

**Gabriel Ericson Lima Costa**

**Geologia, Geoquímica e Química Mineral do Leucogranito Serra dos  
Órgãos, Sumidouro - RJ**

**Trabalho Final de Curso  
(Geologia)**



UFRJ

**Gabriel Ericson Lima Costa**

**GEOLOGIA, GEOQUÍMICA E QUÍMICA MINERAL DO LEUCOGRANITO SERRA  
DOS ÓRGÃOS, SUMIDOURO – RJ.**

Trabalho Final de Curso de Graduação em  
Geologia do Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro –  
UFRJ, apresentado como requisito  
necessário para obtenção do grau de  
Geólogo.

Orientadores:

Julio Cezar Mendes  
Silvia Regina de Medeiros

Rio de Janeiro

Janeiro/2013

GABRIEL ERICSON, Lima Costa  
**Geologia, Geoquímica e Química Mineral do  
Leucogranito Serra dos Órgãos, Sumidouro - RJ /**  
Gabriel Ericson Lima Costa - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo,  
2013.

xiii, 71 p.: il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,  
Departamento de Geologia, 2013.

Orientadores: Julio Cezar Mendes, Silvia Regina de  
Medeiros

1. Geologia. 2. Setor de Geologia Regional e  
Econômica – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Julio  
Cezar Mendes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III.  
Geologia, Geoquímica e Química Mineral do Leucogranito  
Serra dos Órgãos.

**Gabriel Ericson Lima Costa**

**GEOLOGIA, GEOQUÍMICA E QUÍMICA MINERAL DO LEUCOGRANITO SERRA  
DOS ÓRGÃOS, SUMIDOURO – RJ**

Trabalho Final de Curso de Graduação em  
Geologia do Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro –  
UFRJ, apresentado como requisito  
necessário para obtenção do grau de  
Geólogo.

Orientadores:

Julio Cezar Mendes  
Silvia Regina de Medeiros

Aprovada em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2013.

Por:

\_\_\_\_\_  
Orientador: Dr. Julio Cezar Mendes (UFRJ)

\_\_\_\_\_  
Coorientador: Dra. Silvia Regina de Medeiros (UFRJ)

\_\_\_\_\_  
Dra. Isabel Pereira Ludka (UFRJ)

\_\_\_\_\_  
Dr. Everton Marques Bongioiolo (UFRJ)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2013

iv

## **Agradecimentos**

Agradeço aos meus orientadores, Julio Cezar Mendes e Silvia Regina de Medeiros, pela paciência e ensino durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

A todo o pessoal do Labsonda e à minha parceira de trabalho Érica de Souza Freitas, cuja ajuda foi indispensável.

À minha família, em especial meus pais, Gerson Martins Costa e Fátima Batista de Barros Lima Amâncio, por todo apoio e incentivo durante os anos de faculdade (e os outros).

À Bruna Moraes Gonçalves, que tantas vezes me ajudou a decifrar os enigmas dentro dos computadores (e de mim).

E sobre tudo e todos, a Deus, que entende os motivos e isso basta.

## Resumo

COSTA, Gabriel Ericson Lima. **Geologia, Geoquímica e Química Mineral do Leucogranito Serra dos Órgãos**. 2013. xiii, 71 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de se aprofundar o conhecimento a respeito das rochas constituintes da unidade Batólito Serra dos Órgãos, com enfoque principal no litotipo identificado aqui como Leucogranito Serra dos Órgãos. A unidade Batólito Serra dos Órgãos (c.a. 560 Ma) aflora em vários pontos da região serrana do estado do Rio de Janeiro, juntamente com a unidade Complexo Rio Negro (c.a. 790-600Ma), sendo ambas cortadas por diques de diabásio cretáceos.

O Leucogranito Serra dos Órgãos se trata de um rocha leucocrática a hololeucocrática, que normalmente não apresenta anisotropia, embora em alguns casos se observe uma leve foliação de fluxo. Sua granulação típica varia de fina a média, podendo chegar à grossa algumas vezes e sua textura é inequigranular, hipidiomórfica, porfirítica a seriada. É composta essencialmente por: quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita. Magnetita, granada, titanita, apatita, zircão, allanita e hornblenda ocorrem como minerais acessórios e os minerais secundários são: epidoto, sericita e muscovita.

Os estudos litogeoquímicos mostram que o leucogranito é uma rocha pertencente à série cálcio-alcalina de alto K, na maioria das vezes classificada como granito, embora em alguns casos possa alcançar composição granodiorítica. Possui afinidade fracamente peraluminosa e um padrão de ETR com marcante anomalia negativa de Eu devido ao fracionamento de feldspato. Sua origem está provavelmente relacionada a um ambiente sin a tardi-colisional, com *trends* evolutivos em direção a ambiente pós-orogênico, indicando a participação de crosta madura na formação dessa rocha.

As análises de microsonda mostram valores de Mg# relativamente baixos para anfibólio e biotita do leucogranito, indicando que provavelmente essa rocha é proveniente de um magma cristalizado sob condições mais redutoras. Os anfibólios presentes no leucogranito são classificados como hornblenda hastingsítica magnesiana. As biotitas são plotadas em um campo intermediário aos membros finais flogopita e annita. As análises de plagioclásio mostram composição média de Ab72,05An26,68Or1,27 e este é classificado como oligoclásio sódico, enquanto o K-feldspato apresenta composição média de Ab9,95An0,05Or90,05.

A temperatura média calculada para o equilíbrio do par mineral anfibólio e plagioclásio do leucogranito é de 777,75 °C. Essa temperatura é correspondente a uma pressão média de 6,7 ( $\pm 0,6$ ) kbar, indicando profundidade de posicionamento para o corpo na crosta de cerca de 21 Km.

Palavras-chave: leucogranito, Batólito Serra dos Órgãos, petrografia, geoquímica, química mineral.

## Abstract

COSTA, Gabriel Ericson Lima. **Geology, Geochemistry and Mineral Chemistry of the Serra dos Órgãos Leucogranite, Sumidouro – RJ.** 2013. xiii, 71 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

This report was developed with the aim of improving knowledge about the constituent rocks of the Serra dos Órgãos Batholit unity, mainly focusing the lithology identified here as Serra dos Órgãos Leucogranite. The Serra dos Órgãos Batholit unity (c.a. 560 Ma) outcrops in many points of the mountain region of the Rio de Janeiro state, along with the Rio Negro Complex unity (c.a. 790-600 Ma), both of them being crossed by cretaceous diabase dikes.

The Serra dos Órgãos Leucogranite is a leucocratic to hololeucocratic rock, that normally doesn't show any anisotropy, even though a slight flux foliation is locally observed. Its granulometry varies from fine- to medium grained, reaching sometimes coarse grained and its texture is inequigranular, hipidiomorfic, porphyritic to seriate. It's essentially made of: quartz, K-feldspar, plagioclase and biotite. Magnetite, garnet, titanite, apatite, zircon, allanite and hornblende occur as accessory minerals and the secondary minerals are: epidote, sericite and muscovite.

The lithochemical studies show that the leucogranite belongs to the high-K calcalkalic series, most of the times classified as granite, though in some cases it can reach granodioritic composition. It shows slightly peraluminous affinity and a REE pattern with expressive Eu negative anomaly due to the feldspar fractionation. Its origin is probably related to syn to late-collisional environment, with evolutionary trends toward to post-orogenic environment, indicating participation of a mature crust in the formation of this unity.

Microprobe analyses provide relatively low Mg# values to amphibole and biotite from the leucogranite, pointing to more reducing conditions during the magma crystallization. The amphiboles occurring in the leucogranite are classified as magnesian hastingsitic hornblende. The biotites are plotted in a field intermediate to the final members phlogopite and annite. The analysis of plagioclase show an average composition of Ab<sub>72,05</sub>An<sub>26,68</sub>Or<sub>1,27</sub> and it is classified as sodium oligoclase, while the K-feldspar shows an average composition of Ab<sub>9,95</sub>An<sub>0,05</sub>Or<sub>90,05</sub>.

Calculated average temperature for the equilibrium between the mineral pair amphibole and plagioclase is 777.75 °C. This temperature is correspondent to an average pressure of 6.7 (± 0.6) kbar, which points out a depth of ca. 21 Km to the crustal emplacement of the body.

**Key-words:** leucogranite, Serra dos Órgãos Batholit, petrography, geochemistry, mineral chemistry.

## Lista de Quadros

**Quadro 1:** Abreviações de minerais propostas por Whitney & Evans (2010).

## Lista de Tabelas

**Tabela 1:** Análise modal das amostras de leucogranito e ortognaise BSO.

**Tabela 2:** Análises químicas de elementos maiores, menores (% em peso) e traços (em ppm) e Mg# para as rochas estudadas.

**Tabela 3:** Análises químicas de elementos terras raras (em ppm) para nove amostras.

**Tabela 4:** Análises químicas de anfibólios do leucogranito, ortognaise BSO e enclave.

**Tabela 5:** Análises químicas de biotitas do leucogranito, ortognaise BSO e enclave.

**Tabela 6:** Análises químicas de plagioclásios do leucogranito, ortognaise BSO e enclave.

**Tabela 7:** Análises químicas de k-feldspatos do leucogranito e ortognaise BSO.

**Tabela 8:** Determinações geotermobarométricas para o leucogranito, ortognaise BSO e enclave.

## Lista de Figuras

**Figura 1:** Localização de Sumidouro no estado do Rio de Janeiro (fonte: [pt.wikipedia.org/wiki/Sumidouro\\_\(Rio\\_de\\_Janeiro\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Sumidouro_(Rio_de_Janeiro))).

**Figura 2:** Principais rodovias de acesso ao município de Sumidouro (fonte: [maps.google.com](http://maps.google.com)).

**Figura 3:** Subdivisão da Província Mantiqueira nos orógenos que a constituem: Araçuaí (segmento setentrional); Ribeira, Brasília Sul e Apiaí (segmento central); e Dom Feliciano (segmento meridional). Extraído de Heilbron *et al.*, 2004.

**Figura 4:** Mapa tectônico do segmento central da Província Mantiqueira (modificado de Heilbron *et al.*, 2004). Legenda: 1) Riftes cenozóicos; 2) Rochas alcalinas do Cretáceo e Terciário; Orógeno Brasília: 3) Nappes inferiores, 4) Nappes superiores; 5) Embasamento do Cráton São Francisco e Domínio Autóctone; 6) Supergrupo São Francisco; 7) Metassedimentos do Domínio Autóctone; Orógeno Ribeira (8-13): 8) Domínio Andrelândia e 9) Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental; 10) Klippe Paraíba do Sul; 11) Terreno Oriental incluindo 12) Arco magmático Rio Negro; 13) Terreno Cabo Frio; 14) Terreno Embu; 15) Orógeno Apiaí (Terreno São Roque). LTC – Limite Tectônico Central da Faixa Ribeira. – Heilbron *et al.* 2004



**Figura 5:** Seção estrutural do Orógeno Ribeira. (Extraído de Heilbron *et al.*, 2004).  
Legenda: Terreno Ocidental (1-6): 1 a 3- Megasseqüência Andrelândia nos domínios Autóctone, Andrelândia e Juiz de Fora, Terreno Ocidental; 4 a 6 - Associações do embasamento (Complexos Barbacena, Mantiqueira e Juiz de Fora); Terreno Paraíba do Sul (7-8): 7 - Grupo Paraíba do Sul; 8 - Complexo Quirino; Terreno Oriental (9-13): 9 - Seqüência Cambuci; 10- Seqüência Italva; 11- Seqüência Costeiro; 12 - Arco Magmático Rio Negro; 13- Granitos colisionais; Terreno Cabo Frio(14-15): 14- Seqüências Búzios e Palmital; 15-Complexo Região do Lagos.

