	29,69	29,73	29,97	29,80	30,53	29,95
TiO ₂	35,71	36,02	34,93	35,59	35,39	35,58	34,34	35,17	34,80	34,71	35,26	35,42	35,63	35,58	32,30	34,25	34,51	35,00	34,88	34,97	34,67	34,67
ZrO ₂	0,03	0,02	<l.d.	<l.d.	0,02	0,02	0,02	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,05	0,07	0,08	0,06	0,11	0,07	0,04	0,02	0,00	0,05
ThO ₂	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	0,07	0,08	0,06	<l.d.	0,06	0,06	0,07	<l.d.	<l.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	1,98	2,10	3,14	2,50	2,20	2,01	1,98	1,77	1,74	1,70	1,83	1,69	1,71	1,54	1,54	2,45	1,80	1,94	1,89	2,51	2,48	1,93
Fe ₂ O ₃	1,84	1,46	1,37	1,23	1,79	1,67	1,81	2,31	2,28	2,37	2,27	2,07	1,84	2,06	1,70	6,71	2,21	2,17	1,89	1,52	1,70	1,98
Y ₂ O ₃	0,25	0,07	<l.d.	<l.d.	0,17	0,26	0,29	0,98	0,65	0,66	0,70	0,45	0,30	0,37	0,64	1,13	1,06	0,52	0,46	0,13	0,05	0,58
Ce ₂ O ₃	0,34	0,17	<l.d.	<l.d.	0,26	0,34	0,35	1,02	0,91	0,94	0,96	0,81	0,59	0,78	1,21	0,88	0,91	0,75	0,50	0,19	0,16	0,57
La ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,07	0,07	0,06	<l.d.	0,20	0,19	0,20	0,24	0,18	0,24	0,24	0,15	0,15	0,15	0,10	<l.d.	<l.d.	0,10
Pr ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,17	0,15	0,21	0,20	<l.d.	0,11	0,14	0,24	0,19	0,15	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.
Nd ₂ O ₃	0,27	0,11	<l.d.	0,10	0,20	0,26	0,33	0,85	0,82	0,88	0,87	0,54	0,37	0,45	1,06	0,85	0,86	0,56	0,48	0,16	0,08	0,57
Sm ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,23	0,22	0,31	0,23	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,30	0,19	0,19	0,12	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.
MgO	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,08	<l.d.	<l.d.	0,05	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,09	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
CaO	27,34	27,89	28,32	28,03	27,63	27,38	27,23	25,70	26,17	26,10	25,95	26,52	26,88	26,92	25,84	22,17	25,72	26,38	26,48	27,15	27,72	26,51
MnO	0,41	0,36	0,21	0,26	0,40	0,39	0,36	0,33	0,19	0,19	0,19	0,31	0,35	0,28	0,27	0,33	0,37	0,37	0,42	0,26	0,36	0,40
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,07	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,05	<l.d.	0,07	0,07	<l.d.	0,13	0,08	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	<l.d.
F	0,84	0,89	1,27	0,99	1,08	0,85	0,80	0,71	0,43	0,50	0,50	0,59	0,68	0,63	0,34	0,47	0,52	0,64	0,74	0,93	0,93	0,62
OH _{Calc}	0,30	0,21	0,21	0,21	0,15	0,26	0,33	0,45	0,68	0,62	0,65	0,48	0,35	0,39	0,57	1,82	0,60	0,54	0,37	0,33	0,36	0,51
Total	99,57	99,74	99,82	98,69	99,53	99,30	99,31	99,07	99,80	99,43	99,39	99,28	99,67	100,04	99,67	99,63	99,30	99,10	98,84	98,11	99,58	98,89
P	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Nb	0,004	0,004	0,000	0,003	0,004	0,005	0,005	0,008	0,003	0,004	0,002	0,003	0,007	0,003	0,005	0,008	0,008	0,008	0,006	0,003	0,002	0,006
Si	0,990	0,990	0,990	0,978	0,984	0,989	0,991	0,991	0,998	0,995	1,000	1,002	1,002	0,998	0,996	0,999	1,001	0,998	1,004	0,996	1,002	1,003
Ti	0,889	0,890	0,858	0,887	0,879	0,888	0,889	0,875	0,886	0,881	0,878	0,887	0,885	0,888	0,901	0,833	0,869	0,871	0,882	0,877	0,864	0,874
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Al	0,077	0,081	0,121	0,097	0,086	0,079	0,077	0,070	0,069	0,067	0,072	0,067	0,067	0,060	0,061	0,099	0,071	0,077	0,074	0,099	0,096	0,076
Fe	0,046	0,036	0,034	0,031	0,045	0,042	0,045	0,059	0,057	0,060	0,057	0,052	0,046	0,051	0,043	0,173	0,056	0,055	0,048	0,038	0,042	0,050
Y	0,004	0,001	0,000	0,000	0,003	0,005	0,005	0,018	0,012	0,012	0,012	0,008	0,005	0,007	0,011	0,021	0,019	0,009	0,008	0,002	0,001	0,010
Ce	0,004	0,002	0,000	0,000	0,003	0,004	0,004	0,013	0,011	0,012	0,012	0,010	0,007	0,009	0,015	0,011	0,011	0,009	0,006	0,002	0,002	0,007
La	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001
Pr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,003	0,002	0,000	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,003	0,001	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,010	0,010	0,011	0,010	0,006	0,004	0,005	0,013	0,010	0,010	0,007	0,006	0,002	0,001	0,007
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,969	0,982	0,991	0,995	0,977	0,973	0,969	0,932	0,938	0,941	0,934	0,950	0,956	0,956	0,932	0,814	0,929	0,949	0,950	0,972	0,975	0,952
Mn	0,011	0,010	0,006	0,007	0,011	0,011	0,010	0,010	0,005	0,005	0,005	0,009	0,010	0,008	0,008	0,010	0,011	0,011	0,012	0,007	0,010	0,011
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,004	0,005	0,000	0,009	0,005	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,088	0,093	0,131	0,104	0,113	0,089	0,084	0,076	0,046	0,054	0,053	0,062	0,072	0,066	0,036	0,051	0,055	0,068	0,079	0,098	0,097	0,066
OH	0,035	0,024	0,024	0,024	0,018	0,031	0,039	0,053	0,080	0,074	0,077	0,057	0,041	0,045	0,068	0,221	0,072	0,064	0,043	0,039	0,041	0,061
O	4,894	4,891	4,850	4,872	4,873	4,893	4,894	4,905	4,913	4,908	4,904	4,911	4,909	4,908	4,935	4,867	4,907	4,899	4,908	4,883	4,871	4,902
Σ F + OH + O	5,017	5,008	5,004	5,000	5,003	5,013	5,017	5,035	5,039	5,035	5,034	5,030	5,022	5,019	5,039	5,139	5,034	5,031	5,030	5,019	5,009	5,028
Σ sítio Ca	0,989	0,995	0,996	1,002	0,999	0,993	0,989	0,975	0,969	0,973	0,970	0,980	0,985	0,988	0,970	0,866	0,977	0,980	0,978	0,984	0,992	0,981
Σ sítio Ti	1,016	1,012	1,013	1,017	1,013	1,013	1,016	1,014	1,016	1,013	1,011	1,010	1,006	1,005	1,013	1,114	1,006	1,013	1,011	1,017	1,004	1,007
Σ sítio Si	0,992	0,992	0,991	0,980	0,985	0,991	0,991	0,992	1,000	0,998	1,001	1,004	1,004	1,001	0,999	1,000	1,003	0,999	1,005	0,997	1,004	1,005
X Al	0,076	0,081	0,119	0,096	0,085	0,078	0,077	0,070	0,068	0,067	0,072	0,066	0,067	0,060	0,061							

Ponto	Granito São Caetano																					
	135	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	50
Grão	4A	10	10	10	10	10	10	10	10	10	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6
P ₂ O ₅	0,05	0,06	0,07	0,05	0,05	0,03	0,05	0,07	0,05	0,05	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	n.d.	0,07	0,06	<l.d.	0,07	0,06	0,14
Nb ₂ O ₅	0,60	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	0,08	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	0,28
SiO ₂	29,73	30,80	30,93	30,86	30,96	30,83	30,84	30,78	30,84	30,88	30,82	30,47	30,94	30,95	30,67	31,15	30,55	30,61	30,65	31,22	31,01	30,31
TiO ₂	34,60	36,72	37,72	36,25	36,39	36,65	35,96	36,20	36,35	34,78	36,90	37,00	36,35	36,14	37,36	36,85	36,99	36,50	36,09	36,89	37,41	36,83
ZrO ₂	0,08	0,03	0,02	0,02	0,01	0,04	<l.d.	0,01	<l.d.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,01	0,07
ThO ₂	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	0,11
Al ₂ O ₃	1,76	1,52	1,25	1,62	1,62	1,56	1,80	1,78	1,75	2,45	1,39	1,74	1,60	1,81	1,28	1,58	1,31	1,64	1,89	1,60	1,27	1,11
Fe ₂ O ₃	1,98	1,65	1,24	1,78	1,62	1,43	1,83	1,75	1,79	2,59	1,51	1,83	1,61	1,95	1,21	1,38	1,43	1,67	1,93	1,58	1,26	1,44
Y ₂ O ₃	0,66	<l.d.	0,04	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,05	0,04	0,04	<l.d.	<l.d.	0,04	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,21
Ce ₂ O ₃	0,81	<l.d.	0,15	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,09	<l.d.	0,18	0,09	0,10	0,12	0,11	n.d.	0,15	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	1,14
La ₂ O ₃	0,13	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	0,08	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	0,35
Pr ₂ O ₃	0,13	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
Nd ₂ O ₃	0,62	<l.d.	0,08	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,08	0,07	0,10	0,10	0,10	<l.d.	0,06	0,10	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,52
Sm ₂ O ₃	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
MgO	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	0,07	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,98	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	0,07	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.
CaO	26,11	28,06	28,17	27,91	28,22	27,82	28,10	28,22	28,35	26,59	27,85	27,44	27,89	27,74	27,87	27,83	27,79	28,07	27,92	28,00	28,12	26,75
MnO	0,35	0,10	0,10	0,14	0,12	<l.d.	0,09	0,12	0,09	0,08	0,12	0,10	0,09	0,09	0,11	0,12	0,16	<l.d.	0,14	<l.d.	0,08	0,16
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
F	0,50	0,61	0,40	n.d.	0,73	n.d.	n.d.	0,75	0,76	0,49	0,42	0,33	0,22	0,32	0,18	n.d.	0,23	0,30	n.d.	n.d.	0,24	0,25
OH _{Calc}	0,56	0,31	0,32	0,29	0,23	0,16	0,30	0,30	0,28	0,94	0,41	0,68	0,68	0,73	0,52	0,58	0,53	0,64	0,69	0,63	0,47	0,45
Total	98,65	99,86	100,51	98,91	99,95	98,59	98,96	100,05	100,35	99,82	99,76	99,85	99,76	100,05	99,39	99,65	99,54	99,48	99,31	99,99	99,95	100,11
P	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,000	0,002	0,002	0,004
Nb	0,009	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
Si	1,003	1,008	1,007	1,013	1,011	1,013	1,010	1,005	1,004	1,008	1,011	1,000	1,013	1,013	1,008	1,017	1,005	1,005	1,005	1,017	1,013	1,007
Ti	0,878	0,904	0,924	0,895	0,894	0,906	0,886	0,889	0,891	0,854	0,910	0,914	0,895	0,890	0,924	0,905	0,916	0,902	0,890	0,904	0,919	0,920
Zr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Al	0,070	0,058	0,048	0,062	0,062	0,060	0,069	0,069	0,067	0,094	0,054	0,067	0,062	0,070	0,049	0,061	0,051	0,063	0,073	0,061	0,049	0,043
Fe	0,050	0,041	0,030	0,044	0,040	0,035	0,045	0,043	0,044	0,064	0,037	0,045	0,040	0,048	0,030	0,034	0,035	0,041	0,048	0,039	0,031	0,036
Y	0,012	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
Ce	0,010	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014
La	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
Pr	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,007	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,048	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,944	0,984	0,982	0,981	0,988	0,980	0,986	0,988	0,989	0,929	0,979	0,965	0,979	0,973	0,982	0,974	0,980	0,987	0,981	0,977	0,984	0,952
Mn	0,010	0,003	0,003	0,004	0,003	0,000	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,004	0,000	0,004	0,000	0,002	0,004
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,053	0,064	0,041	0,072	0,076	0,077	0,080	0,078	0,078	0,050	0,044	0,034	0,023	0,033	0,019	0,028	0,024	0,031	0,040	0,027	0,025	0,026
OH	0,067	0,036	0,037	0,034	0,026	0,019	0,035	0,034	0,033	0,108	0,047	0,078	0,078	0,085	0,060	0,067	0,062	0,074	0,080	0,073	0,055	0,053
O	4,915	4,915	4,936	4,910	4,908	4,922	4,898	4,898	4,897	4,863	4,927	4,918	4,911	4,906	4,936	4,925	4,929	4,909	4,895	4,924	4,935	4,955
Σ F + OH + O	5,035	5,014	5,015	5,016	5,010	5,017	5,012	5,010	5,008	5,021	5,018	5,031	5,012	5,024	5,015	5,020	5,015	5,013	5,015	5,024	5,014	5,034
Σ sítio Ca	0,977	0,987	0,987	0,985	0,991	0,980	0,988	0,991	0,993	0,932	0,984	0,971	0,987	0,977	0,986	0,977	0,988	0,987	0,985	0,977	0,986	0,978
Σ sítio Ti	1,009	1,004	1,003	1,001	0,996	1,003	1,000	1,001	1,001	1,012	1,003	1,027	0,997	1,008	1,004	1,000	1,004	1,006	1,010	1,004	0,999	1,005
Σ sítio Si	1,005	1,010	1,008	1,014	1,013	1,014	1,011	1,007	1,006	1,009	1,012	1,002	1,015	1,014	1,010	1,019	1,007	1,006	1,005	1,019	1,014	1,010
X Al	0,070	0,058	0,048	0,062	0,062	0,060	0,069	0,069	0,067	0,093	0,054	0,066	0,062	0,069	0,049	0,061	0,051	0,063	0,072	0,061	0,049	0,043
X F	0,011	0,013	0,008	0,014	0,015	0,015	0,016	0,015	0,016	0,010	0,009											