**Figura 6:** Fotomicrografia de diabásio com textura intergranular. Extraído de Fatah, 2011.

**Figura 7:** Imagem megascópica de diabásio com granulação média. Extraído de Santos, 2011.

**Figura 8:** Afloramento de ortognaisse CRN cortado por veios de quartzo e mostrando foliação bem marcada.

**Figura 9:** Ortognaisse CRN bem foliado, com veios leucossomáticos contendo magnetita. (Extraído de Santos, 2011).

**Figura 10:** Fotomicrografia do ortognaisse CRN, mostrando microclina com intercrescimento peritítico.

**Figura 11:** Porção migmatizada do ortognaisse CRN inclusa como xenólito no ortognaisse BSO.

**Figura 12:** Afloramento de leucognaisse CRN mostrando uma boa orientação mineral e veios quartzo-feldspáticos.

**Figura 13:** Fotomicrografia do leucognaisse mostrando orientação dos minerais máficos.

**Figura 14:** Lajedo de leucognaisse cortado por veios quartzo-feldspáticos, às vezes dobrados.

**Figura 15:** Lajedo de leucognaisse contendo melanossoma.

**Figura 16:** Lajedo de leucogranito cortado por veios quartzo-feldspáticos dobrados.

**Figura 17:** Afloramento de leucogranito e ortognaisse BSO com zona de enclaves.

**Figura 18:** Detalhe de zona de enclaves nas rochas do BSO.

**Figura 19:** Bloco bem alterado mostrando contato entre o leucogranito fino e o ortognaisse BSO grosseiro.

**Figura 20:** Aglomerado de hornblendas em amostra do ortognaisse BSO.

**Figura 21:** Epidoto circundado por clorita em amostra do ortognaisse BSO.

**Figura 22:** Aparência megascópica do leucogranito sem foliação.

**Figura 23:** Aspecto microscópico geral do leucogranito.

**Figura 24:** Inclusão de zircão em biotita em amostra do leucogranito.

**Figura 25:** Titanita de geometria losangular em amostra de leucogranito.

**Figura 26:** Diagrama QAP com a classificação das amostras de leucogranito (+) e ortognaisse BSO (●).

**Figura 27:** Diagramas de Harker para as amostras analisadas. Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

**Figura 28:** Diagramas de variação SiO<sub>2</sub> x elementos traço para as amostras analisadas. Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

**Figura 29:** Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) com as rochas analisadas. Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

**Figura 30:** Diagrama SiO<sub>2</sub> x K<sub>2</sub>O (Peccerillo & Taylor, 1976) com as amostras analisadas. Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

**Figura 31:** Diagramas de Frost *et al.* (2001) com as amostras analisadas. Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

**Figura 32:** Diagrama TAS (Cox *et al.*, 1979) com as amostras analisadas. Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

**Figura 33:** Diagrama R1 x R2 (De la Roche *et al.*, 1980) com as amostras analisadas. Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

**Figura 34:** *Spiderdiagram* de distribuição de ETR normalizado para o condrito de Boynton (1984). Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

**Figura 35:** Diagramas de Pearce *et al.* (1984) para as rochas analisadas. Legenda: VAG-granitos de arcos vulcânicos; WPG – granitos intraplaca; ORG – granitos de dorsal meso-oceânica; syn-COLG – granitos sin-colisionais. Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

**Figura 36:** Diagrama R1 x R2 (Batchelor & Bowden, 1985) com as amostras analisadas. Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

**Figura 37:** Diagrama TSi x Mg/(Mg+Fe<sub>2</sub>) de classificação de anfibólios para as rochas analisadas. Símbolos: ■ SU-297B (ortognaisse BSO); ▼ SU-298A (ortognaisse BSO); ▲ SU-298CE (enclave CRN); ● SU-298CL (leucogranito BSO).

**Figura 38:** Variação composicional de biotita das rochas do BSO e enclave. Símbolos: ■ SU-297B (ortognaisse BSO); ▼ SU-298A (ortognaisse BSO); ▲ SU-298CE (enclave CRN); ● SU-298CL (leucogranito BSO).

**Figuras 39 e 40:** Diagramas Or-Ab-An mostrando as variações composicionais dos plagioclásios e k-feldspatos respectivamente, para as amostras analisadas. Símbolos: ■ SU-297B (ortognaisse BSO); ▼ SU-298A (ortognaisse BSO); ▲ SU-298CC1 (enclave CRN); ● SU-298CC2 (leucogranito BSO).

## Sumário

Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vi
<i>Abstract</i> .....	vii
Lista de Quadros.....	viii
Lista de Tabelas .....	viii
Lista de Figuras .....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO .....	2
3 LOCALIZAÇÃO.....	3
4 METODOLOGIA.....	5
4.1 Etapa de Campo.....	5
4.2 Etapa Laboratorial .....	6
4.2.1 Petrografia .....	6
4.2.2 Geoquímica.....	7
4.2.3 Química Mineral.....	8
4.3 Etapa de Escritório.....	10
5 GEOLOGIA REGIONAL .....	11
6 RESULTADOS .....	17
6.1 Mapeamento .....	17
6.1.1 Unidades de Mapeamento .....	17
6.1.1.1 Diques de Diabásio.....	17
6.1.1.2 Complexo Rio Negro (CRN) Ortognaisse e Leucognaisse .....	19
6.1.1.2.1 Ortognaisse do CRN.....	19
6.1.1.2.2 Leucognaisse do CRN .....	21
6.1.1.3 Batólito Serra dos Órgãos: Ortognaisse e Leucogranito .....	24
6.1.1.3.1 Ortognaisse BSO .....	27
6.1.1.3.2 Leucogranito BSO .....	29
6.1.1.3.2.1 Petrografia .....	29
6.2 Geoquímica.....	35
6.2.1 Diagramas de Variação de Harker.....	40
6.2.2 Diagrama AFM.....	44

6.2.3 Diagrama $\text{SiO}_2 \times \text{K}_2\text{O}$ .....	45
6.2.4 Diagramas de Frost.....	46
6.2.5 Diagrama TAS de Cox <i>et al.</i> (1979).....	47
6.2.6 Diagrama R1 - R2.....	48
6.2.7 Diagramas ETR .....	49
6.2.8 Diagramas discriminantes para ambientes tectônicos .....	51
6.3 Química Mineral.....	53
6.3.1 Anfibólio.....	53
6.3.2 Biotita .....	54
6.3.3 Feldspatos .....	55
6.4 Geotermobarometria.....	63
7 CONCLUSÕES .....	65
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69

## 1 INTRODUÇÃO

A região serrana do estado do Rio de Janeiro é marcada pela presença de unidades neoproterozóicas pertencentes ao Terreno Oriental do Segmento Central da Faixa Móvel Ribeira, cuja evolução está relacionada aos eventos tectono-magmáticos que ocorreram durante o Ciclo Brasileiro-Pan Africano. Essas unidades são representadas pelas rochas ortoderivadas do Complexo Rio Negro e Batólito Serra dos Órgãos, intercaladas a faixas de rochas metassedimentares (Mendes *et al.*, 2004, Mendes *et al.*, 2007).

O Batólito Serra dos Órgãos (Barbosa e Grossi Sad, 1985) corresponde a um corpo sin a tardi-colisional, com idade de aproximadamente 560 Ma, cuja gênese está relacionada ao espessamento crustal gerado pelo primeiro evento colisional que ocorreu no contexto evolutivo da Faixa Ribeira, quando o Terreno Oriental foi colocado sobre o Terreno Ocidental (Tupinambá, 1999, Heilbron *et al.*, 2004, Mendes *et al.*, 2004). Este corpo plutônico, com extensão de aproximadamente 165 km, intrude as rochas do Complexo Rio Negro (c.a. 790-600 Ma) (Tupinambá *et al.*, 2011).

Duas unidades distintas constituem o Batólito Serra dos Órgãos: leucogranito e ortognaisse. O objetivo deste trabalho inclui a expansão do conhecimento a respeito da unidade Leucogranito Serra dos Órgãos aflorante na região serrana do Rio de Janeiro, bem como o entendimento das relações que esta unidade mantém com a unidade Ortognaisse Serra dos Órgãos.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é aprofundar os conhecimentos de cunho geológico, petrográfico e geoquímico da unidade Leucogranito Serra dos Órgãos, integrante do Batólito Serra dos Órgãos. Pretende-se ainda ampliar a compreensão do contexto e evolução geológica dessa unidade, bem como das relações que mantém com o Ortognaisse Serra dos Órgãos.

Tal objetivo foi alcançado, cumprindo-se as seguintes metas:

- mapeamento geológico na escala 1:50.000, visando delimitar as áreas de ocorrência das rochas do BSO e das outras unidades aflorantes na região;
- análise petrográfica de lâminas delgadas confeccionadas a partir de amostras obtidas em campo;
- análise química das rochas de interesse, visando a obtenção de informações de cunho classificatório, evolutivo, de ambiência tectônica e série magmática;
- análise de microsonda eletrônica para determinação da fórmula química dos minerais de interesse e determinação das condições termo-barométricas associadas à gênese das rochas analisadas.

### 3 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo se localiza na região serrana do estado do Rio de Janeiro, nas proximidades da cidade de Sumidouro (Figura 1). O acesso à área se dá através da BR-116, partindo da Ilha do Fundão e passando pelos municípios de Guapimirim e Teresópolis (Figura 2). O mapeamento geológico foi realizado inicialmente entre pequenos bairros conhecidos como Botafogo e Vila do Pião, contudo com o desenvolvimento do trabalho, houve uma expansão da área mapeada principalmente para oeste. O acesso aos afloramentos se deu por estradas de terra secundárias que muitas vezes não aparecem nas cartas topográficas, tanto por estarem fora de escala quanto por terem sido abertas após a confecção das cartas.

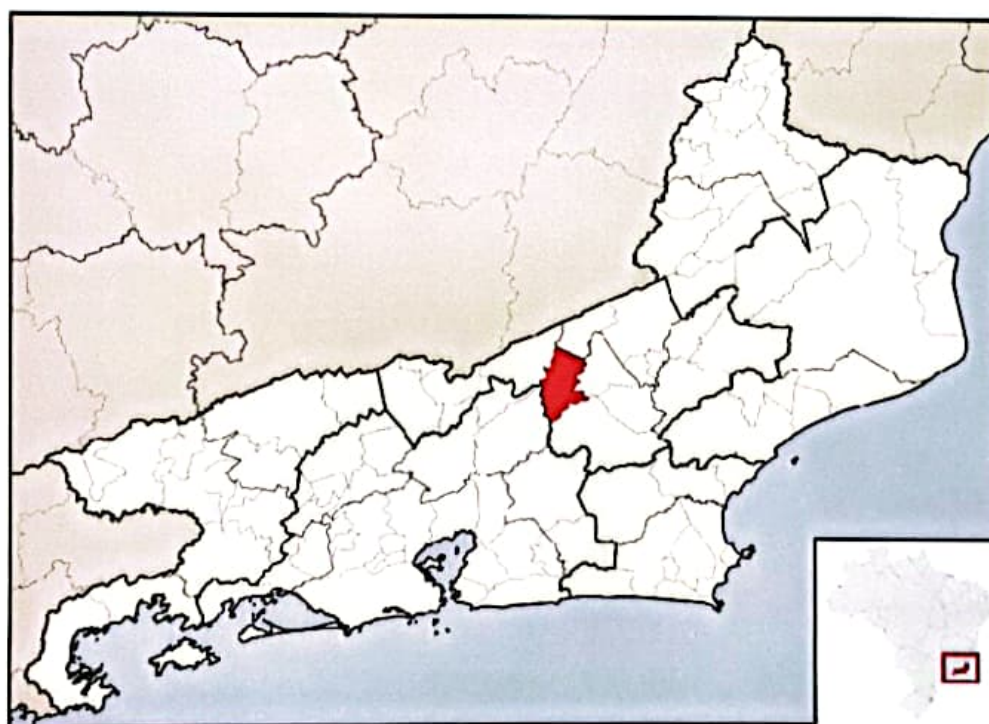


Figura 1 – Localização de Sumidouro no estado do Rio de Janeiro (fonte: [pt.wikipedia.org/wiki/Sumidouro\\_\(Rio\\_de\\_Janeiro\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Sumidouro_(Rio_de_Janeiro))).



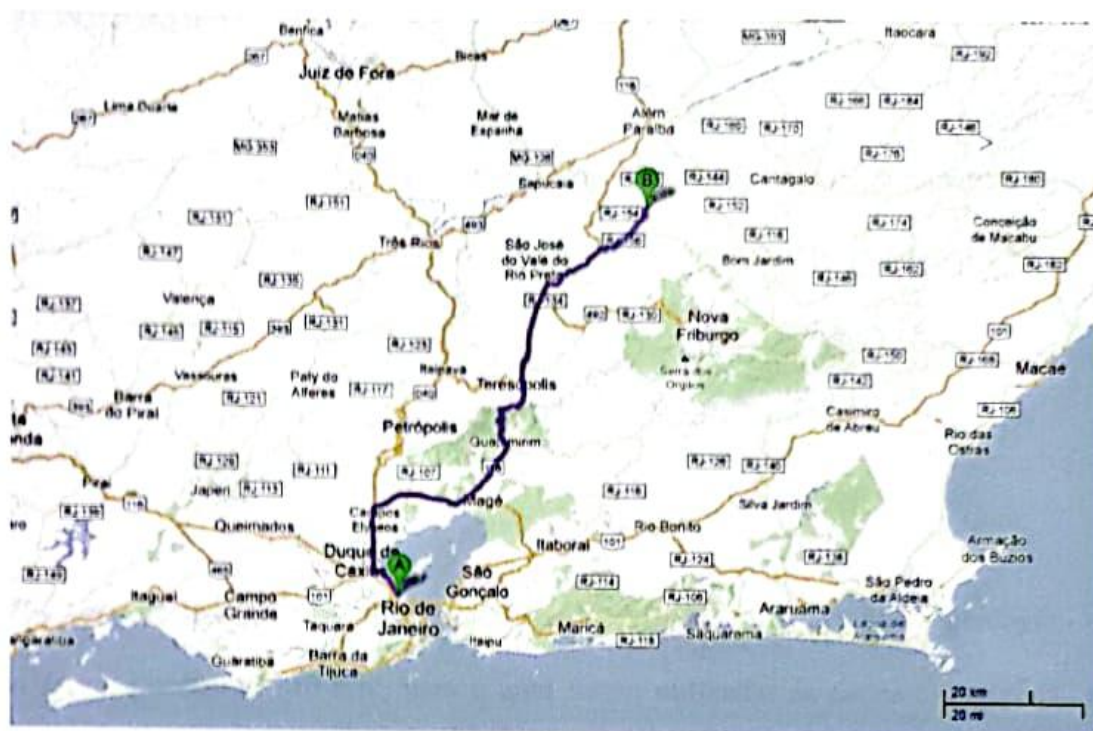


Figura 2– Principais rodovias de acesso ao município de Sumidouro (fonte: maps.google.com).

## 4 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido no período de março de 2012 a janeiro de 2013, envolvendo três etapas metodológicas principais: etapa de campo, etapa laboratorial e etapa de escritório.

### 4.1 Etapa de Campo

Os trabalhos de campo foram realizados visando o mapeamento geológico de uma área de cerca de 140 km<sup>2</sup>, para o qual foram utilizadas as cartas topográficas de Anta e Duas Barras, em escala 1:50.000, disponibilizadas pelo IBGE. Esta etapa foi concluída em quatro saídas de campo, totalizando 14 dias de trabalho e resultou no reconhecimento de 174 pontos (Anexo 1), incluindo afloramentos, blocos e pontos de controle, e 5 unidades litológicas. É importante ressaltar que a contagem de pontos neste trabalho deu continuidade aos pontos obtidos nos trabalhos de Santos (2011) e Fatah (2011), por se tratar de uma extensão do mapeamento na mesma região.

O desenvolvimento da etapa de campo obedeceu aos seguintes procedimentos: localização dos pontos de interesse através da obtenção de suas coordenadas geográficas com um aparelho GPS da marca Garmin, modelo GPS 12, configurado para o *datum* Córrego Alegre e posterior plotagem desses pontos na carta topográfica; descrição dos pontos, incluindo observação das relações de contato entre os diferentes tipos litológicos e suas formas de exposição, análise megascópica das rochas utilizando-se uma lupa, medição de estruturas geológicas com uma bússola Brunton ProEclipse, declinada 21° a oeste, confecção de croquis e obtenção de fotografias; coleta de

amostras adequadas para confecção de lâminas delgadas e realização de análise química e de microsonda.

## 4.2 Etapa Laboratorial

A etapa de laboratório objetivou a realização de três análises distintas: petrográfica, geoquímica de rocha e de química mineral.

### 4.2.1 Petrografia

Para a análise petrográfica foram selecionadas 8 amostras que passaram por um processo de lavagem e posteriormente foram enviadas ao Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da UFRJ para confecção das lâminas delgadas. Essas lâminas foram analisadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica, Fluorescência e Difração de Raios-X do Departamento de Geologia da UFRJ, em microscópio petrográfico binocular de luz transmitida da marca Zeiss, modelo Axioplan. As fotografias das lâminas foram tiradas utilizando-se o *software* AxioVs40 v.4.8.1.0. Além dessas amostras, foram também utilizadas 14 amostras obtidas com o trabalho de Santos (2011).

A descrição das lâminas levou em consideração a cristalinidade, granulação, abundância de minerais máficos, textura, mineralogia, caracterização mineralógica e composição modal das rochas. A composição modal foi definida através de um contador automático de pontos, onde foram contados 800 pontos por lâmina. A tabela contendo os dados da análise modal foi feita utilizando-se a abreviação de minerais proposta por

Whitney & Evans (2010), apresentada no quadro 1. A classificação das rochas foi feita segundo Streckeisen (1976).

Quadro 1 – Abreviações de minerais propostas por Whitney & Evans (2010).

Abreviações	Minerais
Qz	Quartzo
Pl	Plagioclásio
Kfs	K-feldspato
Bt	Biotita
Hbl	Hornblenda
Ttn	Titanita
Ap	Apatita
Zrn	Zircão
Aln	Allanita
Grt	Granada
Opq	Opacos
Rt	Rutilo
Ep	Epidoto
Chl	Clorita
Ms	Muscovita

#### 4.2.2 Geoquímica

A preparação das amostras para análise química envolveu várias etapas: primeiramente foram selecionadas cinco amostras mais frescas das unidades de interesse para serem lavadas e deixadas para secar ao natural durante aproximadamente 24h. Em seguida essas amostras foram levadas para o Laboratório de Preparação de Amostras do Departamento de Geologia da UFRJ para passarem por britador de mandíbula com abertura máxima de 10 cm, onde as britas mais frescas e de tamanho adequado (máximo de aproximadamente 3 cm) foram separadas manualmente. Essas amostras passaram então por um processo de quarteamento e foram novamente lavadas e deixadas para secar ao natural por cerca de 24h. Após esse procedimento, as amostras

foram colocadas em moinho de panela de tungstênio *Siebtechnik* durante 2,5 minutos, afim de que atingissem tamanhos inferiores a 200 *mesh*.

As amostras pulverizadas foram enviadas ao Laboratório de Microsonda Eletrônica, Fluorescência e Difração de Raios-X do Departamento de Geologia da UFRJ para a obtenção dos dados químicos. A análise química foi realizada através do método de espectrometria por fluorescência de raios-X, para o qual foi utilizado um espectrômetro Phillips PW2400 com tubo de Rh, que determinou a concentração dos óxidos dos elementos maiores e menores (em porcentagem) e a concentração dos elementos traços (em ppm). Esses dados são obtidos quando a amostra é excitada por raios-X e produz raios-X secundários, que por sua vez possuem comprimentos de onda definidos pelos elementos presentes na amostra.

Os dados de quinze das vinte amostras utilizadas para o estudo geoquímico foram extraídos dos trabalhos de Santos (2011) e Fatah (2011). Com os dados obtidos, foram feitos diagramas geoquímicos para rochas plutônicas através do *software Geochemical Data Toolkit* (GCDKit), versão 2.3 para *Windows*. A interpretação desses gráficos permitiu a obtenção de informações a respeito da classificação, série magmática, possível processo evolutivo e provável ambiente geotectônico referente às rochas analisadas.

#### 4.2.3 Química Mineral

Três lâminas polidas foram preparadas para análise de microsonda. Primeiramente, ao microscópio, as lâminas foram analisadas com o intuito de se localizar os minerais desejados (anfíbólio e plagioclásio em contato; biotita e microclina). Esses minerais foram fotografados com aumento de 2,5X e circulados com

caneta de tinta removível para que fosse possível a sua identificação durante a análise de microsonda. Em seguida foram tiradas fotografias das lâminas por inteiro com uma lupa SEM Navigator, modelo GA03320/2, da Jeol, acoplada à microsonda. As lâminas foram limpas com álcool, o que removeu os círculos demarcando os minerais, e colocadas em ultra-som por 5 minutos para que partículas indesejadas fossem removidas. Após esse procedimento, foi realizada a carbonização das lâminas para que estas ficassem condutoras e fosse possível a análise mineral por microsonda.

A amostra foi então colocada em microsonda eletrônica Jeol, modelo JXA – 8230, com voltagem de 15 kV, corrente elétrica do feixe de 20 nA e diâmetro do feixe de 10 µm. Foi utilizado o padrão de estandarização MINM25-23 da Astimex Scientific Limited, serial KM. Os minerais desejados foram localizados através do uso da lupa calibrada com a microsonda e das fotografias tiradas no primeiro passo e assim, cada um desses minerais foi lido pelo aparelho, fornecendo os valores em porcentagem de peso de óxidos.

As fórmulas estruturais foram obtidas através do *software* MinPet 2.02 (Richard, 1995). As pressões para cada análise foram calculadas através da fórmula de Schmidt (1992):

$$P (\pm 0.6 \text{ kbar}) = - 3.01 + 4.76 Al_{\text{hbI}}^{\text{tot}} \quad r = 0.99$$

As fórmulas estruturais dos anfibólios e as porcentagens de albita dos plagioclásios foram lançadas no *software* AX, aplicativo Hb-Pl, que utiliza as equações de Holland & Blundy (1994) para estabelecer os limites de temperaturas de equilíbrio dessas fases minerais para determinadas pressões. Como os anfibólios analisados neste trabalho são cálcicos, foram utilizadas as temperaturas da série edenita-tremolita. Dessa forma, os dados de pressão e temperatura fornecidos pelo *software* foram plotados num

gráfico de dispersão no aplicativo Excel. Através da equação da reta gerada neste gráfico foi possível obter as temperaturas para as respectivas pressões previamente calculadas com a fórmula de Schmidt.

### **4.3 Etapa de Escritório**

A etapa de escritório consistiu em pesquisa bibliográfica indispensável para o desenvolvimento deste texto e no agrupamento de todas as informações obtidas nas diferentes etapas deste trabalho. Como resultado, foi produzido um mapa geológico (Anexo 2) e um mapa de pontos (Anexo 1) com o uso do *software* CorelDRAW® versão X5, bem como esta monografia.

## 5 GEOLOGIA REGIONAL

A região serrana do Estado do Rio de Janeiro está inserida no contexto do segmento central da Faixa Móvel Ribeira, Província Mantiqueira. A Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1977, 1981) corresponde a um sistema orogênico Neoproterozóico paralelo à costa atlântica do sul e sudeste do Brasil e que se estende numa faixa de direção NE-SW por mais de 3.000 km de comprimento, desde o sul da Bahia até o Uruguai. Ela se desenvolveu durante o Ciclo Brasileiro-Pan Africano que, por sua vez, resultou na amalgamação da porção ocidental do paleocontinente Gondwana (Trouw *et al.*, 2000, Heilbron *et al.*, 2004). A Província Mantiqueira (Figura 3) está em contato com as províncias Tocantins, São Francisco e Paraná e engloba os orógenos Araçuaí (segmento setentrional); Ribeira, Brasília Sul e Apiaí (segmento central); e Dom Feliciano (segmento meridional).

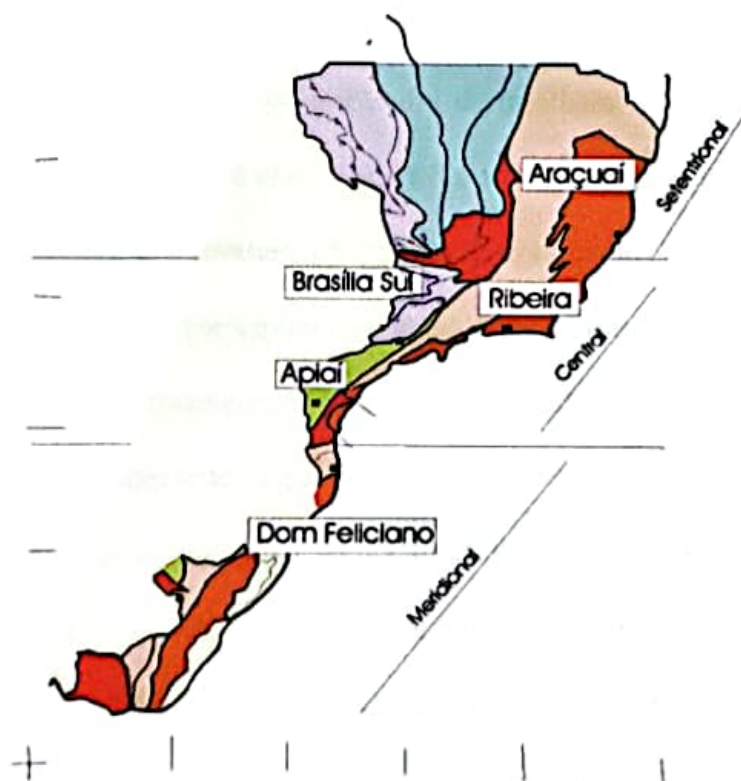


Figura 3 – Subdivisão da Província Mantiqueira nos orógenos que a constituem: Araçuaí (segmento setentrional); Ribeira, Brasília Sul e Apiaí (segmento central); e Dom Feliciano (segmento meridional). Extraído de Heilbron *et al.*, 2004.



A Faixa Ribeira, desenvolvida no Neoproterozóico/Eopaleozóico, durante o Evento Brasileiro-Pan Africano, corresponde a um complexo cinturão de dobramentos e empurrões que se estende por aproximadamente 1.400 km ao longo da costa sudeste brasileira, seguindo o *trend* estrutural NE-SW. Dados geocronológicos mostram que sua evolução ocorreu de forma diacrônica e se estendeu de 790 Ma a 480 Ma (Heilbron & Machado, 2003). Este diacronismo está relacionado à acreção, em diferentes épocas, de arcos magmáticos neoproterozóicos e fragmentos cratônicos mais antigos nas porções sul e sudeste do paleocontinente São Francisco (Tupinambá *et al.*, 2011). Segundo Heilbron *et al.* (1995) é consenso entre vários autores que a Faixa Ribeira representa, de um modo geral, “a raiz de um orógeno colisional [...] profundamente erodido.”

O segmento central da Faixa Ribeira pode ser subdividido em quatro terrenos tectono-estratigráficos (Heilbron & Machado, 2003; Tupinambá *et al.*, 2007): Ocidental, Oriental, Paraíba do Sul e Cabo Frio. Esses terrenos foram progressivamente retrabalhados ou acrescidos à margem do Cráton São Francisco (Figura 4) e são separados por falhas de empurrão ou por zonas de cisalhamento transpressivo dextral (Heilbron *et al.*, 2010, Tupinambá *et al.*, 2011). Tais terrenos são considerados como as paleoplacas convergentes que levaram à formação do continente Gondwana.

O Terreno Ocidental, correspondente a paleoplaca inferior, é constituído por um domínio autóctone, considerado como margem retrabalhada do Cráton São Francisco, e por dois sistemas de empurrão separados por zonas de cisalhamento e que tem vergência para noroeste: os domínios Andrelândia e Juíz de Fora (Figuras 4 e 5). O terreno Paraíba do Sul foi acoplado ao sistema entre aproximadamente 605 e 580 Ma (Tupinambá *et al.*, 2011). Este corresponde a uma *klippe* sinformal constituída por ortognaisses do Complexo Quirino na base e, no topo, uma estrutura dobrada

intercalando essas rochas com as rochas metassedimentares do Grupo Paraíba do Sul (Figura 5) (Mendes *et al.*, 2011 *apud* Machado *et al.*, 1996).