Ponto	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Grão	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	2	2	2	2	2	2	2	2	2
P ₂ O ₅	0,14	0,13	0,10	0,09	0,06	0,08	0,12	0,08	0,09	0,07	0,07	0,05	0,13	0,13	0,14	0,10	0,10	0,11	0,06	0,07	0,07
Nb ₂ O ₅	0,23	0,23	0,17	0,12	0,07	0,06	0,14	n.d.	0,17	0,09	<l.d.	0,05	0,25	0,25	0,26	0,18	0,17	0,22	0,11	0,05	0,06
SiO ₂	30,16	30,29	30,11	30,27	30,55	30,50	30,23	30,82	30,27	30,48	30,26	30,75	29,82	30,09	30,28	30,05	30,05	30,12	30,42	30,52	30,13
TiO ₂	36,87	36,97	36,72	36,43	36,46	36,66	36,76	36,26	36,39	36,62	36,25	36,13	36,83	36,82	36,65	36,36	36,64	37,16	36,69	37,10	36,67
ZrO ₂	0,07	0,06	0,07	0,05	0,04	0,02	0,07	0,02	0,07	0,05	0,02	0,03	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,06	0,04	0,02	0,04
ThO ₂	0,15	0,16	0,13	0,11	0,09	<l.d.	0,10	<l.d.	0,12	0,10	<l.d.	0,06	0,15	0,15	0,15	0,10	0,14	0,12	0,11	n.d.	0,07
Al ₂ O ₃	1,09	1,24	1,32	1,44	1,62	1,40	1,27	1,60	1,30	1,39	1,63	1,64	1,13	1,13	1,16	1,33	1,30	1,11	1,38	1,41	1,49
Fe ₂ O ₃	1,39	1,36	1,66	1,73	1,99	1,55	1,54	1,70	1,62	1,66	1,68	1,61	1,45	1,52	1,30	1,63	1,60	1,33	1,48	1,23	1,45
Y ₂ O ₃	0,17	0,11	0,16	0,09	0,07	0,07	0,12	0,07	0,22	0,07	0,04	0,06	0,19	0,19	0,18	0,19	0,15	0,13	0,06	0,07	0,08
Ce ₂ O ₃	1,11	0,73	0,93	0,65	0,23	0,23	0,78	0,18	1,03	0,46	0,18	0,19	1,21	1,17	1,17	0,99	0,88	0,79	0,38	0,14	0,28
La ₂ O ₃	0,35	0,24	0,29	0,21	0,10	0,07	0,27	<l.d.	0,30	0,14	<l.d.	<l.d.	0,36	0,36	0,39	0,28	0,27	0,26	n.d.	<l.d.	0,06
Pr ₂ O ₃	0,12	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,11	n.d.	0,15	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,12	0,15	0,16	0,16	0,16	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
Nd ₂ O ₃	0,46	0,33	0,34	0,26	0,14	0,13	0,28	0,11	0,45	0,18	0,12	0,12	0,55	0,56	0,51	0,43	0,39	0,33	0,16	0,10	0,17
Sm ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
MgO	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,13	0,25	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.
CaO	26,84	27,26	27,09	27,31	27,29	27,76	27,30	27,91	26,92	27,49	27,72	27,95	26,74	26,54	26,71	26,90	27,14	27,05	27,60	27,94	27,84
MnO	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	<l.d.	0,15	0,10	0,12	0,11	0,14	0,14	0,14	0,12	0,13	0,17	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.
F	0,24	0,32	0,28	0,36	0,57	0,53	0,32	0,55	0,31	0,39	0,59	0,54	0,18	0,28	0,24	0,37	0,46	0,29	0,54	0,52	0,53
OH _{Calc}	0,44	0,41	0,54	0,52	0,45	0,32	0,47	0,40	0,50	0,47	0,38	0,41	0,52	0,45	0,45	0,46	0,37	0,39	0,30	0,27	0,34
Total	99,96	99,99	100,05	99,93	100,14	99,39	100,02	99,78	100,03	99,77	99,07	99,75	99,85	99,98	99,93	99,78	100,01	99,58	99,44	99,53	99,39
P	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002
Nb	0,004	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001	0,001
Si	1,003	1,002	0,997	0,999	1,002	1,006	1,000	1,011	1,005	1,006	1,000	1,009	0,995	1,003	1,007	1,000	0,997	1,001	1,004	1,003	0,995
Ti	0,922	0,920	0,915	0,905	0,900	0,910	0,914	0,895	0,909	0,909	0,902	0,892	0,924	0,923	0,917	0,910	0,914	0,929	0,911	0,918	0,911
Zr	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Th	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Al	0,043	0,048	0,051	0,056	0,062	0,054	0,050	0,062	0,051	0,054	0,064	0,064	0,045	0,045	0,045	0,052	0,051	0,043	0,054	0,055	0,058
Fe	0,035	0,034	0,041	0,043	0,049	0,038	0,038	0,042	0,040	0,041	0,042	0,040	0,036	0,038	0,033	0,041	0,040	0,033	0,037	0,030	0,036
Y	0,003	0,002	0,003	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001
Ce	0,014	0,009	0,011	0,008	0,003	0,003	0,009	0,002	0,013	0,006	0,002	0,002	0,015	0,014	0,014	0,012	0,011	0,010	0,005	0,002	0,003
La	0,004	0,003	0,004	0,003	0,001	0,001	0,003	0,000	0,004	0,002	0,000	0,000	0,004	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003	0,002	0,000	0,001
Pr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Nd	0,005	0,004	0,004	0,003	0,002	0,001	0,003	0,001	0,005	0,002	0,001	0,001	0,007	0,007	0,006	0,005	0,005	0,004	0,002	0,001	0,002
Sm	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,006	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,956	0,966	0,962	0,966	0,959	0,981	0,967	0,981	0,958	0,972	0,982	0,983	0,956	0,948	0,952	0,959	0,964	0,963	0,976	0,984	0,985
Mn	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,000	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,026	0,034	0,029	0,038	0,059	0,055	0,034	0,057	0,032	0,041	0,061	0,056	0,019	0,030	0,025	0,039	0,048	0,031	0,056	0,054	0,055
OH	0,052	0,048	0,063	0,061	0,053	0,038	0,055	0,046	0,059	0,055	0,044	0,048	0,062	0,053	0,053	0,054	0,043	0,046	0,035	0,031	0,039
O	4,953	4,943	4,934	4,919	4,911	4,925	4,934	4,912	4,937	4,926	4,907	4,908	4,948	4,955	4,954	4,933	4,933	4,951	4,927	4,927	4,915
Σ F + OH + O	5,030	5,025	5,026	5,018	5,023	5,017	5,022	5,016	5,028	5,022	5,013	5,012	5,029	5,037	5,032	5,026	5,024	5,028	5,017	5,012	5,009
Σ sítio Ca	0,980	0,983	0,983	0,982	0,968	0,986	0,986	0,987	0,981	0,983	0,989	0,990	0,982	0,973	0,978	0,983	0,984	0,981	0,987	0,990	0,994
Σ sítio Ti	1,006	1,007	1,012	1,007	1,014	1,004	1,006	0,999	1,005	1,007	1,008	0,997	1,011	1,012	1,001	1,008	1,010	1,011	1,005	1,004	1,007
Σ sítio Si	1,007	1,005	1,000	1,002	1,004	1,009	1,003	1,013	1,007	1,008	1,002	1,011	0,998	1,006	1,011	1,003	0,999	1,004	1,006	1,005	0,997
X Al	0,043	0,048	0,051	0,056	0,062	0,054	0,049	0,062	0,051	0,054	0,063	0,064	0,044	0,044	0,046	0,052	0,051	0,043	0,054	0,055	0,058
X F	0,005	0,007	0,006	0,008	0,012	0,011	0,007	0,011	0,006	0,008	0,012	0,011	0,004	0,006	0,005	0,008	0,010	0,006	0,011	0,011	0,011
Zr, ppm	493	430	536	395	270	121	486	178	538	381	180	204	488	537	534	561	526	430	295	155	290
P (GPa)	0,4	0,4	0,4</																		

Ponto	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	4	5	6	7	8	9	10
Grão	2	2	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	1	1	1	1	1	1	1
P ₂ O ₅	0,07	0,07	0,07	0,12	0,11	0,06	0,07	0,06	0,10	0,04	0,05	0,08	0,10	0,10	0,11	0,14	0,12	0,13	0,09	0,09	0,07	0,11
Nb ₂ O ₅	0,11	0,10	0,12	0,18	0,23	0,17	0,16	0,18	0,14	0,06	n.d.	0,07	0,17	0,18	0,06	0,31	0,28	0,26	0,13	0,16	0,08	0,17
SiO ₂	30,61	30,67	30,10	30,03	29,83	29,64	29,67	29,63	30,10	30,57	30,63	30,36	30,86	30,00	30,48	29,77	29,95	29,79	30,00	30,11	30,27	30,00
TiO ₂	36,71	36,55	36,76	36,91	36,46	34,67	34,56	34,73	36,29	36,47	36,16	36,61	37,11	36,27	36,84	36,50	36,37	36,45	36,38	36,39	36,58	36,31
ZrO ₂	0,04	0,05	0,01	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,04	0,08	0,09	0,08	0,07	0,07	0,04	0,06
ThO ₂	0,07	0,12	0,06	0,08	0,10	0,07	0,07	0,10	0,06	0,06	<l.d.	0,16	0,12	0,08	0,09	0,15	0,16	0,10	0,11	0,12	<l.d.	0,10
Al ₂ O ₃	1,39	1,37	1,25	1,14	1,15	1,56	1,52	1,64	1,41	1,47	1,54	1,46	1,23	1,35	1,46	1,18	1,24	1,21	1,38	1,36	1,47	1,39
Fe ₂ O ₃	1,53	1,71	1,46	1,38	1,53	2,29	2,29	2,16	1,68	1,55	1,70	1,45	1,34	1,75	1,43	1,51	1,52	1,54	1,62	1,54	1,48	1,57
Y ₂ O ₃	0,05	0,08	0,36	0,23	0,34	0,85	0,82	0,84	0,19	0,06	0,07	0,08	0,07	0,21	0,06	0,24	0,23	0,24	0,17	0,13	0,08	0,15
Ce ₂ O ₃	0,21	0,63	0,66	0,94	1,08	1,34	1,35	1,37	0,90	0,19	0,17	0,36	0,51	0,91	0,26	1,24	1,11	1,18	0,83	0,70	0,24	0,79
La ₂ O ₃	n.d.	0,23	0,15	0,30	0,31	0,27	0,32	0,28	0,26	0,07	<l.d.	0,11	0,20	0,28	0,09	0,37	0,32	0,31	0,30	0,21	n.d.	0,30
Pr ₂ O ₃	<l.d.	0,12	0,19	0,14	0,11	0,20	0,26	0,25	0,13	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	0,12	<l.d.	0,13	0,15	0,10	0,11	<l.d.	<l.d.	0,12
Nd ₂ O ₃	0,15	0,22	0,61	0,45	0,67	1,28	1,27	1,34	0,41	0,14	0,11	0,18	0,17	0,42	0,13	0,50	0,55	0,51	0,36	0,29	0,15	0,32
Sm ₂ O ₃	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.
MgO	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,07	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.
CaO	27,78	27,37	26,76	26,86	26,55	25,50	25,22	25,44	26,85	27,82	27,73	27,80	27,61	26,89	27,73	26,47	26,37	26,58	26,78	26,91	27,30	27,02
MnO	0,14	0,12	0,18	0,13	0,15	0,11	0,09	<l.d.	0,13	0,13	0,15	0,10	0,10	0,10	0,14	0,14	0,13	0,11	0,19	0,13	0,09	0,16
Na ₂ O	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,05	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.
F	0,45	0,48	0,31	0,37	0,34	0,37	0,36	0,33	0,53	0,71	0,61	0,58	0,40	0,42	0,57	0,21	<l.d.	0,23	0,35	0,28	0,41	0,43
OH _{Calc}	0,38	0,39	0,45	0,35	0,41	0,68	0,68	0,71	0,35	0,18	0,33	0,28	0,34	0,44	0,28	0,53	0,74	0,53	0,49	0,53	0,44	0,42
Total	99,70	100,27	99,50	99,67	99,42	99,10	98,76	99,19	99,60	99,58	99,34	99,73	100,36	99,59	99,76	99,47	99,32	99,36	99,35	99,01	98,71	99,41
P	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004	0,002	0,003	0,002	0,003
Nb	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001	0,005	0,004	0,004	0,002	0,002	0,001	0,002
Si	1,007	1,010	1,002	1,000	0,999	1,004	1,010	1,003	1,002	1,007	1,009	1,001	1,012	0,999	1,003	0,998	1,004	0,998	1,001	1,005	1,006	0,999
Ti	0,908	0,905	0,921	0,924	0,919	0,884	0,885	0,884	0,909	0,904	0,896	0,908	0,916	0,909	0,912	0,920	0,917	0,919	0,913	0,914	0,914	0,910
Zr	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Th	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Al	0,054	0,053	0,049	0,045	0,046	0,062	0,061	0,065	0,055	0,057	0,060	0,057	0,048	0,053	0,057	0,047	0,049	0,048	0,054	0,053	0,058	0,054
Fe	0,038	0,042	0,037	0,035	0,039	0,058	0,059	0,055	0,042	0,038	0,042	0,036	0,033	0,044	0,035	0,038	0,038	0,039	0,041	0,039	0,037	0,039
Y	0,001	0,001	0,006	0,004	0,006	0,015	0,015	0,015	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001	0,004	0,004	0,004	0,003	0,002	0,001	0,003
Ce	0,003	0,008	0,008	0,012	0,013	0,017	0,017	0,017	0,011	0,002	0,002	0,004	0,006	0,011	0,003	0,015	0,014	0,015	0,010	0,009	0,003	0,010
La	0,001	0,003	0,002	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,001	0,000	0,001	0,002	0,003	0,001	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,001	0,004
Pr	0,000	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
Nd	0,002	0,003	0,007	0,005	0,008	0,015	0,015	0,016	0,005	0,002	0,001	0,002	0,002	0,005	0,001	0,006	0,007	0,006	0,004	0,003	0,002	0,004
Sm	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,004	0,004	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,979	0,965	0,955	0,958	0,953	0,926	0,919	0,923	0,958	0,981	0,979	0,982	0,970	0,960	0,978	0,950	0,947	0,954	0,957	0,962	0,972	0,964
Mn	0,004	0,003	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,000	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,005	0,004	0,003	0,004
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,047	0,050	0,033	0,039	0,036	0,040	0,038	0,035	0,056	0,074	0,063	0,061	0,041	0,045	0,060	0,022	0,000	0,025	0,037	0,030	0,043	0,045
OH	0,045	0,045	0,052	0,041	0,048	0,081	0,081	0,085	0,042	0,021	0,039	0,032	0,039	0,052	0,032	0,062	0,087	0,062	0,058	0,062	0,051	0,049
O	4,924	4,930	4,943	4,948	4,946	4,925	4,932	4,924	4,932	4,917	4,911	4,920	4,943	4,931	4,925	4,950	4,951	4,945	4,934	4,936	4,929	4,930
Σ F + OH + O	5,016	5,025	5,028	5,028	5,030	5,045	5,051	5,045	5,029	5,013	5,013	5,013	5,024	5,028	5,017	5,034	5,038	5,032	5,028	5,028	5,024	5,024
Σ sítio Ca	0,987	0,980	0,976	0,981	0,980	0,964	0,958	0,962	0,979	0,989	0,986	0,992	0,983	0,981	0,987	0,979	0,973	0,980	0,980	0,979	0,980	0,985
Σ sítio Ti	1,002	1,004	1,009	1,008	1,008	1,008	1,008	1,009	1,010	1,001	0,999	1,003	1,000	1,010	1,006	1,012	1,011	1,011	1,012	1,010	1,011	1,008
Σ sítio Si	1,008	1,012	1,004	1,003	1,002	1,006	1,012	1,005	1,005	1,008	1,010	1,003	1,015	1,002	1,006	1,002	1,008	1,002	1,003	1,007	1,008	1,002
X Al	0,054	0,053	0,049	0,045	0,045	0,062	0,061	0,065	0,055	0,057	0,060	0,057	0,048	0,053	0,056	0,046	0,049	0,048	0,054	0,053</		