O Terreno Oriental corresponde a paleoplaca superior, na qual se instalou o arco magmático em resposta ao processo de subducção, com direção para leste, do Terreno Ocidental. O Terreno Oriental foi acrescido há 580 Ma (Tupinambá *et al.*, 2011) e pode ser subdividido em três unidades: Domínio Cambuci, Domínio Costeiro e *Klippe* Italva (Figura 5). O Domínio Cambuci, provável representante da bacia de ante-arco, é composto por uma sequência metavulcano-sedimentar com lentes de ortognaisses provenientes de arco magmático. O Domínio Costeiro é constituído de sucessões metassedimentares metamorfisadas em fácies anfibolito alto a granulito intercaladas aos granitóides e metagabros do Arco Rio Negro e aos ortognaisses colisionais e granitóides tardi a pós-colisionais dessa região, como o Batólito Serra dos Órgãos (Tupinambá *et al.*, 2007). A *Klippe* Italva representa a unidade estruturalmente superior do Terreno Oriental e é caracterizada por uma sequência metavulcano-sedimentar com mármore, anfibolitos e paragnaisses (Tupinambá *et al.*, 2007, Mendes *et al.*, 2011). A área de estudo deste trabalho encontra-se no contexto do Domínio Costeiro, Terreno Oriental, Segmento Central da Faixa Ribeira.

Por fim, o Terreno Cabo Frio foi tardiamente acrescido ao sistema e representa o último estágio colisional na constituição do orógeno Ribeira, sendo datado entre 535-510 Ma (Schmitt, 2004).

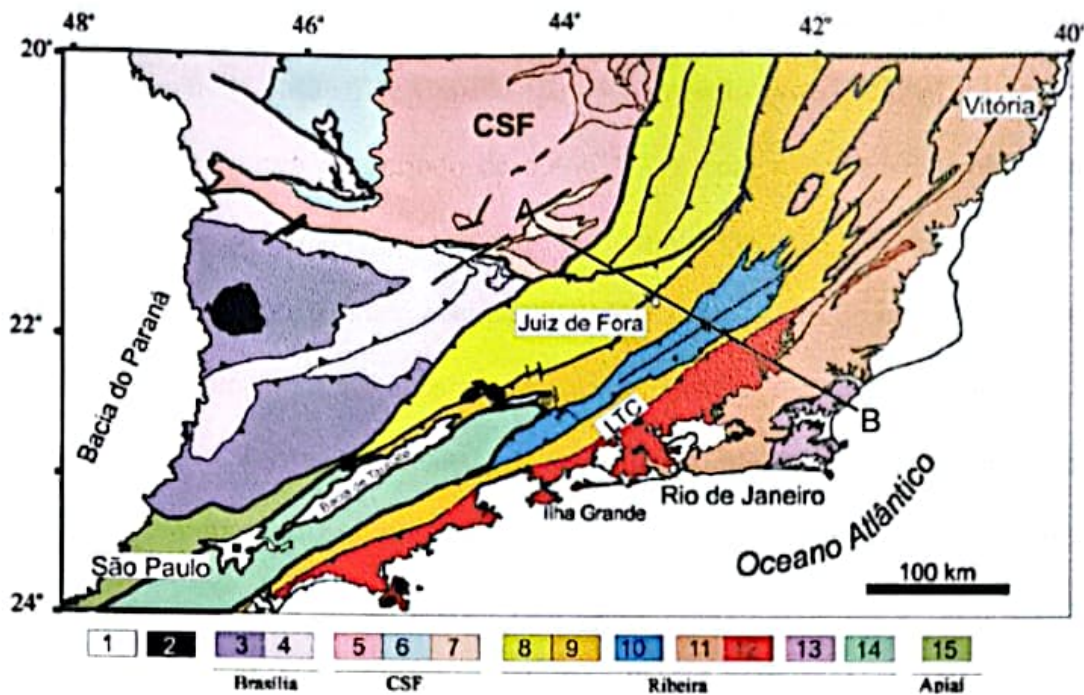


Figura 4 - Mapa tectônico do segmento central da Província Mantiqueira (modificado de Heilbron *et al.*, 2004). Legenda: 1) Riftes cenozóicos; 2) Rochas alcalinas do Cretáceo e Terciário; Orógeno Brasília: 3) Nappes inferiores, 4) Nappes superiores; 5) Embasamento do Cráton São Francisco e Domínio Autóctone; 6) Supergrupo São Francisco; 7) Metassedimentos do Domínio Autóctone; Orógeno Ribeira (8-13): 8) Domínio Andrelândia e 9) Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental; 10) Klippe Paraíba do Sul; 11) Terreno Oriental incluindo 12) Arco magmático Rio Negro; 13) Terreno Cabo Frio; 14) Terreno Embu; 15) Orógeno Apiaí (Terreno São Roque). LTC – Limite Tectônico Central da Faixa Ribeira. – Heilbron *et al.* 2004

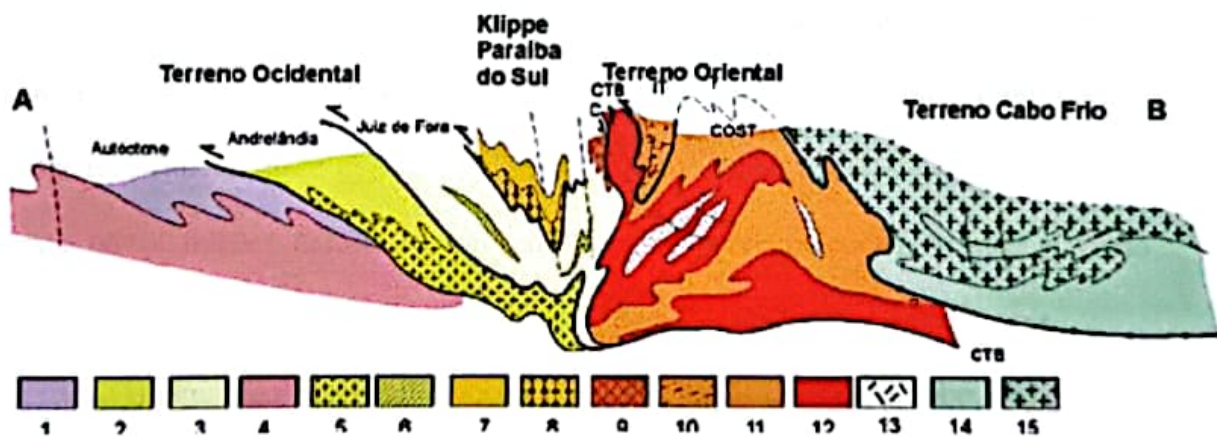


Figura 5 - Seção estrutural do Orógeno Ribeira. (Extraído de Heilbron *et al.*, 2004). Legenda: Terreno Ocidental (1-6): 1 a 3- Megasseqüência Andrelândia nos domínios Autóctone, Andrelândia e Juiz de Fora, Terreno Ocidental; 4 a 6 - Associações do embasamento (Complexos Barbacena, Mantiqueira e Juiz de Fora); Terreno Paraíba do Sul (7-8): 7 - Grupo Paraíba do Sul; 8 - Complexo Quirino; Terreno Oriental (9-13): 9 - Seqüência Cambuci; 10- Seqüência Italva; 11- Seqüência Costeiro; 12 - Arco Magmático Rio Negro; 13- Granitos colisionais; Terreno Cabo Frio(14-15): 14- Seqüências Búzios e Palmital; 15-Complexo Região do Lagos.

Heilbron *et al.* (2004) dividem a história evolutiva da Faixa Ribeira em dois eventos colisionais (Colisão II e Colisão III) e um evento pós-colisional. O primeiro evento colisional ocorreu no período de 590-550 Ma com o fechamento do Oceano Adamastor devido à convergência e colisão oblíqua entre o Paleocontinente São Francisco-Congo e outros microcontinentes localizados a leste, como o Terreno Oriental. Esse evento colisional foi o responsável por colocar os terrenos Paraíba do Sul e Oriental sobre o Terreno Ocidental. A deformação durante esta fase foi intensa, resultando em metamorfismo que varia da fácies xisto verde a granulito de média pressão.

O espessamento crustal resultante desta colisão foi responsável pela geração de diversas suítes granitóides de diferentes idades, encontradas principalmente no Domínio Juiz de Fora do Terreno Ocidental e no Terreno Oriental. Dentre elas encontram-se suítes como a cálcio-alcalina de alto K (*ca.* 590-580 Ma), leucogranitos e/ou granada charnockitos de aproximadamente 580 Ma e biotita granitos (*ca.* 560 Ma) tipo Serra dos Órgãos (Heilbron *et al.*, 2004).

O Estágio Colisional III (*ca.* 535-510 Ma) representa a colisão tardia entre o Terreno Cabo Frio e o Orógeno Ribeira e é denominado por Schmitt (2001) como Orogênese Búzios. Esse evento conduziu a metamorfismo de média à alta pressão e gerou novas feições deformacionais nos terrenos previamente amalgamados, como redobramento de estruturas e desenvolvimento de zonas de cisalhamento destrais.

O Estágio pós-colisional é observado nos terrenos Oriental e Cabo Frio e marca a transição para um regime tectônico distensivo. Essa fase é resultante do colapso extensional do orógeno e guarda estruturas como zonas de cisalhamento dúctil-rúpteis longitudinais ao orógeno e zonas de cisalhamento subverticais transversais ao orógeno.

Ocorre ainda magmatismo pós-colisional cálcio-alcálico com idades variando entre 510 e 480Ma.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Mapeamento

Os trabalhos de campo resultaram na confecção de um mapa geológico (Anexo 2) onde foram traçados os contatos das cinco unidades de mapeamento reconhecidas na região: ortognaisse e leucogranito do Batólito Serra dos Órgãos, ortognaisse e leucognaisse do Complexo Rio Negro e diques de diabásio. A maioria dos contatos foi inferida em relação à densidade de pontos, características dos solos e feições geomorfológicas.

#### 6.1.1 UNIDADES DE MAPEAMENTO

As unidades de mapeamento foram reconhecidas e individualizadas em campo a partir de análises megascópicas das rochas (onde foram levadas em conta a textura, granulometria, estruturas, minerais presentes, etc.) e da observação das relações (de corte, fragmentos inclusos, etc.) que as rochas mantinham entre si. Dessa forma, foram reconhecidas cinco unidades litológicas, detalhadas a seguir.

##### 6.1.1.1 Diques de Diabásio

Na área mapeada ocorrem diques de diabásio que intrudem as outras unidades litológicas. A origem desses diques, de idade cretácea, está relacionada à abertura do Atlântico Sul. Essa unidade é identificada localmente pela presença de blocos de diabásio, por vezes *in situ*, marcados por intensa esfoliação esferoidal e contornados por

um solo de coloração avermelhada/arroxeadada. Na maioria das vezes as rochas se encontram intensamente alteradas.

Ao microscópio, os diabásios mostram-se holocristalinos, de melanocráticos a mesocráticos e com textura subofítica e intergranular (Figura 6). A granulação varia de fina a média (Figura 7) e a composição mineralógica é caracterizada pela abundância de clinopiroxênio e plagioclásio, contendo também biotita, olivina, epidoto, titanita, clorita e minerais opacos (Santos, 2011, Fatah, 2011).



Figura 6 – Fotomicrografia de diabásio com textura intergranular. (Extraído de Fatah, 2011).



Figura 7 – Imagem megascópica de diabásio com granulação média. (Extraído de Santos, 2011).

## 6.1.1.2 Complexo Rio Negro (CRN): Ortognaisse e Leucognaisse

### 6.1.1.2.1 Ortognaisse do CRN

Os ortognaisses do CRN aparecem sob a forma de blocos, lajedos em drenagens, afloramentos em corte de estrada e imensos paredões. Tratam-se de ortognaisses migmatíticos classificados como hornblenda-biotita gnaisses ou biotita gnaisses. São rochas mesocráticas a leucocráticas, de granulação fina a média e caracterizadas por uma foliação bem definida pelos minerais máficos (Figura 8). A textura é tipicamente inequigranular hipidiomórfica seriada e a composição mineralógica inclui quartzo, microclina, plagioclásio, biotita, hornblenda, titanita, zircão, allanita, apatita, opacos (magnetita) e minerais secundários, como epidoto e clorita (Figuras 9 e 10).

Quando migmatizadas (Figura 11), essas rochas apresentam bandamento formado por leucossoma, mesossoma e melanossoma. Nesses casos podem ser observadas estruturas como dobras abertas e fechadas, feições estromáticas e *boudinage*.



Figura 8 – Afloramento de ortognaisse CRN cortado por veios de quartzo e mostrando foliação bem marcada.