Ponto Grão													Granito Santana									
	11	12	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38	40	41	42	43	44	45	16	17	18
	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1C	1C	1C	1C	1C	1C	1C	2C	2C	2C
P ₂ O ₅	0,07	0,05	0,06	0,06	0,08	0,05	0,07	0,08	0,09	0,07	0,08	0,08	<l.d.	0,05	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
Nb ₂ O ₅	0,06	<l.d.	0,18	0,12	0,11	<l.d.	0,07	0,20	0,19	0,16	0,12	0,10	0,28	0,35	0,48	0,31	0,35	0,37	0,35	0,38	0,40	0,55
SiO ₂	30,31	30,89	29,28	28,89	29,76	29,92	30,04	28,84	29,62	28,97	29,09	29,64	30,11	29,77	30,39	29,74	29,64	29,58	29,34	30,00	30,07	30,11
TiO ₂	36,81	37,02	35,79	34,34	36,56	36,29	36,79	34,52	36,28	34,37	34,79	36,31	31,86	33,96	37,93	33,82	34,15	34,11	34,57	34,04	33,85	34,17
ZrO ₂	0,02	0,02	0,03	0,08	0,05	0,02	0,03	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,01	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,01	0,06	0,06	0,06
ThO ₂	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,11	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,08	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,08	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	1,34	1,45	1,37	1,68	1,49	1,68	1,42	1,62	1,25	1,76	1,56	1,42	3,16	1,73	3,03	1,67	1,61	1,58	3,13	1,96	2,03	2,02
Fe ₂ O ₃	1,45	1,51	1,68	2,31	1,43	1,58	1,42	2,29	1,48	2,29	2,26	1,54	2,78	3,10	1,04	2,98	2,73	2,69	2,48	2,58	2,64	2,48
Y ₂ O ₃	0,10	0,04	0,52	0,86	0,07	<l.d.	0,07	0,94	0,26	0,92	0,55	0,09	0,44	0,85	0,34	0,88	0,97	0,87	0,45	0,29	0,29	0,29
Ce ₂ O ₃	0,20	0,09	1,16	1,49	0,36	0,14	0,18	1,52	1,00	1,30	1,47	0,68	0,43	1,37	0,23	1,43	1,46	1,50	0,56	0,67	0,60	0,56
La ₂ O ₃	n.d.	<l.d.	0,26	0,36	0,13	<l.d.	<l.d.	0,31	0,32	0,29	0,34	0,23	0,07	0,36	<l.d.	0,38	0,35	0,35	0,07	0,20	0,17	0,20
Pr ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	0,17	0,24	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,27	0,10	0,20	0,26	0,09	0,12	0,24	<l.d.	0,22	0,22	0,24	0,11	0,11	<l.d.	0,11
Nd ₂ O ₃	0,15	0,10	0,83	1,34	0,21	<l.d.	0,09	1,41	0,49	1,28	1,02	0,25	0,38	0,89	0,24	0,89	1,10	0,98	n.d.	<l.d.	0,25	0,27
Sm ₂ O ₃	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.
MgO	<l.d.	n.d.	0,06	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,11	0,08	n.d.	0,13	0,09	0,11	0,10	0,06	0,04	0,07
CaO	27,55	27,81	25,93	25,02	27,41	27,54	27,45	24,85	26,41	25,17	25,61	27,00	26,72	25,51	26,58	25,33	25,14	25,29	25,67	26,69	26,84	26,73
MnO	0,11	0,11	0,09	0,09	0,11	0,10	0,11	0,11	0,15	0,12	<l.d.	0,16	0,57	0,33	<l.d.	0,34	0,32	0,30	0,48	0,35	0,39	0,33
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,08	0,07	0,08	<l.d.	0,06	<l.d.	0,09	<l.d.	<l.d.	<l.d.
F	0,40	0,43	<l.d.	0,31	0,34	0,64	0,45	0,21	0,27	0,22	0,33	0,43	0,89	0,35	0,26	0,32	0,23	0,27	0,64	0,48	0,53	0,58
OH _{Calc}	0,40	0,42	0,82	0,78	0,50	0,32	0,38	0,84	0,49	0,88	0,70	0,42	0,85	0,92	1,00	0,90	0,91	0,86	1,00	0,77	0,76	0,69
Total	98,97	99,92	98,24	97,97	98,71	98,29	98,57	98,09	98,48	98,09	98,27	98,58	98,86	100,02	101,74	99,57	99,47	99,22	99,08	98,99	98,97	99,26
P	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Nb	0,001	0,000	0,003	0,002	0,002	0,000	0,001	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,004	0,005	0,007	0,005	0,005	0,006	0,005	0,006	0,006	0,008
Si	1,004	1,011	0,994	0,993	0,992	0,996	0,999	0,992	0,999	0,992	0,993	0,993	1,003	1,000	0,984	1,004	1,002	1,002	0,978	1,003	1,004	1,004
Ti	0,917	0,912	0,913	0,888	0,917	0,909	0,920	0,893	0,920	0,885	0,893	0,915	0,799	0,858	0,924	0,859	0,869	0,869	0,867	0,856	0,850	0,857
Zr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002	0,006	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,052	0,056	0,055	0,068	0,058	0,066	0,056	0,066	0,050	0,071	0,063	0,056	0,124	0,069	0,116	0,066	0,064	0,063	0,123	0,077	0,080	0,079
Fe	0,036	0,037	0,043	0,060	0,036	0,039	0,036	0,059	0,038	0,059	0,058	0,039	0,070	0,078	0,025	0,076	0,069	0,069	0,062	0,065	0,066	0,062
Y	0,002	0,001	0,009	0,016	0,001	0,000	0,001	0,017	0,005	0,017	0,010	0,002	0,008	0,015	0,006	0,016	0,017	0,016	0,008	0,005	0,005	0,005
Ce	0,002	0,001	0,015	0,019	0,004	0,002	0,002	0,019	0,012	0,016	0,019	0,008	0,005	0,017	0,003	0,018	0,018	0,019	0,007	0,008	0,007	0,007
La	0,001	0,000	0,003	0,005	0,002	0,000	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,001	0,004	0,000	0,005	0,004	0,004	0,001	0,002	0,002	0,002
Pr	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,003	0,000	0,003	0,003	0,003	0,001	0,001	0,000	0,001
Nd	0,002	0,001	0,010	0,016	0,003	0,000	0,001	0,017	0,006	0,016	0,012	0,003	0,004	0,011	0,003	0,011	0,013	0,012	0,006	0,004	0,003	0,003
Sm	0,000	0,000	0,003	0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,005	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,002	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,004	0,000	0,006	0,005	0,005	0,005	0,003	0,002	0,003
Ca	0,978	0,976	0,943	0,921	0,979	0,983	0,978	0,915	0,954	0,924	0,937	0,970	0,954	0,918	0,922	0,916	0,911	0,918	0,916	0,956	0,960	0,955
Mn	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,000	0,004	0,016	0,009	0,000	0,010	0,009	0,008	0,013	0,010	0,011	0,009
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,004	0,005	0,000	0,004	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,041	0,045	0,000	0,034	0,035	0,067	0,047	0,023	0,029	0,024	0,036	0,046	0,094	0,038	0,027	0,034	0,025	0,029	0,067	0,051	0,056	0,061
OH	0,047	0,048	0,098	0,094	0,059	0,038	0,044	0,102	0,058	0,106	0,085	0,049	0,099	0,109	0,114	0,108	0,108	0,103	0,118	0,091	0,090	0,081
O	4,929	4,927	4,935	4,919	4,921	4,909	4,927	4,927	4,943	4,915	4,919	4,924	4,815	4,893	4,928	4,902	4,910	4,912	4,863	4,882	4,876	4,886
Σ F + OH + O	5,018	5,020	5,033	5,047	5,015	5,014	5,018	5,052	5,030	5,046	5,040	5,019	5,009	5,040	5,069	5,044	5,044	5,043	5,048	5,024	5,022	5,028
Σ sítio Ca	0,986	0,981	0,973	0,963	0,989	0,987	0,984	0,959	0,980	0,964	0,969	0,987	0,989	0,968	0,935	0,964	0,964	0,965	0,951	0,982	0,986	0,979
Σ sítio Ti	1,007	1,005	1,014	1,019	1,014	1,015	1,013	1,022	1,012	1,019	1,017	1,014	0,997	1,012	1,077	1,008	1,009	1,008	1,057	1,005	1,003	1,008
Σ sítio Si	1,006	1,013	0,995	0,995	0,994	0,998	1,001	0,994	1,002	0,994	0,995	0,995	1,003	1,001	0,985	1,006	1,004	1,004	0,979	1,005	1,006	1,005
X Al	0,052	0,056	0,054	0,067	0,058	0,065	0,055	0,065	0,049	0,070	0,062	0,056	0,125	0,068	0,109	0,066	0,064	0,063	0,117	0,077	0,080	0,080
X F	0,008	0,009	0,000	0,007	0,007	0,013	0,009	0,005	0,006	0,005	0,007	0,009	0,019	0,007	0,005	0,007	0,005	0,006	0,013	0,010	0,011	0,012
Zr, ppm	175	150	218	583	349	153	239	608	510	528	547	480	105	766	641	693	676	753	53	465	445	450
P (GPa)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
a(TiO ₂)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
a(SiO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tl(°C)	679	672	690	742	714	672	695	744	734	736	738	731	655	757	747	751	750	756	624	729	727	727

Ponto	19	20	21	22	23	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	28	29
Grão	2C	2C	2C	2C	2C	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	4B	5B	5B	5B	5B	5B	5B	5B
P ₂ O ₅	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,07	0,04	0,04	0,04	0,55	0,06	0,04	0,06	0,07	0,06	0,05	<l.d.	0,05	<l.d.	0,04	0,03	0,05
Nb ₂ O ₅	0,33	0,38	0,16	0,17	0,36	0,32	0,32	0,33	0,36	0,38	0,43	0,29	0,36	0,40	0,34	n.d.	0,19	0,17	0,40	0,32	0,40	0,36
SiO ₂	29,81	30,02	30,05	30,12	30,09	29,77	29,92	29,69	30,13	30,63	30,15	30,23	29,69	29,32	29,81	31,07	30,88	30,89	30,23	30,02	30,40	29,94
TiO ₂	31,06	31,14	32,25	32,40	33,85	34,26	33,64	33,46	34,48	34,28	34,30	33,68	34,76	34,29	34,34	34,27	31,20	31,75	32,33	32,19	33,21	34,41
ZrO ₂	0,04	0,08	0,02	0,02	0,05	0,10	0,10	0,10	0,06	0,06	0,06	n.d.	0,08	0,10	0,08	n.d.	n.d.	0,12	0,05	0,05	0,05	0,09
ThO ₂	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,07	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06
Al ₂ O ₃	3,33	3,31	3,45	3,61	2,01	1,61	1,72	1,71	1,89	1,88	1,84	2,62	1,60	1,59	1,73	3,55	5,75	4,85	2,69	2,87	2,39	1,64
Fe ₂ O ₃	3,23	3,18	2,50	2,05	2,97	2,73	2,91	3,00	2,62	2,61	2,52	2,41	2,62	2,69	2,68	1,03	0,76	1,40	3,16	3,14	2,89	2,73
Y ₂ O ₃	0,63	0,61	0,21	0,25	0,32	0,92	0,94	1,09	0,32	0,32	0,32	0,40	0,51	0,86	0,46	<l.d.	0,52	n.d.	0,69	0,68	0,56	0,60
Ce ₂ O ₃	0,41	0,39	0,19	0,36	0,65	1,30	1,32	1,53	0,74	0,64	0,67	0,09	1,31	1,37	1,33	<l.d.	<l.d.	0,11	0,75	0,56	0,73	1,41
La ₂ O ₃	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,08	0,18	0,28	0,30	0,32	0,26	0,18	0,21	<l.d.	0,38	0,37	0,38	n.d.	<l.d.	n.d.	0,14	0,10	0,08	0,40
Pr ₂ O ₃	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,18	0,22	0,27	0,13	0,11	0,14	<l.d.	0,12	0,22	0,20	n.d.	<l.d.	<l.d.	0,11	<l.d.	<l.d.	0,15
Nd ₂ O ₃	0,45	0,42	0,17	0,23	0,28	0,86	0,90	1,20	0,30	0,29	0,29	n.d.	0,57	0,85	0,58	<l.d.	n.d.	0,17	0,60	0,58	0,53	0,73
Sm ₂ O ₃	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
MgO	0,15	0,13	0,09	0,05	0,06	0,08	0,10	0,10	0,05	<l.d.	0,05	0,07	0,05	0,09	0,07	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,13	0,12	0,09	0,09
CaO	26,48	26,35	27,03	27,03	26,70	25,30	25,41	25,01	26,79	27,06	26,84	27,00	26,06	25,57	26,09	28,61	28,04	27,77	26,23	26,44	26,53	25,94
MnO	0,46	0,53	0,48	0,58	0,34	0,35	0,38	0,32	0,37	0,36	0,37	0,44	0,34	0,37	0,35	0,13	0,20	0,53	0,47	0,46	0,44	0,35
Na ₂ O	<l.d.	0,06	0,07	<l.d.	<l.d.	0,06	0,06	0,09	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0	0,06	0,06	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,07	0,07	0,06
F	0,89	0,99	0,82	0,74	0,56	0,58	0,68	0,57	0,79	4,60	0,98	0,53	0,49	0,55	0,68	1,59	2,18	2,06	1,52	1,57	1,22	0,71
OH _{calc}	1,00	0,90	0,95	0,98	0,80	0,60	0,59	0,70	0,48	-2,94	0,27	0,92	0,65	0,61	0,54	-0,02	0,13	0,07	0,21	0,22	0,32	0,49
Total	98,34	98,52	98,48	98,70	99,34	99,36	99,54	99,53	99,87	101,02	99,50	98,71	99,76	99,39	99,71	100,28	99,85	99,93	99,72	99,43	99,94	100,20
P	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,015	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
Nb	0,005	0,006	0,002	0,002	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,004	0,005	0,006	0,005	0,007	0,003	0,002	0,006	0,005	0,006	0,005
Si	1,000	1,005	0,999	1,000	1,003	1,005	1,008	1,005	1,001	1,008	1,004	1,004	0,995	0,991	1,000	1,004	1,003	1,006	1,007	1,000	1,008	1,001
Ti	0,784	0,784	0,807	0,810	0,849	0,870	0,853	0,852	0,862	0,849	0,859	0,841	0,877	0,871	0,866	0,833	0,763	0,777	0,811	0,806	0,828	0,866
Zr	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,132	0,130	0,135	0,141	0,079	0,064	0,068	0,068	0,074	0,073	0,072	0,103	0,063	0,063	0,069	0,135	0,220	0,186	0,106	0,113	0,093	0,064
Fe	0,081	0,080	0,063	0,051	0,074	0,069	0,074	0,076	0,066	0,065	0,063	0,060	0,066	0,068	0,068	0,025	0,019	0,034	0,079	0,079	0,072	0,069
Y	0,011	0,011	0,004	0,004	0,006	0,016	0,017	0,020	0,006	0,006	0,006	0,007	0,009	0,016	0,008	0,000	0,009	0,005	0,012	0,012	0,010	0,011
Ce	0,005	0,005	0,002	0,004	0,008	0,016	0,016	0,019	0,009	0,008	0,008	0,001	0,016	0,017	0,016	0,000	0,000	0,001	0,009	0,007	0,009	0,017
La	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002	0,003	0,000	0,005	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,005
Pr	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,000	0,001	0,003	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002
Nd	0,005	0,005	0,002	0,003	0,003	0,010	0,011	0,014	0,004	0,003	0,003	0,002	0,007	0,010	0,007	0,000	0,002	0,002	0,007	0,007	0,006	0,009
Sm	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000
Mg	0,008	0,006	0,005	0,002	0,003	0,004	0,005	0,005	0,003	0,000	0,002	0,003	0,003	0,004	0,003	0,000	0,000	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005
Ca	0,951	0,945	0,963	0,962	0,954	0,915	0,917	0,907	0,954	0,954	0,958	0,961	0,936	0,925	0,938	0,991	0,976	0,969	0,937	0,944	0,942	0,929
Mn	0,013	0,015	0,014	0,016	0,010	0,010	0,011	0,009	0,010	0,010	0,010	0,012	0,010	0,010	0,010	0,004	0,006	0,015	0,013	0,013	0,012	0,010
Na	0,000	0,004	0,004	0,000	0,000	0,004	0,004	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005	0,005	0,004
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,095	0,104	0,086	0,078	0,059	0,062	0,072	0,061	0,083	0,479	0,103	0,055	0,052	0,059	0,072	0,162	0,224	0,212	0,160	0,166	0,128	0,075
OH	0,118	0,106	0,111	0,115	0,095	0,071	0,070	0,083	0,057	-0,342	0,032	0,108	0,077	0,073	0,064	-0,002	0,015	0,008	0,025	0,026	0,037	0,058
O	4,806	4,809	4,813	4,822	4,874	4,910	4,896	4,897	4,886	4,899	4,887	4,859	4,901	4,900	4,897	4,850	4,776	4,795	4,845	4,828	4,858	4,899
Σ F + OH + O	5,019	5,020	5,010	5,015	5,027	5,043	5,038	5,042	5,025	5,036	5,023	5,021	5,031	5,032	5,033	5,010	5,014	5,015	5,030	5,019	5,024	5,032
Σ sítio Ca	0,981	0,980	0,987	0,988	0,979	0,965	0,969	0,965	0,982	0,980	0,985	0,981	0,979	0,977	0,977	0,994	0,991	0,989	0,973	0,981	0,979	0,976
Σ sítio Ti	1,002	1,002	1,007	1,005	1,009	1,010	1,001	1,004	1,008	0,992	1,002	1,009	1,013	1,011	1,009	1,000	1,004	1,002	1,002	1,003	1,000	1,006
Σ sítio Si	1,001	1,006	1,000	1,002	1,005	1,007	1,009	1,006	1,002	1,023	1,006	1,005	0,997	0,993	1,001	1,006	1,003	1,007	1,007	1,001	1,009	1,003
X Al	0,132	0,131	0,135	0,141	0,079	0,064	0,069	0,068	0,074	0,074	0,073	0,102	0,063	0,063	0,068	0,136	0,220	0,187	0,106	0,113	0,094	0,065
X F	0,019	0,021	0,017	0,015	0,012	0,014	0,012	0,016	0,016	0,095	0,021	0,011	0,010	0,012	0,014	0,032	0,045	0,042	0,032	0,033	0,026	0,015
Zr, ppm	295	560	125	128	403	717	745	748	438	413	434		597	773	577		882	386	340	382	641	
P (GPa)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		0,4	0,4	0,4		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
a(TiO ₂)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		0,6	0,6	0,6		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
a(SiO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1		1	1	1	1	1	
T(°C)	705	739	663	664	722	753	755	755	726	723	725		743	757	741		765	719	713	719	747	