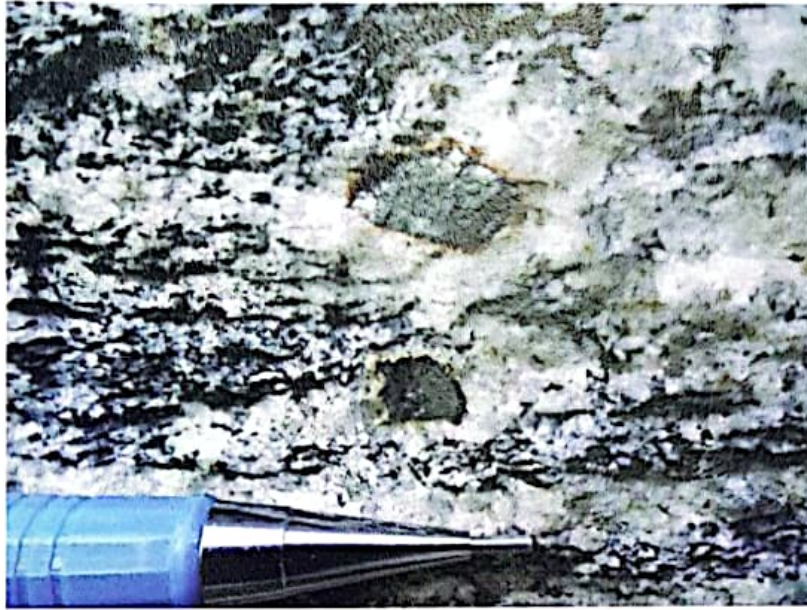


Figura 9 – Ortognaisse CRN bem foliado, com veios leucossomáticos contendo magnetita. (Extraído de Santos, 2011).

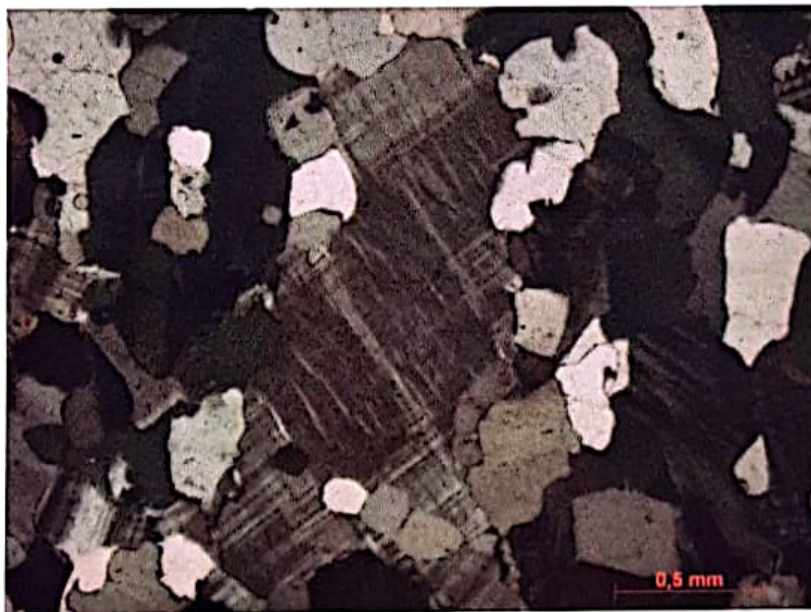


Figura 10 – Fotomicrografia do ortognaisse CRN, mostrando microclina com intercrescimento perítico.



Figura 11 – Porção migmatizada do ortogneisse CRN inclusa como xenólito no ortogneisse BSO.

#### 6.1.1.2.2 Leucogneisse do CRN

Essa unidade é observada em campo em cortes de estrada, grandes lajedos em drenagens e blocos *in situ*. A rocha pode aparecer sã ou alterada para uma coloração esbranquiçada/rosada e mostra uma foliação que na maioria das vezes é muito bem marcada (Figuras 12 e 13), mas em alguns momentos, incipiente. Principalmente nos casos em que o afloramento aparece sob a forma de lajedo, é possível observar a intrusão de veios quartzo-feldspáticos de granulometria média a grossa, podendo estar ricos em magnetita, dobrados e por vezes falhados (Figura 14). O leucogneisse é uma rocha de granulometria fina a média, leucocrática, com índice de cor máximo de 10%. Sua textura é inequigranular ou equigranular hipidiomórfica. Contém quartzo, plagioclásio, K-feldspato, biotita, hornblenda, titanita, zircão, apatita e minerais opacos. Quando alterada, a rocha mostra feldspatos alterando para sericita e epidoto e biotita sendo substituída por clorita. Pode conter granada.

O leucognaisse, assim como o ortognaisse do CRN, também pode apresentar bandamento, onde se observa a segregação entre o leucossoma e o melanossoma (Figura 15). Esse fato, associado ao caráter penetrativo da foliação do leucognaisse, permitiu a correlação desses dois tipos litológicos que, neste trabalho, foram considerados pertencentes à unidade CRN. Dessa forma, o leucognaisse é aqui considerado como unidade onde predominam porções félsicas da fusão parcial do ortognaisse Rio Negro. Como a exposição do leucognaisse na região é pontual, essa unidade é representada no mapa geológico (Anexo 2) por pontos de ocorrência dentro da área do ortognaisse do CRN.



Figura 12 – Afloramento de leucognaisse CRN mostrando uma boa orientação mineral e veios quartzo-feldspáticos.

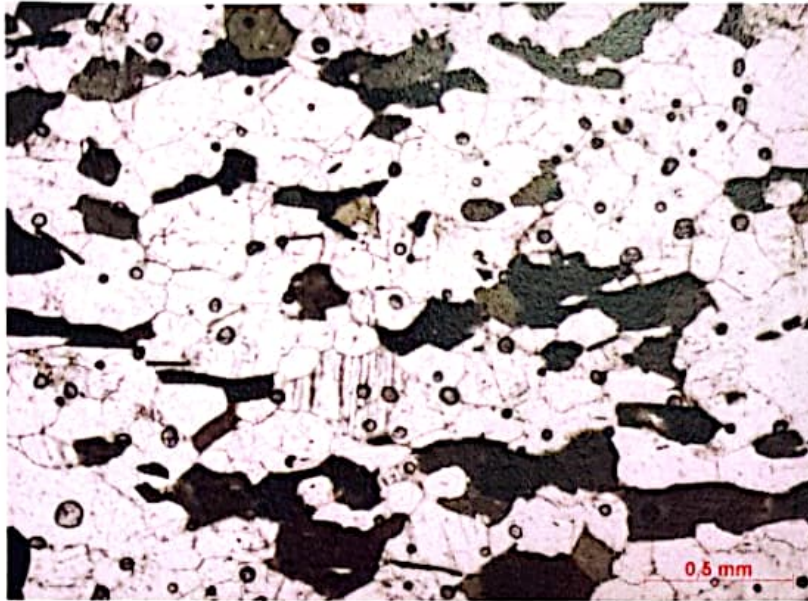


Figura 13 – Fotomicrografia do leucognaisse mostrando orientação dos minerais máficos.



Figura 14 – Lajedo de leucognaisse cortado por veios quartzo-feldspáticos, às vezes dobrados.



Figura 15 – Lajedo de leucognaisse contendo melanossoma.

#### 6.1.1.3 Batólito Serra dos Órgãos (BSO): Ortognaisse e Leucogranito

As rochas da unidade BSO podem ocorrer tanto individualizadas quanto juntas no mesmo afloramento e são expostas sob a forma de blocos transportados ou *in situ*, cortes de estrada, lajedos e montanhas. Elas podem estar bem preservadas, ou constituírem saprólitos ricos em caulinita onde os minerais máficos aparecem amarronzados definindo uma orientação, no caso do ortognaisse. A alteração dessas rochas gera um solo esbranquiçado, com tons mais alaranjados devido à dispersão do ferro presente na magnetita. Sua granulometria varia de fina a grossa dependendo do tipo litológico em questão e de uma forma geral a foliação presente nessas rochas é tipicamente descontínua ou ausente, embora em alguns casos possa estar bem definida pela orientação dos cristais de biotita e anfibólio. É comum a presença de veios aplíticos de 5 a 10 cm de espessura, ricos em quartzo e feldspato de granulometria média a

grossa, podendo conter pouca biotita e cristais de magnetita que podem chegar até 2 cm. Esses veios (Figura 16) cortam aleatoriamente o ortognaisse e o leucogranito.

A unidade BSO é composta de granodioritos a granitos, hololeucocráticos a leucocráticos, que intrudem as rochas do CRN e são pouco deformados por estarem relacionados a uma fase sin a tardi-colisional. Dessa forma são encontrados enclaves de rochas pertencentes à unidade CRN dentro das rochas do BSO. Esses enclaves podem tanto ser grandes porções migmatizadas do ortognaisse Rio Negro, quanto dioritos e hornblenditos. No primeiro caso (Figura 11), esses corpos aparecem dobrados e em contatos irregulares com o BSO. No caso dos enclaves de rochas ultramáficas, estes delineiam contatos bruscos com a encaixante, sem assimilação, e mostram uma geometria angulosa (Figuras 17 e 18). Esses dioritos e hornblenditos correspondem a antigos xenólitos alojados no próprio Arco Rio Negro, que foram removidos pela intrusão do batólito (Mendes *et al.*, 2004 e Tupinambá *et al.*, 2011). Podem ocorrer ainda xenólitos do biotita-gnaisse constituinte do CRN.



Figura 16 – Lajedo de leucogranito cortado por veios quartzo-feldspáticos irregulares.



Figura 17 – Afloramento de leucogranito e ortogneisse BSO com zona de enclaves.



Figura 18 – Detalhe de zona de enclaves nas rochas do BSO.

#### 6.1.1.3.1 Ortognaisse BSO

O ortognaisse BSO aflora principalmente como lajedos, paredões e montanhas, podendo ocorrer também em cortes de estradas, bem preservado ou saprolizado, ou como blocos. Em campo, a rocha aparece com uma foliação descontínua, por vezes bem marcada, podendo conter granada e magnetita. Em alguns casos, ela aparece associada ao leucogranito (Figura 19), mostrando que provavelmente essas rochas mantêm algum tipo de correlação genética no que diz respeito à evolução magmática. Ao microscópio, o ortognaisse é uma rocha leucocrática, de granulometria média a grossa e com IC variando entre 7% e 15%. Apresenta textura inequigranular hipidiomórfica e uma leve orientação dos cristais de biotita. A composição mineralógica inclui: quartzo, plagioclásio, K-feldspato, biotita, hornblenda, titanita, zircão, apatita, granada, opacos (magnetita principalmente) e epidoto (Figuras 20 e 21). Como minerais secundários ocorrem clorita, sericita e calcita.



Figura 19 – Bloco bem alterado mostrando contato entre o leucogranito fino e o ortognaisse BSO grosso.





Figura 20 – Aglomerado de hornblenda em amostra do ortogneisse BSO.

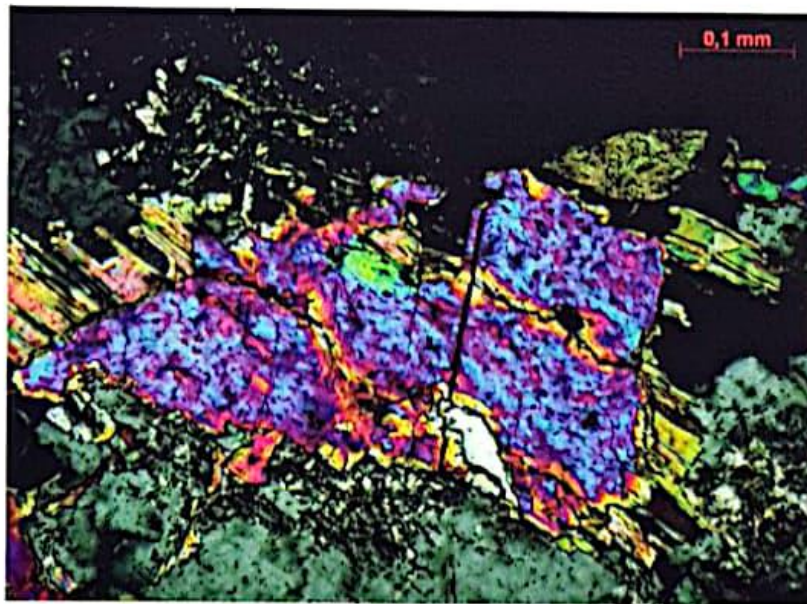


Figura 21 – Epidoto circundado por clorita em amostra do ortogneisse BSO.

### 6.1.1.3.2 Leucogranito BSO

Em campo, o leucogranito é observado principalmente em lajedos e blocos de diferentes tamanhos. A rocha (Figura 22) apresenta uma coloração clara, por vezes rosada e varia de leucocrática a hololeucocrática (o índice de cor não ultrapassa 10%). É comum que a estrutura seja isotrópica, mas em alguns casos é possível observar alguma orientação mineral. Sua granulometria é tipicamente fina a média, mas em uma fácies distinta pode chegar à grossa, com  $IC < 5\%$  e sem qualquer tipo de orientação dos poucos máficos presentes. Dentre os minerais que compõem o leucogranito tem-se principalmente: quartzo, feldspatos, biotita, anfibólio e pequenos cristais de magnetita e granada.



Figura 22 – Aparência megascópica do leucogranito sem foliação.

#### 6.1.1.3.2.1 Petrografia

Ao microscópio, o leucogranito é leucocrático a hololeucocrático, com índice de cor variando entre 3 e 10%. A granulometria predominante da rocha é média (~1mm) e

sua textura é inequigranular, hipidiomórfica, seriada a porfirítica (Figura 23). Pode apresentar textura mimerquítica e de intercrescimento pertítico. Normalmente não apresenta qualquer orientação mineral. É composta de quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita na mineralogia essencial. Como acessórios possui titanita, apatita, zircão, allanita, minerais opacos e variavelmente hornblenda. E os minerais secundários são: epidoto, clorita e muscovita.