Ponto	30	31	32	33	34	35	36	37	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	46	47	48
Grão	5B	5B	5B	5B	5B	5B	5B	5B	5D	5D	5D	5D	5D	5D	5D	5D	5D	5D	5D	6I	6I	6I
P ₂ O ₅	0,07	0,06	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,06	<l.d.	0,05	0,06	0,06	0,07
Nb ₂ O ₅	0,31	0,42	0,47	0,49	0,52	0,45	0,42	0,50	0,35	0,27	0,39	0,33	0,38	0,44	0,44	0,39	0,10	n.d.	0,10	0,31	0,36	0,32
SiO ₂	29,72	29,86	30,32	30,49	30,29	30,18	30,12	29,94	29,86	30,08	29,97	29,66	30,12	30,22	29,88	29,80	29,85	30,24	30,48	29,70	29,54	29,97
TiO ₂	34,67	34,85	34,57	33,13	32,97	33,90	33,85	34,33	34,51	34,43	34,69	34,23	34,05	33,26	34,16	34,49	32,08	32,02	31,79	34,20	34,15	34,15
ZrO ₂	0,09	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,09	0,08	0,09	0,08	0,06	0,05	0,07	0,08	0,01	0,01	0,01	0,07	0,16	0,09
ThO ₂	0,08	0,07	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,06	0,08	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,06	<l.d.	<l.d.
Al ₂ O ₃	1,58	1,69	2,01	2,34	2,60	2,27	2,09	1,82	1,55	1,71	1,72	1,72	1,94	2,32	1,88	1,62	4,09	3,86	4,10	1,66	1,71	1,67
Fe ₂ O ₃	2,64	2,28	2,49	3,22	3,00	2,51	2,73	2,54	2,53	2,60	2,19	2,62	2,71	3,21	2,67	2,60	2,09	2,23	2,09	2,47	2,80	2,80
Y ₂ O ₃	0,57	0,39	0,24	0,27	0,25	0,28	0,26	0,27	0,58	0,45	0,40	0,48	0,30	0,24	0,31	0,41	0,26	n.d.	0,30	0,76	0,32	0,52
Ce ₂ O ₃	1,44	1,32	0,69	0,45	0,38	0,53	0,50	0,57	1,55	1,22	1,56	1,33	0,63	0,44	0,70	1,27	0,11	0,14	0,11	1,69	0,72	1,34
La ₂ O ₃	0,37	0,41	0,19	0,08	0,07	0,12	0,12	0,14	0,45	0,33	0,50	0,42	0,18	0,12	0,15	0,40	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,42	0,25	0,35
Pr ₂ O ₃	0,17	0,14	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,18	0,18	0,23	0,15	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,13	<l.d.	n.d.	<l.d.	0,19	<l.d.	0,19
Nd ₂ O ₃	0,75	0,52	0,28	0,22	0,18	0,25	0,22	0,26	0,81	0,57	0,59	0,60	0,30	0,19	0,29	0,56	0,12	0,20	n.d.	0,97	0,22	0,63
Sm ₂ O ₃	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	n.d.	n.d.	<l.d.
MgO	0,10	0,08	0,06	0,08	0,07	0,07	0,07	<l.d.	0,07	0,07	0,05	0,07	0,06	0,06	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,07	0,10	0,10
CaO	25,88	26,38	27,17	27,21	27,35	27,22	27,06	26,85	25,58	26,02	25,78	25,90	26,82	27,12	26,64	26,04	27,42	27,38	27,39	25,42	25,74	25,88
MnO	0,33	0,31	0,35	0,38	0,37	0,36	0,38	0,37	0,32	0,32	0,34	0,34	0,39	0,41	0,34	0,31	0,49	0,50	0,64	0,38	0,36	0,34
Na ₂ O	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,06	0,05	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	<l.d.	0,07	0,06	0,07
F	0,74	0,71	1,13	1,38	1,40	0,53	0,58	0,43	0,32	0,48	0,40	0,42	0,77	0,73	0,66	0,44	1,03	1,10	1,31	0,48	0,76	0,83
OH _{Calc}	0,42	0,42	0,19	0,23	0,25	0,82	0,76	0,77	0,77	0,69	0,69	0,76	0,54	0,81	0,60	0,70	0,89	0,78	0,65	0,65	0,49	0,41
Total	99,92	99,97	100,26	100,07	99,83	99,59	99,26	98,97	99,65	99,57	99,72	99,18	99,32	99,67	98,90	99,35	98,73	98,48	99,07	99,65	97,79	99,71
P	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002
Nb	0,005	0,006	0,007	0,007	0,008	0,007	0,006	0,008	0,005	0,004	0,006	0,005	0,006	0,007	0,006	0,006	0,001	0,002	0,001	0,005	0,006	0,005
Si	0,997	0,998	1,001	1,006	1,001	1,000	1,002	1,001	1,007	1,008	1,005	0,999	1,004	1,001	1,001	1,002	0,988	1,000	1,004	1,002	1,002	1,005
Ti	0,875	0,876	0,858	0,823	0,819	0,845	0,847	0,863	0,875	0,868	0,875	0,867	0,854	0,829	0,861	0,873	0,799	0,797	0,788	0,868	0,871	0,861
Zr	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,001	0,003	0,001
Th	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,062	0,067	0,078	0,091	0,101	0,089	0,082	0,072	0,062	0,068	0,068	0,068	0,076	0,091	0,074	0,064	0,160	0,151	0,159	0,066	0,068	0,066
Fe	0,067	0,057	0,062	0,080	0,075	0,063	0,068	0,064	0,064	0,066	0,055	0,066	0,068	0,080	0,067	0,066	0,052	0,055	0,052	0,063	0,071	0,071
Y	0,010	0,007	0,004	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,010	0,008	0,007	0,009	0,005	0,004	0,006	0,007	0,005	0,005	0,005	0,014	0,006	0,009
Ce	0,018	0,016	0,008	0,005	0,005	0,006	0,006	0,007	0,019	0,015	0,019	0,017	0,008	0,005	0,009	0,016	0,001	0,002	0,001	0,021	0,009	0,017
La	0,005	0,005	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,006	0,004	0,006	0,005	0,002	0,001	0,002	0,005	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003	0,004
Pr	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002
Nd	0,009	0,006	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,010	0,007	0,007	0,007	0,004	0,002	0,003	0,007	0,001	0,002	0,002	0,012	0,003	0,008
Sm	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000
Mg	0,005	0,004	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,000	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,005	0,005
Ca	0,930	0,944	0,961	0,962	0,968	0,966	0,964	0,962	0,924	0,934	0,927	0,934	0,957	0,963	0,956	0,938	0,973	0,970	0,966	0,919	0,935	0,930
Mn	0,009	0,009	0,010	0,011	0,010	0,010	0,011	0,011	0,009	0,009	0,010	0,010	0,011	0,012	0,010	0,009	0,014	0,014	0,018	0,011	0,010	0,010
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,004	0,005
Soma	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
F	0,079	0,075	0,118	0,144	0,147	0,056	0,061	0,045	0,034	0,051	0,042	0,044	0,081	0,076	0,070	0,047	0,108	0,115	0,136	0,051	0,082	0,088
OH	0,050	0,049	0,022	0,027	0,029	0,095	0,089	0,091	0,092	0,082	0,081	0,090	0,063	0,094	0,071	0,083	0,104	0,091	0,075	0,078	0,058	0,048
O	4,907	4,905	4,881	4,850	4,841	4,866	4,868	4,888	4,917	4,905	4,914	4,896	4,878	4,849	4,884	4,905	4,797	4,804	4,800	4,907	4,896	4,896
Σ F + OH + O	5,036	5,029	5,022	5,020	5,017	5,017	5,018	5,024	5,043	5,038	5,037	5,030	5,023	5,020	5,026	5,035	5,009	5,010	5,011	5,036	5,036	5,032
Σ sítio Ca	0,972	0,981	0,985	0,984	0,988	0,989	0,987	0,986	0,968	0,971	0,972	0,978	0,984	0,985	0,982	0,975	0,993	0,991	0,991	0,974	0,968	0,974
Σ sítio Ti	1,011	1,008	1,006	1,001	1,004	1,003	1,004	1,008	1,008	1,007	1,006	1,008	1,005	1,007	1,010	1,010	1,014	1,004	1,000	1,003	1,020	1,004
Σ sítio Si	0,999	0,999	1,002	1,008	1,003	1,001	1,003	1,002	1,008	1,010	1,007	1,000	1,005	1,002	1,002	1,003	0,990	1,000	1,005	1,004	1,004	1,007
X Al	0,062	0,067	0,078	0,091	0,102	0,089	0,082	0,072	0,062	0,067	0,068	0,068	0,077	0,091	0,074	0,064	0,158					

Ponto	49
Grão	6l
P ₂ O ₅	0,05
Nb ₂ O ₅	0,55
SiO ₂	30,28
TiO ₂	34,21
ZrO ₂	0,05
ThO ₂	n.d.
Al ₂ O ₃	1,94
Fe ₂ O ₃	2,55
Y ₂ O ₃	0,26
Ce ₂ O ₃	0,57
La ₂ O ₃	0,21
Pr ₂ O ₃	<l.d.
Nd ₂ O ₃	0,23
Sm ₂ O ₃	<l.d.
MgO	0,05
CaO	27,03
MnO	0,38
Na ₂ O	0,06
F	0,97
OH _{calc}	0,32
Total	99,71
P	0,001
Nb	0,008
Si	1,004
Ti	0,853
Zr	0,001
Th	0,000
Al	0,076
Fe	0,064
Y	0,005
Ce	0,007
La	0,003
Pr	0,000
Nd	0,003
Sm	0,000
Mg	0,003
Ca	0,960
Mn	0,011
Na	0,004
Soma	3,000
F	0,102
OH	0,037
O	4,878
Σ F + OH + O	5,018
Σ sítio Ca	0,989
Σ sítio Ti	1,001
Σ sítio Si	1,005
X Al	0,076
X F	0,020
Zr, ppm	395
P (GPa)	0,4
a(TiO ₂)	0,6
a(SiO ₂)	1
T(°C)	720

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
QUÍMICA MINERAL E GEOTERMOBAROMETRIA DE ROCHAS NEOPROTEROZOICAS DO NORDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS
Área de Concentração: Geoquímica
Autora: Susan Martins Drago
Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinador: Prof. Dr. Rodrigo Vinagre Cintra Costa
Data: 31/03/2020
Conceito: A – aprovada
PARECER:
<p>Em primeiro lugar, gostaria de parabenizar a aluna Susan Drago pelo excelente trabalho e por ter chegado onde chegou, degraus cada vez mais difíceis de serem alcançados nos tempos atuais.</p> <p>Parabenizo também o orientador, professor Edinei Koester pelo desempenho de sua aluna.</p> <p>Quanto a avaliação da dissertação, mando em anexo o volume com algumas observações mais detalhadas e aqui farei um resumo geral da minha avaliação.</p> <p>O texto está bem redigido, apesar de alguns problemas, nada demais e de fácil solução, os quais faço algumas sugestões para melhorar a organização e apresentação.</p> <p>A primeira observação que faço é com relação a questões tectônicas regionais, onde entendo que a aluna apenas transcreveu informações publicadas em diversos veículos, mas sugiro cautela ao transcrever um mecanismo tectônico regional deformacional generalizadamente como transcorrência, esse mecanismo atua em conjunto com compressões cavalgantes em sistemas orogênicos e por isso sugiro que ao invés de utilizar o termo sin, ou pós transcorrente, se utilize a expressão sin, ou pós tectônico, pois dessa forma a aluna se isenta dessa discussão, uma vez que não é seu objetivo, incrementar dados sobre esses mecanismos em específico.</p> <p>Na introdução falta um parágrafo mostrando a aplicação desses métodos em rochas ao redor do mundo, sustentando a legitimidade dos mesmos e chamando a atenção dos leitores.</p> <p>Nos objetivos sugiro deixar apenas os detalhados, pois os gerais já são explanados na introdução.</p> <p>Há uma mistura de dados pré existentes no item área de estudo que na verdade deveriam estar presentes no estado da arte. Sugiro resumir a área de estudo apenas a localização geográfica dos interesses e migrar os dados geológicos para o item seguinte, estado da arte.</p> <p>Já no item estado da arte há uma mistura de dados gerados por outros autores e estudos dos métodos utilizados. Sugiro transferir as pesquisas metodológicas para</p>

o item métodos.

Aliais, venho parabenizar a aluna Susan pela profundidade das pesquisas metodológicas e riqueza de detalhes nas descrições sobre os estudos laboratoriais. Com relação aos resultados eles constam em um artigo já publicado, parabenizo a aluna e seus colaboradores pela iniciativa, não é fácil publicar um artigo em revista de prestígio internacional. Fiz uma série de apontamentos ao longo do texto do artigo, mesmo já submetido, pois se for da vontade dos autores, as sugestões podem ser levadas em consideração quando o texto voltar da revisão relacionada ao periódico escolhido. Tenho certeza de que o trabalho será revisado por profissionais da mais alta competência, e tudo que sugiro, apenas é para enaltecer ainda mais a qualidade, já boa, do trabalho.

Algumas figuras precisam de ajustes, por exemplo a figura 3 do artigo, que mostra inúmeras fotomicrografias muito similares, a quantidade pode ser reduzida para que as imagens apresentem maiores detalhes em um tamanho mais adequado.

Na tabela 1, há algum problema nos cálculos dos percentuais dos componentes molares dos feldspatos, não percebi nas demais tabelas, mas sugiro conferir cada uma delas.

Você mostra um granito com plagioclásios tipo albita, isso é raro e você poderia ter explorado mais o porquê dessa “anomalia”.

Quanto as análises dos cristais de biotita, senti falta de uma descrição melhor se há diferentes famílias de biotita, assim como fez com a titanita. Como por exemplo, se há biotita substituindo anfibólio, ou até mesmo outra biotita mais velha. Esse tipo de informação é crucial na tentativa de elucidar associações para cálculos geotermobarométricos, o que na minha opinião, é atualmente a questão mais delicada desse tipo de pesquisa, não a eficiência das equações, mas sim, se estamos utilizando os minerais corretos para cálculos de eventos de formação. As micas são muito sensíveis a qualquer variação de temperatura e pressão, por isso, merecem atenção redobrada na nossa interpretação de associações minerais. Uma das maneiras de nos cercarmos com um pouco mais de segurança com relação aos filossilicatos, quanto a geotermobarometria, é analisarmos, caso ocorra, inclusões em minerais com estruturas mais densas, “inclusões blindadas”.

Quanto as análises de titanita, a aluna está de parabéns, poucos trabalhos vi uma riqueza de detalhes tão grande com uma única fase mineral. Os dados são muito interessantes.

Com relação a geotermobarometria em si, os métodos utilizados foram bem escolhidos e executados. A aluna mostra uma diferença entre valores de temperatura obtidos através da concentração de zircônio total e titanita. Eu particularmente confio mais nos dados provenientes do Zr total, pois esse conta com uma larga contribuição dos cristais de zircão, que apesar de sofrerem também, modificações químicas nos diferentes sistemas que participa, ainda é mais estável que a titanita. A titanita sofre modificações químicas consideráveis, pelo menos quanto aos seus teores de U e Pb, mesmo em temperaturas baixas, por isso é atualmente, utilizada para datação de rochas metamórficas fácies xisto verde. Não tenho certeza quanto a estabilidade do zircônio dentro dessa estrutura cristalina. A aluna incentivou minha curiosidade a cerca do assunto e vou me aprofundar mais nisso.

O que chama a atenção na relação resultados e discussão do trabalho, é a similaridade em valores de T e P entre as rochas ígneas e a rocha metamórfica. O que me faz pensar até que ponto isso pode ser uma questão metodológica das análises ou se realmente há essa similaridade real na formação das rochas.

A aluna mostra alguns diagramas de classificação de origem das rochas, em uma tentativa de apontar variação química amarrada a origem da rocha, ígnea e/ou metamórfica (figuras 15, 16 e 20, por exemplo). Na minha opinião os diagramas não se mostram tão confiáveis quanto a esse objetivo, pois pelo menos em 2 deles, 16 e 20, as amostras derivadas da rocha metamórfica, plotam, a maioria, dentro dos campos associados as rochas ígneas. E como devemos confiar que o gnaisse é uma rocha metamórfica, esses diagramas não são 100% confiáveis. Senti falta de uma discussão mais aprofundada nesse ponto da confiabilidade dos diagramas de classificação tectônica, quanto as rochas metamórficas.

Sugiro cautela ao indicar que os centros dos minerais que constituem o gnaisse ainda guardam algum traço químico da origem magmática da rocha pré metamorfismo. Isso é delicado, pode ser que sim, mas com a minha experiencia atual, vejo isso com muito cuidado, pois o metamorfismo, mesmo em baixa temperatura e atuando progressivamente com transporte de íons através de fluidos, o que fazem as reações serem mais lentas, ataca a rocha como um todo, ainda mais em sistemas colisionais onde as mesmas são expostas as novas condições por longos milhões de anos. Acredito que haja muito mais uma mistura química do velho com o novo, do que algo intacto ou totalmente recristalizado e reequilibrado quimicamente. É a atual problemática das análises geotermobarométricas, principalmente nas rochas que não atingiram altas temperaturas.

Já para as rochas graníticas os dados mostram muito mais segurança e são muito satisfatórios, parabênizo a aluna Susan pelo seu reconhecido esforço e dedicação, assim como seu orientador e colaboradores.

Diante dessa análise, venho a dizer que o trabalho merece pequenas modificações apenas para melhorar a sua apresentação, mas que é totalmente coerente, embasado e conclusivo, fazendo a aluna merecer o título de mestre em ciências da terra. Com isso considero a aluna aprovada, por minha parte, e merecedora do título.

Cordialmente,

Assinatura:

Data: 31/03/2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I
Título da Dissertação/Tese:
“QUÍMICA MINERAL E GEOTERMOBAROMETRIA DE ROCHAS NEOPROTEROZOICAS DO NORDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS”
Área de Concentração: Geoquímica
Autora: SUSAN MARTINS DRAGO
Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester
Examinador: Profa. Dra. Maria de Fátima Bitencourt
Data: 22/04/2020
Conceito: B
PARECER:
Considero que a dissertação atende plenamente os requisitos de um trabalho de mestrado, e parabeno a autora e seu orientador pela qualidade dos dados apresentados. Observei importantes falhas de revisão, numeração errada, e mesmo falta de uma figura, que infelizmente não pode ser adicionada ao pdf que ficará na biblioteca, mas espero que o trabalho seja publicado após revisão, pois o assunto é importante e foi bem desenvolvido. Minhas observações a seguir têm o intuito de colaborar para que a autora possa melhorar ainda mais a qualidade do trabalho na revisão, já que a dissertação em si não pode ser corrigida.
Resumo – de modo geral achei o resumo pouco esclarecedor quanto ao conteúdo, e poderia ter mais dados. Acho, por exemplo, que teria sido importante dizer quais os métodos, pois existem vários. Principalmente no Resumo/Abstract, é importante não deixar o leitor esperando pra ver quais foram usados. Algumas frases incompreensíveis atestam a falta de revisão, tais como: “A química mineral dos anfibólitos das rochas gnáissicas ... registrou uma mudança nas condições de pressão <i>que foi interpretada</i> como tendo um núcleo ígneo, com temperaturas, pressões e profundidades, respectivamente, de 710 a 760 °C, 3,4 a 3,9 kbar e 12 a 14 km; e uma borda metamórfica de 690 a 760 °C, 4,8 a 7,7 kbar e 18 a 28 km.”
Abstract – de modo geral incompreensível, certamente não foi revisado... * post-transcending granitic rocks (??) * amphibolite-calcium-alkaline affinity (??)
Observação geral - Desde o Resumo, e pelo texto afora, observa-se o tratamento dos dados no passado, o que é um erro comum, mas que deve ser evitado. Por exemplo, “...temperaturas obtidas... registraram eventos entre 607 e 881 °C.” Isso é o dado obtido e não mudou desde a obtenção até o relato; portanto, as temperaturas continuam registrando.
Objetivos - considero que estão claramente colocados e foram plenamente atingidos, mas não vejo diferença entre os objetivos gerais e específicos. Eu acho

que os objetivos específicos ficaram mais parecidos com metas, mas isso não prejudica o entendimento.