O quartzo possui um tamanho médio de aproximadamente 1 mm, podendo chegar até 10 mm em alguns casos. São cristais anédricos, de hábito granular, às vezes apresentando extinção ondulante. Possui inclusões de plagioclásio, biotita, zircão, apatita e opacos e algumas vezes é possível observar indícios de recristalização. Podem estar fraturados e aparecer em intercrescimento mimerquítico no contato entre plagioclásio e microclina.

O K-feldspato, reconhecido como microclina pela presença de geminação *tartan*, apresenta inclusões de plagioclásio, zircão, apatita e minerais opacos. A dimensão predominante dos grãos varia entre 1 mm e 1,5 mm, onde os maiores cristais atingem 5,5 mm. São subédricos e de hábito tabular, por vezes com os bordos corroídos. Podem apresentar intercrescimento pertítico e alteração para sericita em alguns casos.

O plagioclásio é identificado por sua característica geminação polissintética. Os cristais são subédricos a anédricos, de hábito tabular a granular e tamanho médio de 1,5 mm. Às vezes encontram-se intensamente alterados e quase que totalmente substituídos por sericita. Contém inclusões de quartzo, microclina, biotita, apatita, zircão e opacos. Em alguns casos mostram-se fraturados e com as bordas corroídas.

A biotita ocorre em aglomerados ou isoladamente e na maioria das vezes não define nenhum tipo de orientação preferencial, embora em alguns casos seja possível notar uma foliação incipiente. Os cristais são lamelares, subédricos e com um tamanho

médio de 0,7 mm, podendo chegar a 2,5 mm. Por vezes ocorre substituição parcial ou total pela clorita. Zircão, apatita e minerais opacos são inclusões comuns nos cristais de biotita (Figura 24).

Os cristais de hornblenda são anédricos e com dimensões que variam de 0,5 mm a 1 mm. São de hábito granular e abrigam inclusões de zircão e minerais opacos. Podem ocorrer isoladamente ou em aglomerados e normalmente aparecem como minerais acessórios no leucogranito.

Os cristais de titanita variam de subédricos a euédricos, assumindo algumas vezes a característica geometria losangular (Figura 25). Podem estar associados à ocorrência de biotita e hornblenda em agregados. Seus tamanhos variam de 0,25 mm a 0,5 mm.

Os minerais opacos são anédricos a subédricos. Atingem 2 mm e provavelmente são em sua maioria cristais de magnetita.

Apatita e zircão são subédricos a euédricos, de típico hábito prismático, com tamanhos que não ultrapassam 0,3 mm e ocorrem como inclusões nos minerais citados anteriormente. A allanita possui uma cor amarelada, podendo ser euédrica ou assumir uma geometria circular. Às vezes ocorre envolvida por cristais granulares de epidoto. Muscovita aparece como mineral secundário, normalmente associado à biotita ou feldspatos.



Figura 23 – Aspecto microscópico geral do leucogranito.

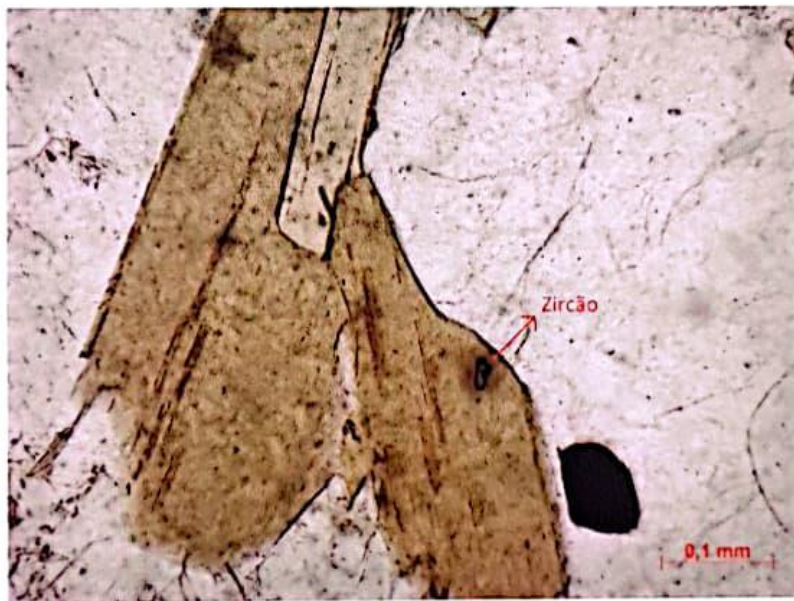


Figura 24 – Inclusão de zircão em biotita em amostra do leucogranito.

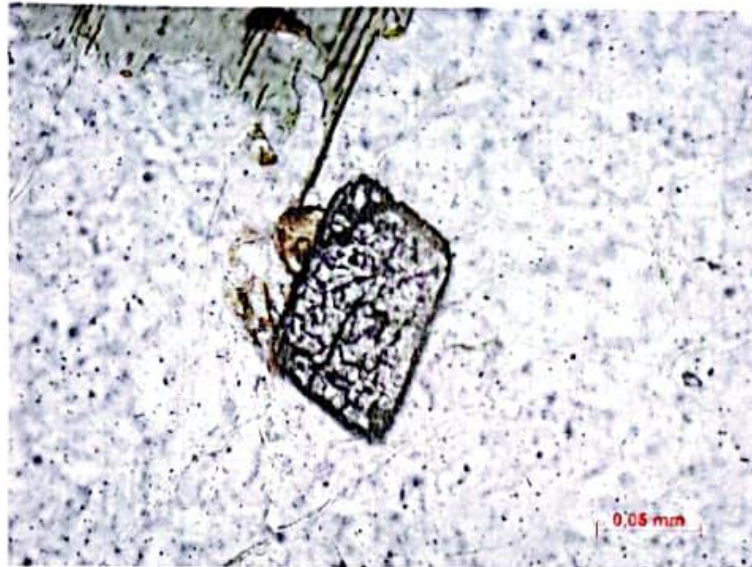


Figura 25 – Titanita de geometria losangular em amostra de leucogranito.

A análise modal das amostras, com os respectivos valores QAP normalizados a 100%, é apresentada na tabela 1. A Figura 26 mostra o diagrama QAP (Streckeisen, 1976), onde se nota que todas as amostras de leucogranito são plotadas dentro do campo do granito, enquanto o ortognaisse BSO tem sua composição variando de granodiorítica a granítica, com uma amostra no campo do quartzo-monzonito.

Tabela 1 – Análise modal das amostras de leucogranito e ortogneisse BSO.

Lâmina	Unidade	%																	
		Qz	Pl	Kfs	Bt	Hbl	Ttn	Ap	Zrn	Aln	Grt	Opq	Rt	Ep	Chl	Ms	Q	A	P
SU-02	Leucogranito	40	24,3	28,3	8,1	-	-	tr	tr	-	-	0,3	-	-	-	-	43,2	30,6	26,2
SU-06	Leucogranito	39	25,2	25	7	2,6	-	-	tr	tr	-	1,2	-	-	-	-	43,7	28	28,3
SU-29	Leucogranito	46,2	27,5	22	4	-	-	tr	tr	-	-	tr	-	-	0,3	-	48,3	23	28,7
SU-33	Leucogranito	26,8	11,6	60,6	0,2	0,3	-	-	tr	-	-	0,5	-	-	-	-	27,1	61,2	11,7
SU-34	Leucogranito	39,6	18,7	39,1	1	0,2	-	tr	tr	-	-	1,2	-	-	-	-	40,7	40,1	19,2
SU-48	Leucogranito	39,5	24,6	32,6	2,3	0,4	-	-	tr	-	-	0,4	0,2	-	-	-	40,9	33,7	25,4
SU-50	Leucogranito	21,1	29,6	45	0,5	0,6	-	-	tr	-	-	3,2	-	-	-	-	22	47	31
SU-60	Leucogranito	37	31	28,8	0,8	-	-	-	0,6	-	-	0,8	1	-	-	-	38,2	29,8	32
SU-161	Leucogranito	36	29	32	2,9	-	-	-	tr	-	-	tr	-	tr	tr	-	37	33	30
SU-171A	Leucogranito	45,1	18,8	26,1	8,9	-	-	tr	tr	-	-	0,7	-	-	-	0,4	50,1	29	20,9
SU-214	Leucogranito	38,4	29,9	24,4	6,7	0,2	0,2	tr	0,1	-	-	tr	-	-	-	0,1	41,4	26,3	32,3
SU-300	Leucogranito	33,6	20,5	39,3	4,3	-	-	tr	tr	-	-	tr	-	-	tr	2,3	36	42,1	21,9
SU-03	Ortogneisse BSO	40,2	30,6	25,5	2,1	1	-	-	0,1	0,5	-	-	-	-	-	-	41,7	26,5	31,8
SU-46	Ortogneisse BSO	28	34	27	7	3	0,1	-	tr	-	-	0,8	-	-	0,1	-	31,5	30,3	38,2
SU-47	Ortogneisse BSO	38,8	27,5	21	10,8	1	tr	tr	0,2	0,3	-	-	-	0,1	-	-	44,4	24,1	31,5
SU-49	Ortogneisse BSO	25,4	22	46,1	5,5	-	-	-	tr	tr	1	tr	-	-	-	-	27,2	49,3	23,5
SU-51	Ortogneisse BSO	34,1	28,2	34,2	2,7	0,6	-	tr	tr	-	-	0,2	-	-	-	-	35,3	35,4	29,3
SU-78	Ortogneisse BSO	29,2	32,5	33,5	2,3	0,8	-	-	1	0,2	-	0,5	-	-	-	-	30,7	35,2	34,1
SU-146B	Ortogneisse BSO	30	34	21,8	8,2	4,4	0,6	tr	tr	-	-	0,5	-	0,2	0,3	-	35	25,4	39,6
SU-243	Ortogneisse BSO	29,1	38,7	19,6	12,6	tr	tr	tr	tr	-	-	-	-	-	tr	-	33,3	22,4	44,3
SU-297B	Ortogneisse BSO	12,8	33,6	45,6	6,8	1	0,1	tr	tr	0,1	-	tr	-	tr	tr	-	13,9	49,6	36,5
SU-298A	Ortogneisse BSO	48,7	29,9	10,7	4,2	6,2	-	tr	tr	0,1	0,2	tr	-	-	-	-	54,5	12	33,5

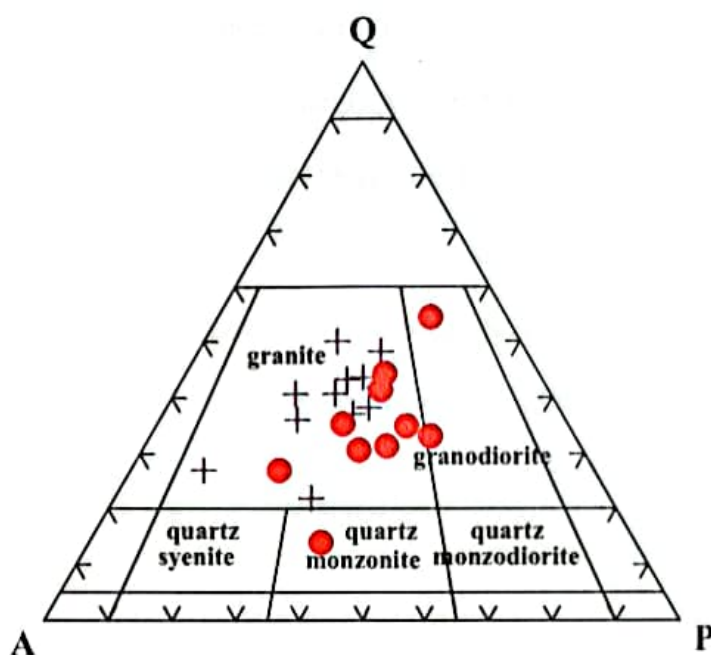


Figura 26 – Diagrama QAP com a classificação das amostras de leucogranito (+) e ortognaisse BSO (•).

## 6.2 Geoquímica

Para o estudo litogeoquímico foram analisados dados de elementos maiores, menores e traço de vinte amostras, das quais dez pertencem à unidade leucogranito BSO, seis são do ortognaisse BSO e as quatro restantes são duas para cada tipo litológico do Complexo Rio Negro (leucognaisse e ortognaisse). Foram obtidos também dados de ETR para nove destas amostras (tabela 3).

A tabela 2 apresenta os valores em porcentagem em peso de óxidos dos elementos maiores e menores e os valores dos elementos traço em partes por milhão (ppm). Observa-se a semelhança entre as assinaturas geoquímicas do leucogranito e ortognaisse Serra dos Órgãos, que apresentam valores de SiO<sub>2</sub> variando entre 69,61 e 76,92 no primeiro e 69,51 e 77,66 no segundo. A diferença entre essas rochas e o ortognaisse Rio Negro é nítida, cujos valores de SiO<sub>2</sub> não ultrapassam 60,72%. Já para o



leucognaisse, a porcentagem de sílica da amostra SU-71 é de 71,44% e se encaixa entre os teores das rochas do batólito, enquanto a amostra SU-25 apresenta um teor de 66,05%. Destaca-se ainda os elevados teores de FeOT e MgO do ortognaisse Rio Negro, contrastando com as rochas do BSO e com o leucognaisse (embora a amostra SU-25 mostre mais uma vez valores intermediários). Os teores de Rb são mais abundantes no leucogranito que no ortognaisse Serra dos Órgãos, ao passo que Sr e Zr possuem teores mais elevados no ortognaisse BSO. Os valores de Ba são elevados em ambas as rochas e em relação ao ortognaisse Rio Negro, são mais abundantes neste elemento.