Descrição da Área de estudo

p.15 - Sutura de Porto Alegre não pode ser usado indistintamente (e/ou) com Zona de Cisalhamento Dorsal de Canguçu. Não são sinônimos!

p. 15 - Vou usar a referência Silva (2016), que consta no último parágrafo desta página, como exemplo para uma série de observações, mais no sentido de contribuir para trabalhos futuros. Então (i) esta referência é citada no corpo da tese, mas não consta na lista de referências da tese; vi que isso se repete em vários casos, mas se existe um item chamado "Referências da dissertação" (p. 86) o leitor deveria encontrá-la lá, mesmo que ela conste nas referências do artigo submetido também, porque o leitor não tem como saber disso na página 15. (ii) esta referência é de uma dissertação de mestrado, que certamente se encontra no Lume/UFRGS. Sendo assim, o ideal é colocar o link na referência, porque isso facilita a vida do leitor e torna a consulta imediata. Se isso acontece (como é o caso aqui) em um trabalho submetido para publicação, torna-se ainda mais importante, e eu sugiro que seja tomado como prática, porque é simples, rápido e útil para todo mundo. o link neste caso seria:
<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/133640>

p.15 e demais - o nome das eras e períodos geológicos como substantivos (p. ex. início do Cambriano) tem que ter inicial maiúscula; quando usados como adjetivos (p. ex. idade neoproterozoica) é minúsculo. É importante ter cuidado porque em inglês é maiúsculo em ambos os casos (como substantivo e como adjetivo)

Estado da Arte - De modo geral o capítulo demonstra ótimo domínio de conhecimento da autora sobre o tema, e foi colocado de modo bastante claro e sucinto, de modo a permitir que alguém não exatamente da área possa acompanhar.

Artigo submetido ao JSAES

Redação - infelizmente, eu acho que este pode ser um motivo para rejeição inicial do trabalho. De modo geral os dados são excelentes e o trabalho tem que ser publicado, mas o comportamento geral das revistas diante deste nível gramatical do texto em inglês é de rejeitar. Se isso acontecer, já deixo de antemão meu incentivo aos autores para que tenham o trabalho profundamente revisado neste aspecto para que a forma não invalide o excelente conteúdo dele. Além de inúmeros erros gramaticais, há também palavras em português esquecidas no texto, principalmente o monossílabo "e", esquecido inúmeras vezes.

Item 2. Study area - extremamente longo e difícil de acompanhar por quem não conhece a área. Novamente, pensando na qualidade dos dados e das discussões, sugiro que este item seja resumido e simplificado para não invalidar o trabalho. Neste caso específico, tendo em conta a quantidade de nomes, sugiro não abusar das siglas.

Results

Linha 211 - In both complexes, the cores are composed of oligoclase-andesine... de que complexos se está falando?

De modo geral a descrição de valores neste item ficou longa e maçante;

talvez desse pra resolver isso direto de forma gráfica?
4.1.2 Anfibólitos - faltou a figura 5... sem ela é difícil entender esse item. É realmente uma pena que isso tenha acontecido, pois o exemplar da biblioteca ficará errado (incompleto).
Sobre os símbolos nas figuras - de modo geral os símbolos estão muito grandes; isso dificulta a visualização das variações. A qualidade dos gráficos pode melhorar bastante, pensando principalmente na publicação.
4.1.4 Titanita
Linhas 292 a 299 - fiquei com a impressão de que este parágrafo inteiro poderia ser substituído por imagens e gráficos... sugiro que os autores considerem esta alternativa na publicação. No parágrafos seguintes (linha 306 p. ex.) o caos se estabelece de vez, porque a figura 5b (que não está no trabalho) é citada. Suponho eu que seja a figura 8b, mas fica bem confuso de se achar no meio desses números... ela (figura 5) volta a ser citada na linha 332...
No mesmo item (Titanita) eu cheguei a me perder no meio dos nomes de granitos e suas respectivas suítes, então acredito que os revisores vão reclamar também. Talvez fosse o caso de fazer um quadro onde constem os nomes dos granitos e suas respectivas suítes? Uma espécie de resumo para facilitar a compreensão. Daria até para colocar junto informações como idade e afinidade química de cada um. Eu acho que poderia funcionar, pensando principalmente em um leitor externo, mas mesmo para quem é local fica difícil. Além disso, características gerais externamente importantes de cada granito, como sua afinidade/série magmática, não são imediatamente perceptíveis, e o leitor precisa garimpar no texto na hora da discussão.
Ao longo deste item (p.18, p. ex.) fiquei um pouco confusa quanto à diferença que os autores fizeram entre “populações” e “gerações” de titanita. Me pareceu que estariam sendo usados como sinônimos, o que não seria muito correto. De todo modo, o que mais me chamou a atenção é que há uma quantidade de dados bastante grande, mas eles parecem colocados de modo desorganizado, e isso prejudica bastante a leitura. Eu acho que lançar mão de recursos gráficos seria a melhor solução.
4.2.1 Zr saturation
A tabela apresentada na p. 22, por exemplo, é extremamente simples e informativa, e facilita muito a compreensão dos resultados, sem a necessidade de vários parágrafos relatando cada valor e suas variações. Gostaria de ter visto mais tabelas desse tipo no trabalho, e sugiro que isto seja providenciado na revisão.
Me chamou a atenção nesta tabela a discrepância considerável entre os resultados pela formulação de Boehnke et al. (2013) e a de Watson & Harrison (1983). No primeiro parágrafo do item 4.2.1 os autores comentam que aplicaram ambas as formulações, mas não comentam a discrepância encontrada, e optam pela primeira sem explicar porquê. Teoricamente, e tendo em conta a discussão apresentada por Boehnke et al. (2013) os valores não deveriam ser muito discrepantes.
* Importante revisar toda a numeração de figuras e tabelas, pois elas estão erradas no trabalho submetido.
4.2.4 Zr-titanita
Fiquei na dúvida quanto ao limite de detecção do Zr na titanita: 70 (linha 494) ou 30 (linha 504)? Suponho que a redação não esteja clara, e que os autores

não querem dizer que o L.D. seja este, mas sim o valor apresentado em cada caso; neste caso, o L.D. poderia ser 100, por exemplo. Talvez tenha sido desatenção minha, mas procurei o valor do L.D. no artigo e não achei; portanto, acho melhor verificar no material para publicação, pois esta é uma informação importante para quem planeja aplicar o método.

O parágrafo das linhas 485 a 489 me deixou realmente confusa: diz-se que a variação de temperatura obtida em titanitas do Gnaiss Chácara das Pedras é de 620 a 827 no sentido do centro para a borda. No entanto, a frase seguinte leva a crer que a variação é de 697 a 827 no núcleo e de 620 a 719 na borda...

Gostei bastante da apresentação dos resultados neste item. Apesar de serem muitos dados e muitas variações, ficou fácil seguir a apresentação dos mesmos e provocou no leitor a curiosidade para a discussão que vai se seguir.

Me parece que há um problema na figura 14 (p. 28) com os valores de temperatura obtidos no Granito Santana. A linha de distribuição de frequência me parece deslocada e não bate com o texto; seria bom revisar para a publicação. Na mesma figura, também não há discriminação das leituras de borda e centro, o que poderia torná-la mais informativa. Talvez estabelecer simbologias?? Eu entendo que a figura ainda faz parte dos dados, e vem antes da discussão, mas deve dar pra pensar num jeito de torná-la mais eficiente na publicação.

Sugiro que os autores considerem apresentar os dados composicionais de biotita no diagrama catiônico de Nachit et al. (1985), que me parece bem mais eficiente que o triangular de Abdel-Rahman (1994). Não sei se testaram este diagrama, mas uma vantagem que eu vejo nele é a possibilidade de discriminação de séries calcálica, subcalcálica, calcálica e peralcalina, além de granitos peraluminosos.

Não sei se entendi a discussão dos dados obtidos nos anfibólios do Gnaiss Chácara das Pedras (p. 29). Na verdade eu acho muito improvável preservar a composição de núcleos ígneos em anfibólios submetidos a metamorfismo de alto grau, e a referência usada (Fleet & Barnett, 1978) é bastante ultrapassada para avaliar pressão. De todo modo, acho que os autores poderão aprofundar a discussão após o parecer dos relatores.

Fiquei bastante curiosa sobre a composição aluminosa das titanitas do Granito Independência. Esse tipo de composição é comum em biotitas de granitos peraluminosos, como é o caso do Gr. Independência, então talvez valesse a pena pensar no papel da composição global da rocha também para determinar a composição das titanitas. Talvez a composição peraluminosa do magma atue junto com o decréscimo de temperatura?

Na linha 634, não entendo o que querem dizer com o termo "post sub-solidus".

Conclusões - na minha opinião as conclusões estão subestimadas em relação ao nível geral dos dados, mas acho que este item deve melhorar bastante após a revisão.

ANEXO I

Título da Dissertação/Tese:

QUÍMICA MINERAL E GEOTERMOMETRIA DE ROCHAS NEOPROTEROZOICAS DO NORDESTE DO CINTURÃO DOM FELICIANO, RS

Área de Concentração: Geoquímica

Autora: **Susan Martins Drago**

Orientador: Prof. Dr. Edinei Koester

Examinadora: Profa. Dra. Lucelene Martins

Data: 02/04/2020

Conceito: A (EXCELENTE)

PARECER:

Em uma análise geral é possível observar a qualidade dos dados apresentados e a relevância dos tópicos abordados no trabalho. O texto trata de temática de interesse, com dados inéditos. O tratamento dos dados sustenta as discussões e conclusões do trabalho. As bases teóricas necessárias para a compreensão e contextualização da pesquisa foram apresentadas e atualizadas, em especial, às referentes aos métodos geotermométricos. Com base no exposto, dou um conceito A (Excelente) para dissertação, pois julgo que a pós-graduanda Susan Martins Drago atingiu os objetivos para fins de obtenção do título de mestre.

Sem prejuízo para a importância e a qualidade do trabalho, seguem abaixo algumas considerações sobre o documento.

- 1) Existem alguns problemas referentes à escrita que se repetem ao longo do texto, em especial no que concerne à estrutura de algumas sentenças, que trazem ambiguidade ao significado das frases. Por exemplo, na frase do resumo “A química mineral dos anfibólitos das rochas gnáissicas (Fe-hornblenda a Fe-tschermakita) registrou uma mudança nas condições de pressão que foi interpretada como tendo um núcleo ígneo”, não fica claro o que exatamente foi interpretado como núcleo ígneo. Pela leitura fica a impressão de que a autora se refere às condições na mudança de pressão, o que não faria nenhum sentido. Outro exemplo, na última frase, fica a dúvida ao que se refere “ambas com características químicas distintas”.
- 2) As mesmas frases citadas no parágrafo anterior quando traduzidas para o inglês carregam a mesma dificuldade de compreensão; além disso carecem de revisão, pois alguns termos foram erroneamente traduzidos (*e.g.*, post-transcending; granite amphiboles). No texto em português muitos artigos definidos foram suprimidos das frases. O texto em inglês carece de revisão, pois há um excesso no uso de artigos, estrutura inadequada e frequentes traduções literais inapropriadas, o que dificulta a compreensão e a leitura do texto.
- 3) Precisa padronizar a forma de citação das referências ao longo do texto.
- 4) Ao longo do texto, sempre que falar de profundidade, precisa esclarecer que esta se refere à profundidade de colocação (emplacement depth) das rochas, e também que é correspondente às pressões obtidas com base em um fator de conversão. E quando utilizar a expressão “condições

de P e T" (o mesmo vale para o texto em inglês) deve explicar à que se refere (e.g., cristalização, metamorfismo etc.).

5) São citadas 11 amostras de granito e 01 gnaiss (item 2; pág. 30 da dissertação), no entanto são confeccionadas apenas 8 seções delgadas, não fica claro quais são essas amostras.

6) O item 2 do artigo, área estudada, é uma revisão confusa e fragmentada do contexto geológico. Esse item deveria ser simplificado para melhor contextualizar a área e as rochas que foram estudadas. A descrição mineralógica e textural das amostras estudadas, apresentada ao final desse item, está descontextualizada e deveria ser apresentada em um item separado. Essa descrição é inédita? Foi realizada no âmbito da dissertação (não cita nenhuma referência)? Seria importante também descrever a mineralogia acessória e a análise modal das amostras. Não podemos só chamar de granito.