Tabela 2 – Análises químicas de elementos maiores, menores (% em peso) e traços (em ppm) e Mg# para as rochas estudadas.

Amostra	Leucogranito									
	SU-2	SU-29B	SU-48	SU-49	SU-50	SU-51	SU-114	SU-126	SU-171	SU-300
SiO <sub>2</sub>	69,61	74,31	76,92	76,48	76,14	73,88	73,14	75,31	71,08	74,00
TiO <sub>2</sub>	0,27	0,19	0,03	0,05	0,04	0,12	0,26	0,15	0,31	0,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,36	13,86	12,74	13,34	13,41	13,76	14,81	13,46	15,60	14,03
FeOT	1,86	1,90	1,02	0,96	0,89	1,93	2,00	1,65	1,52	0,98
MnO	0,04	0,03	0,03	0,04	0,01	0,04	0,06	0,07	0,03	0,03
MgO	0,51	0,16	0,00	0,00	0,02	0,07	0,46	0,22	0,51	0,31
CaO	2,12	1,25	0,55	0,60	0,28	1,06	2,44	1,18	1,77	1,27
Na <sub>2</sub> O	5,32	3,31	3,55	3,91	3,44	3,87	3,50	3,54	4,47	3,27
K <sub>2</sub> O	3,05	4,91	4,90	4,42	4,83	4,84	3,08	4,06	3,70	5,02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,07	0,04	0,06	0,04
PF	0,38	0,16	0,16	0,33	0,41	0,33	0,42	0,17	0,62	0,41
Total	99,60	100,11	99,90	100,14	99,47	99,91	100,24	99,85	99,67	99,49
Ba	1568	1007	384	517	672	668	749	1008	1409	1545
Rb	33	124	170	169	164	125	66	146	38	45
Sr	681	138	0	40	29	91	152	9	533	207
Zr	190	158	48	83	101	144	124	44	177	126
Nb	14	13	21	12	12	12	11	11	15	14
Ni	36	1	0	5	3	4	37	38	37	35
Co	6	0	0	0	0	0	7	5	4	2
Zn	28	73	82	65	67	75	28	19	24	11
Cr	16	0	0	0	0	0	57	68	-25	-22
Y	14	48	72	59	47	40	14	16	13	13
V	31	47	29	32	33	41	27	18	32	17
Ga	7	20	23	23	22	21	7	6	7	6
Mg#	0,215	0,077	0,000	0,002	0,017	0,034	0,188	0,118	0,252	0,240

Tabela 2 – Continuação.

Amostra	Ortognaisse BSO						Leucognaisse		Ortognaisse CRN	
	SU-33	SU-34	SU-46	SU-47	SU-297	SU-298A	SU-25	SU-71	SU-128	SU-130
SiO <sub>2</sub>	77,66	74,08	69,51	70,78	69,54	73,5	66,05	71,44	58,52	60,72
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,1	0,47	0,33	0,41	0,32	0,45	0,32	0,91	0,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,66	14,3	14,85	15,23	14,84	13,06	16,43	14,9	18,72	18,07
FeOT	0,97	1,33	3,92	2,8	3,77	3,65	4,48	2,55	6,45	5,58
MnO	0,04	0,04	0,06	0,05	0,06	0,09	0,1	0,07	0,16	0,12
MgO	0,03	0,09	0,69	0,5	0,35	0,17	0,49	0,63	2,02	1,89
CaO	0,42	0,83	3,62	3,23	1,76	2,71	3,39	2,24	5,75	5,77
Na <sub>2</sub> O	3,64	4,43	3,64	3,78	2,93	3,76	4,26	4,28	4,32	4,7
K <sub>2</sub> O	4,23	4,09	2,2	2,64	4,87	1,37	2,35	3,02	1,66	1,39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0,01	0,11	0,07	0,08	0,04	0,1	0,07	0,25	0,23
PF	0,33	0,33	0,33	0,33	1,15	0,54	1,32	0,33	0,5	0
Total	100,02	99,63	99,40	99,74	99,76	99,21	99,42	99,85	99,26	99,32
Ba	65	907	2275	1989	1306	2209	2888	1209	782	879
Rb	136	120	59	62	33	6	50	94	7	3
Sr	33	785	300	310	24	373	399	342	267	362
Zr	46	195	216	166	249	328	413	142	186	198
Nb	10	17	10	8	14	17	9	14	20	19
Ni	0	24	0	2	31	33	0	8	30	31
Co	0	56	7	0	15	16	7	0	26	23
Zn	80	83	74	62	25	19	85	60	29	26
Cr	0	25	0	0	-14	-8	0	4	76	88
Y	53	27	38	31	14	12	26	31	13	12
V	30	424	82	73	41	41	89	63	81	78
Ga	20	20	22	21	4	4	20	21	3	4
Mg#	0,029	0,065	0,149	0,15	0,085	0,044	0,098	0,198	0,238	0,253

Tabela 3 – Análises químicas de elementos terras raras (em ppm) para nove amostras.

Amostra	Leucogranito					Ortognaisse BSO			Leucognaisse
	SU-29B	SU-48	SU-49	SU-50	SU-51	SU-33	SU-34	SU-46	SU-71
La	25,8	6,9	14,1	11,2	20,5	5,7	18,2	76,8	15,8
CE	67,3	17,9	34,8	19	48,3	17,1	44,9	150,3	31,7
Pr	7,16	3,04	4,48	4,55	5,73	2,57	5,73	16,01	3,52
Nd	28,4	14,7	18,8	20,5	22,7	12,1	23,6	58,2	13,9
SM	5,7	6,05	5,55	5,45	4,98	4,83	5,75	9,5	2,67
Eu	0,69	0,24	0,33	0,59	0,62	0,27	0,51	2,12	0,7
Gd	5,76	8,07	6,01	4,77	4,29	6,33	5,82	8,14	2,51
Tb	0,93	1,54	1,07	0,74	0,68	1,09	0,95	1,31	0,45
Dy	5,81	9,18	5,88	3,85	3,76	6,18	5,17	7,2	2,69
Ho	1,2	1,82	1,18	0,74	0,73	1,22	1,1	1,39	0,58
Er	3,61	5,09	3,43	2,19	2,07	3,46	3,08	3,85	1,85
Tm	0,5	0,8	0,54	0,33	0,32	0,45	0,46	0,54	0,3
Yb	3,84	4,71	3,43	2,19	2,14	2,57	2,74	3,11	1,99
Lu	0,56	0,7	0,53	0,35	0,34	0,38	0,42	0,47	0,33
Total	157,26	80,74	100,13	76,45	117,16	64,25	118,43	338,94	78,99

### 6.2.1 Diagramas de Variação de Harker

Os diagramas de Harker (1909) são gráficos binários muito úteis na investigação das diferenças químicas entre rochas que representam diferentes estágios na evolução de um magma. Nesses diagramas, o índice de diferenciação utilizado é  $\text{SiO}_2$ . O índice de diferenciação é o elemento, ou conjunto de elementos, que melhor representa a variação química durante a diferenciação magmática e neste trabalho ele é plotado em relação a vários dos óxidos e elementos analisados (Figuras 27 e 28).

Analisando-se o comportamento dos elementos maiores para o leucogranito, observa-se que os *trends* são em sua maioria retilíneos, o que sugere a ocorrência de mistura magmática ou cristalização fracionada. Nota-se correlação negativa para  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ , enquanto  $\text{K}_2\text{O}$  aumenta com o aumento de  $\text{SiO}_2$ . Observa-se um padrão de dispersão para  $\text{MnO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ . Esse comportamento dos elementos indica o possível fracionamento das seguintes fases minerais durante o resfriamento do magma: plagioclásio ( $\text{CaO}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), hornblenda ( $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), biotita ( $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ ), apatita ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e óxidos de Fe e Ti (como magnetita e ilmenita). Note-se que o fracionamento de biotita poderia levar ao empobrecimento do magma em K, contudo o *trend* deste elemento permanece positivo, o que sugere um magma muito rico em K, que ficou concentrado no líquido para a cristalização de K-feldspato mesmo com o fracionamento da biotita.

Quanto aos elementos traço, nota-se a ocorrência de *trends* retilíneos negativos para Ba, Sr e Zr. Por outro lado, o Rb aumenta no líquido durante a cristalização. Esses comportamentos sugerem a substituição de K por Ba na biotita e hornblenda e de Ca por Sr no plagioclásio. O comportamento do Zr indica o fracionamento de zircão e o aumento de Rb, como do K, indica que não houve fracionamento de K-feldspato.

É importante ressaltar a similaridade existente entre as rochas do BSO e a discrepância observada nas duas amostras do ortogneisse Rio Negro em relação a estas unidades. Este ortogneisse é proveniente de um magma mais enriquecido em FeO, MgO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e mais pobre em K<sub>2</sub>O e Rb. Quanto ao leucogneisse, uma das amostras apresenta um comportamento semelhante ao das rochas do BSO, ao passo que a outra amostra se posiciona relativamente isolada em um campo intermediário às rochas do batólito e ao ortogneisse Rio Negro.

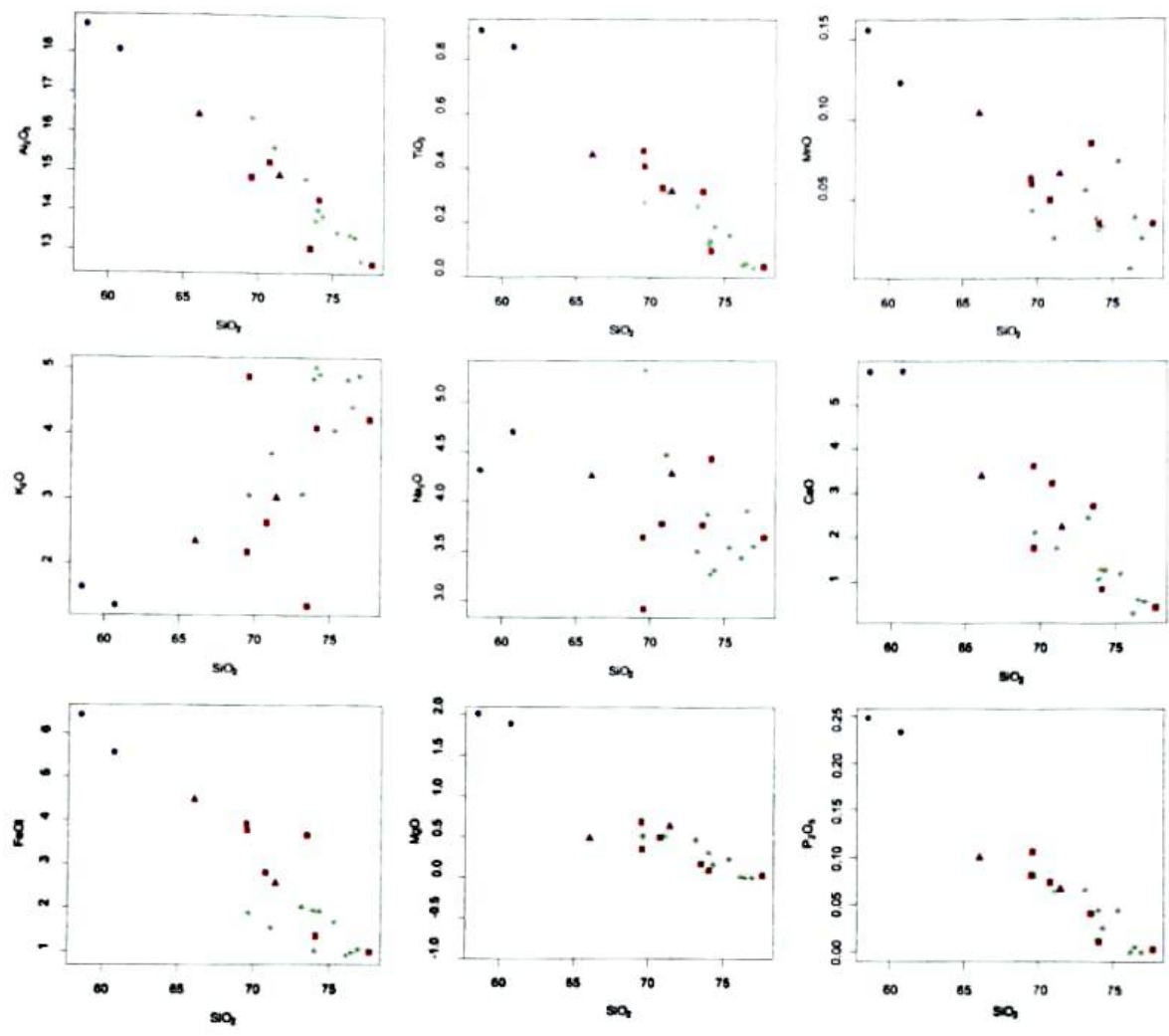


Figura 27 – Diagramas de Harker para as amostras analisadas.  
 Símbolos: ▲ leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

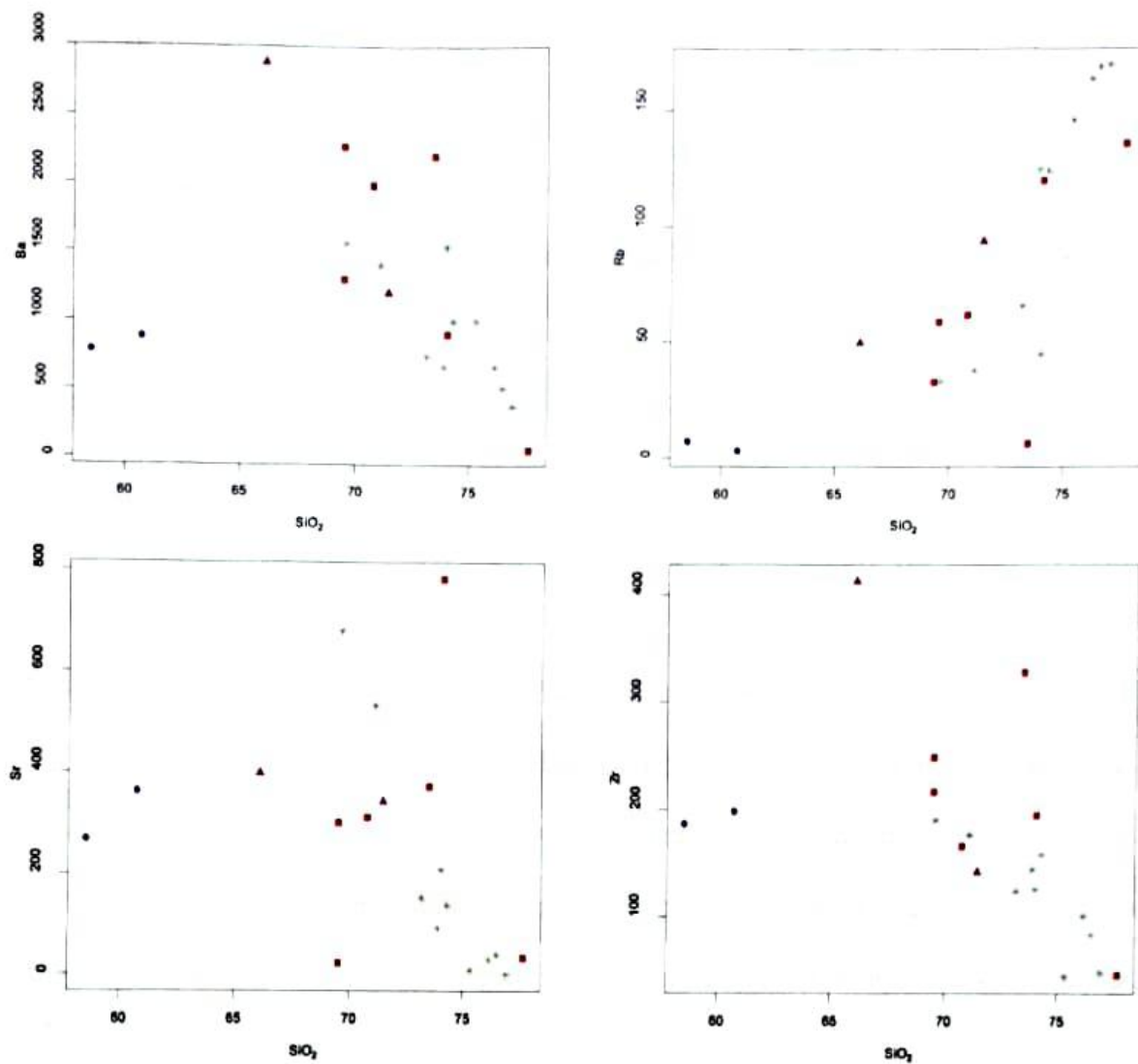


Figura 28 – Diagramas de variação SiO<sub>2</sub> x elementos traço para as amostras analisadas.  
 Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.



### 6.2.2 Diagrama AFM

O diagrama AFM é um gráfico ternário que correlaciona os teores de álcalis ( $K_2O + Na_2O$ ), de  $FeO$  e de  $MgO$  e permite a diferenciação entre as séries toleítica e cálcio-alkalina. A Figura 29 mostra que todas as amostras de leucogranito plotam no campo da série cálcio-alkalina. Para o ortognaisse do BSO, a maioria das amostras ocorre também neste mesmo campo, contudo uma amostra se encontra no limite com o campo da série toleítica e outra, um pouco mais discrepante, já dentro deste campo. De todo modo, tanto leucogranito quanto ortognaisse Serra dos Órgãos mostram um *trend* de enriquecimento em álcalis, como já observado nos diagramas de Harker.

Os ortognaisses do CRN são plotados todos no campo da série cálcio-alkalina bem próximos ao limite com a área da série toleítica. As amostras de leucognaisse aparecem cada uma em um campo diferente, sendo que aquela que se encontra no campo da série toleítica está bem próxima ao limite com o campo da série cálcio-alkalina.

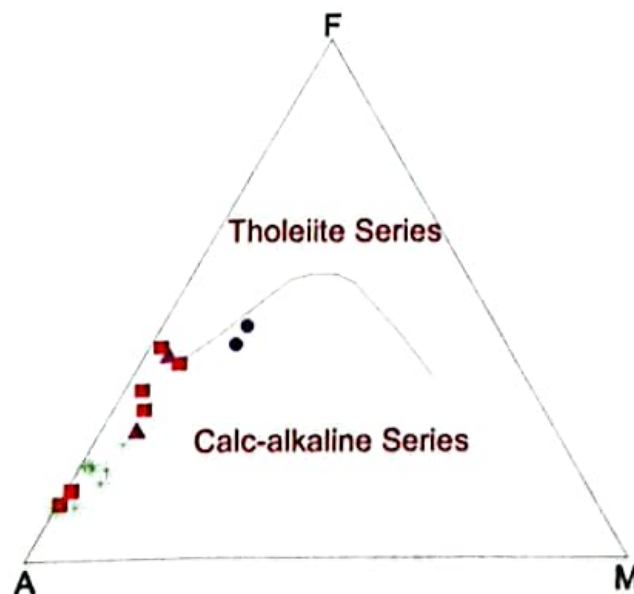


Figura 29 – Diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) com as rochas analisadas. Símbolos: ◻ leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

### 6.2.3 Diagrama SiO<sub>2</sub> x K<sub>2</sub>O

O diagrama de Peccerillo & Taylor (1976) (Figura 30) mostra a predominância do leucogranito no campo cálcio-alcalino de alto K, onde se pode observar um grupo de rochas mais enriquecidas em álcalis. Apenas uma amostra de leucogranito não foi plotada dentro dessa série, estando incluída no campo da série cálcio-alcalina, próximo ao limite com a série cálcio-alcalina de alto K. O ortognaisse do BSO é plotado tanto no campo cálcio-alcalino de alto K quanto no campo cálcio-alcalino, além de uma amostra ocorrer no limite entre este último campo com o campo da série toleítica e outra no campo da série shoshonítica.

As rochas do Complexo Rio Negro são todas pertencentes à série cálcio-alcalina, onde nota-se o baixo teor de álcalis para o ortognaisse.

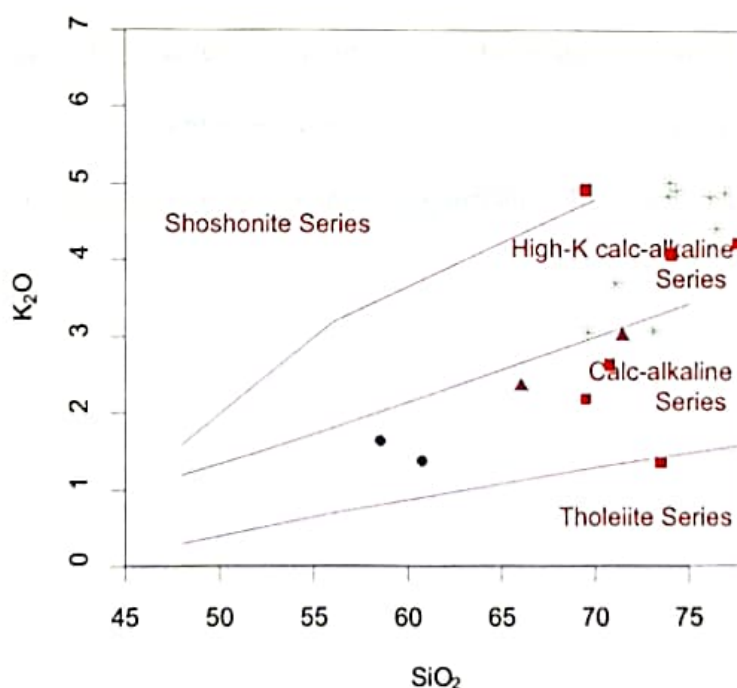


Figura 30 – Diagrama SiO<sub>2</sub> x K<sub>2</sub>O (Peccerillo & Taylor, 1976) com as amostras analisadas. Símbolos: ▾ leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

#### 6.2.4 Diagramas de Frost

Segundo os diagramas de Frost *et al.* (2001) (Figura 31) as rochas do BSO apresentam, de uma forma geral, um caráter ferroso, em alguns casos magnesiano para o leucogranito. Esse fato pode ser indicador de um magma mais reduzido que oxidado devido aos elevados valores de  $Fe\#$ , com uma maior oxidação para algumas amostras de leucogranito. Essas rochas têm assinatura variando de cálcica a álcali-cálcica, com predominância do leucogranito no campo cálcio-alcálico. As rochas do batólito evidenciam um caráter fracamente peraluminoso. Duas amostras do ortognaisse BSO se posicionam no limite com o campo metaluminoso.

O leucognaisse aparece com características semelhantes a essas rochas. Possuem caráter ferroso, podendo chegar a magnesiano, plotam no campo da série cálcio-alcálica e mostram afinidade fracamente peraluminosa. Quanto ao ortognaisse CRN, os principais contrastes que demonstram estão relacionados à escassez de  $SiO_2$ . Essas rochas plotam no limite entre os campos ferroso e magnesiano, com uma leve tendência ao caráter magnesiano e possuem composição cálcio-alcálica. São de caráter metaluminoso.

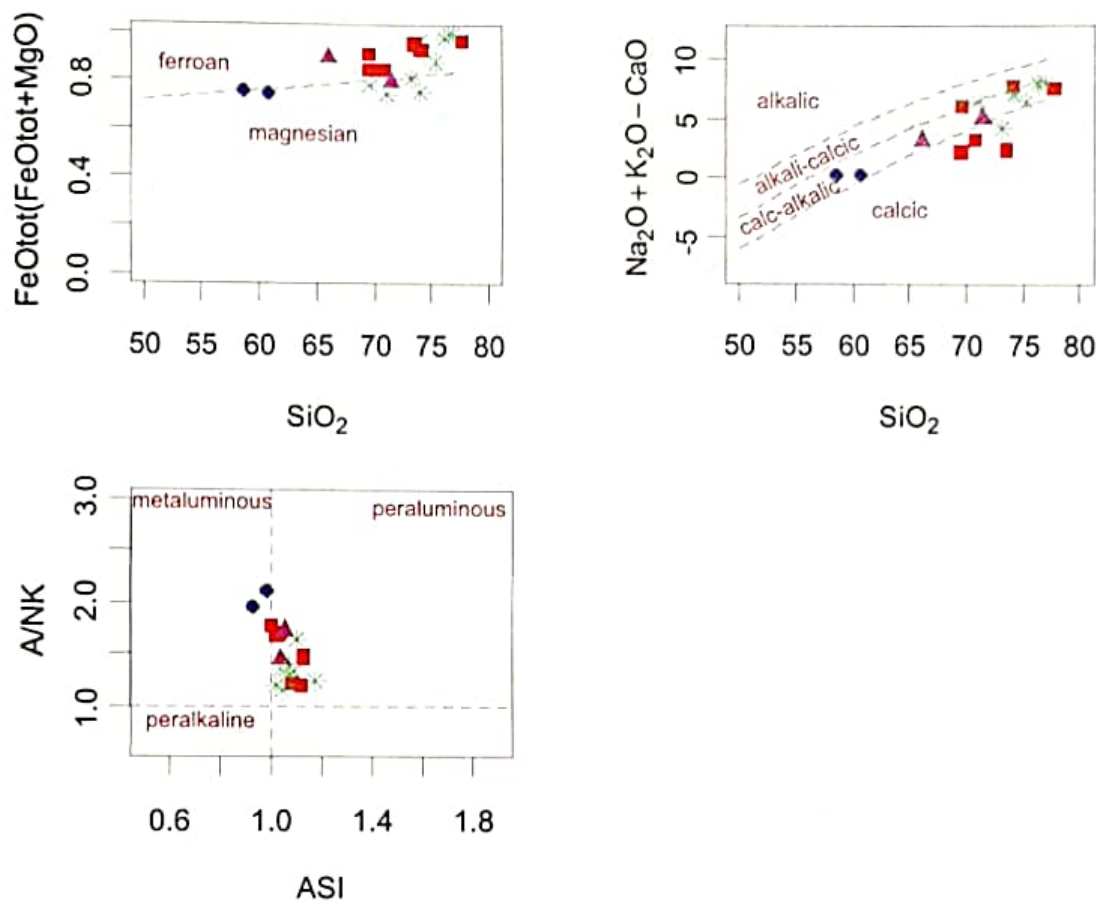


Figura 31 – Diagramas de Frost *et al.* (2001) com as amostras analisadas. Símbolos:  $\nabla$  leucogranito;  $\blacksquare$  ortogneisse BSO;  $\blacktriangle$  leucogneisse;