7) Na apresentação dos resultados de química mineral, item 4, a forma de expor os dados obriga o leitor a ir e voltar na leitura, pois lista intervalos obtidos para mais de um elemento, seguidos da palavra respectivamente. O texto escrito não pode se restringir apenas a reproduzir um dado tabelado, pois é para isso que serve a tabela.

8) Na introdução da dissertação, bastante sucinta (apenas dois parágrafos) falta um contexto que mostre a importância do problema e a razão do estudo. As frases são genéricas, seguidas de uma lista de referências, que não esclarecem a ideia principal do trabalho.

9) A área onde foi realizada a pesquisa poderia ficar mais evidente no título, no abstract/resumo e na introdução (e.g., Pelotas Terrane in Porto Alegre (RS) southernmost Brazil...).

10) As análises de química mineral são de excelente qualidade, por isso alguns dados com fechamento total não adequado deveriam ter sido tabelados.

11) Na Tabela 2 (Pág. 31 da dissertação) são mostradas quatro colunas para os métodos geotermobarométricos anfibólio-plagioclásio (Al-Hbl; Pl/Amp; Amp-Pl; Amp), porém muito provavelmente deveriam ser apenas duas colunas ("Al-Hbl" para pressão e "Amp-Pl" para temperatura). Na tabela também deveriam constar os códigos das amostras localizadas na Figura 2.

12) No item 2.4, metodologia – microsonda eletrônica (pág. 34 da dissertação), alguns dados poderiam ter sido tabelados para facilitar a leitura.

13) Na página 37, item 2.6, para os cálculos geotermobarométricos fazendo uso das equações de Holland & Blundy (1994) e de Anderson & Smith (1995), o correto seria utilizar uma variável ainda não declarada, ou seja, uma referência circular, para a solução em conjunto de P e T, sem a necessidade de estabelecer um valor inicial para a pressão.

14) Deve-se notar que Holland e Blundy (1994) têm um esquema próprio de recálculo catiônico do anfibólio embutido em seu geotermômetro, que requer seu uso para a correta aplicação do método. Anderson e Smith (1995) também recomendam o uso desse recálculo para o uso do seu geobarômetro. Nesse contexto, a escolha pelo método 13-CNK deveria ter sido justificada, (pág., 36), mesmo que no final a escolha seja realmente a adequada.

15) Para o cálculo de temperatura, o trabalho de Mutch et al. (2016) deveria ter sido considerado, pois esses autores desenvolveram um novo geobarômetro de Al em hornblenda, atualizando os trabalhos de Holland e Blundy (1994), de modo a definir mais precisamente as pressões de colocação de corpos graníticos em intrusões rasas.

16) A Figura 2 (pág. 18 da dissertação) apresenta a localização das amostras (exceto do gnaiss Chácara das Pedras), mas a mesma figura quando reproduzida no artigo (pág. 6 do artigo) não traz a localização das amostras.

17) As Figuras 1 e 2 do artigo precisam de legendas que melhor localizem a área de estudo, sendo que só se referir à área de Porto Alegre não é suficiente.

18) A Figura 3 do artigo, das fotomicrografias, não é citada no texto do artigo.

19) A quantidade de dados de plagioclásio e feldspato potássico obtidos não faz jus ao uso para as discussões e conclusões. Os dados químicos de feldspato potássico devem ser retirados do artigo ou serem incluídos na discussão.

20) O item 4.1.2 do artigo, sobre o resultado da química do anfibólio, que é um mineral chave na pesquisa, é bastante negligenciado. A Figura 5, de classificação do anfibólio, é citada, mas omitida no texto. Na apresentação dos dados deveriam ser mostradas as trocas catiônicas que controlam as variações composicionais observadas no anfibólio, tanto borda-núcleo quanto entre as unidades/suítes. A tabela com dados representativos obtidos para o anfibólio deveria ser apresentada no artigo, para fazer um paralelo com os outros minerais.

21) O primeiro parágrafo do item 4.1.4 do artigo (pág. 15), química da titanita, é dispensável. A numeração das figuras e tabelas a partir deste item está incorretamente citada no texto (Fig. 7 e 8; Tabela 5 e 6), o que dificulta muito relacionar os dados citados com as imagens. Nas linhas 290-291 são citados diagramas geoquímicos para titanita não apresentados nesse item. Abrevia Rare Earth Elements para ETR, mas o correto é REE. " $\Sigma(Y_2O_3 + ETR_2O_3)^2$ " pode ser facilmente substituído por "Y+REE". Zoneamento oscilatório deve ser traduzido como oscillatory zoning e não oscillating zonation. A Figura 9, mapa composicional da titanita, precisa de legenda que relacione as cores a um aumento ou diminuição de cada elemento. Há uma certa desproporcionalidade na apresentação das imagens BSE de titanita; melhor seria apresentar uma prancha síntese para todas as amostras. Deve manter um padrão de apresentação dos dados, comparando dados dentro e entre as suítes (e.g., diferentes gerações, tamanhos dos grãos e diferenças composicionais significativas e sobreposições). Cada parágrafo tem um padrão diferente de apresentação dos dados, o que dificulta uma comparação entre as unidades. O conteúdo de zircônio obtido para as titanitas deveria ter sido apresentado nesse item. Os números dos grãos e pontos analisados deveriam ter sido mostrados nas figuras BSE das titanitas. Seria interessante que a simbologia (forma/cor) das análises de titanita nos diagramas também refletisse, além da unidade granítica, as características texturais desse mineral. A obtenção de 221 análises é um pouco exagerada para a responder à pergunta sobre a temperatura.

22) No item 4.2.1 do artigo, sobre a temperatura de saturação em zircão, mais uma vez a apresentação dos resultados se resume a fazer uma reprodução da tabela, que está incorretamente numerada. Na apresentação dos resultados é necessário comparar dados e intervalos dentro e entre as suítes e informar como o zircão ocorre nessas rochas (e.g., é fase precocemente cristalizada? Saturou ou não?), para que isso possa depois embasar a discussão e

interpretação. Não utilizou a figura 12 para nada (citada como Fig. 10). Existe um intervalo comum de variação das temperaturas obtidas dentro do erro? Na tabela 7 o “*n*” se refere a um número de amostras de cada unidade? Se sim, o teor de Zr é uma média? Se sim, isso é um erro. A temperatura de saturação é um dado individual de cada amostra, pode-se comparar o intervalo obtido para todas as amostras, mas não trabalhar com um teor médio de Zr com base em um número *n* de amostras. Os dados foram obtidos para as mesmas amostras que foram laminadas?

23) No item 4.2.2 do artigo, geobarômetro Al-hornblenda, os dados são plotados em diagramas de frequência, mas estes deveriam estar todos na mesma escala, para fins de comparação. Na linha 433 desse item cita o uso da calibração de Hammarstrom e Zen (1986) para o cálculo da pressão, porém no item 2.6 (pág. 37 da dissertação) cita o uso da calibração de Schmidt (1992) como primeira interação para o cálculo da pressão. Qual método foi utilizado?

24) O termômetro e o barômetro são utilizados em conjunto, por isso apenas as bordas dos grãos de anfibólio e plagioclásio em equilíbrio deveriam ter sido utilizadas para os cálculos. Isso também é o que recomendam os autores.

25) Os dados químicos de anfibólio poderiam ter sido utilizados para construir o diagrama Al^{IV} versus $Fe/(Fe+Mg)$ com os campos qualitativos da fugacidade de oxigênio, conforme Anderson e Smith (1995).

26) No item 4.2.4, pág. 25 do artigo, são apresentados os dados de cálculo da temperatura de Zr em titanita, porém faltaram resultados prévios. Os conteúdos de zircônio deveriam ter sido colocados em contexto (textura interna/zonamento e diferentes gerações) quando da apresentação da composição química da titanita no item resultados. Os resultados obtidos para a temperatura não são discutidos à luz desses dados. Nesse item faz falta a petrografia das unidades obtidas pela análise das seções delgadas utilizadas para a obtenção da química mineral. Por exemplo, nesse é discutido a possibilidade de três gerações de titanita no granito Lami distinguidas com base na correlação textural, ou seja, dado prévio não apresentado).

27) A Figura 17 da discussão, pág. 30 do artigo, é desnecessária, basta citar no texto que de acordo com as temperaturas e pressões obtidas o metamorfismo se situa na interface das fácies anfibolito-granulito.

28) Na Tabela 10, pág. 37 do artigo, é apresentada uma síntese dos dados obtidos e publicados para as rochas estudadas. Esse quadro síntese é bem interessante, porém fica difícil saber exatamente qual foi o intervalo escolhido de alguns dados para constar na tabela. É importante correlacionar dados entre as fases minerais, suítes e unidades que representem um mesmo evento, por exemplo, dados que representem **temperaturas de cristalização magmática**. Nesse sentido, os intervalos apresentados também precisam levar em consideração essa interpretação com base nos resultados petrográficos e químicos.

29) Na Figura 22 do modelo geológico, pág. 30 do artigo, existe muita interpretação e elementos que não correspondem aos dados obtidos no trabalho, como por exemplo as diferenças nas profundidades de colocação das suítes intrusivas, que de acordo com os dados se colocam em um mesmo nível crustal. Além disso, não foram obtidos dados de pressão para a suíte Itapuã (muito embora cite neste ponto da discussão as cavidades miarolíticas descritas por Oliveira, 2001). Além disso, muitos elementos mostrados no modelo não encontram correspondente nos artigos citados como referência ou nos dados obtidos (xenólitos...).

30) Na discussão, pág. 31 do artigo, sobre os altos teores de Al obtidos pela titanita, não é possível descartar a relação destes com a composição química do fundido que deu origem ao granito, já que este parece ter um caráter mais peraluminoso (ver fig. 15b; pág. 29). Seria interessante plotar as temperaturas obtidas pelo método Zr em titanita *versus* teores de Al na titanita, para dar suporte à afirmação. Eu concordo que as texturas de borda de algumas titanitas, bastante corroídas, são indicativas de cristalização pós-magmática.

32) A química do anfibólio poderia ter sido utilizada para abrir algumas considerações sobre a fugacidade de oxigênio das rochas onde esse mineral foi analisado. Além disso, algumas associações e texturas mineralógicas observadas também poderiam ter sido utilizadas para uma análise qualitativa da fugacidade (e.g., ver Wones (1989), que considera a associação mineralógica titanita + magnetita + quartzo ocorrendo em conjunto com clinopiroxênio ou anfibólio como sugestiva de fugacidades relativamente altas; idem para titanita euédrica e magnetita como fases primárias).

33) Na página 34 do artigo, linha 684, é proposto utilizar a química da titanita (Fig. 21; Fleischer, 1978) para investigar a relação entre os granitos estudados. Na realidade, não é função da química mineral ou de rocha investigar a correlação entre rochas, esse é um papel do trabalho de campo, seguido de trabalho petrográfico. A química testa o modelo evolutivo de um conjunto onde já se acredita que as amostras são co-genéticas.

34) Os intervalos finais de pressão e temperatura para as diferentes suítes precisam ser refinados, em especial a temperatura, com base na escolha das análises que melhor identificam as temperaturas *liquidus*, *solidus* e *subsolidus* fazendo uso da relação mineral e textural.

35) Na discussão e conclusão faltaram as implicações geológicas das pressões e temperaturas calculadas, ou mesmo um paralelo dos resultados com outros obtidos para plútons graníticos colocados em contextos tectônicos similares.

Agradeço a oportunidade de participar da banca examinadora de Susan Martins Drago e reitero a aprovação e o conceito A para fins de obtenção do título de mestre. Espero que meus comentários ainda possam contribuir de alguma forma para os produtos dessa pesquisa de mestrado.

Assinatura:



Data: 06/04/2020

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: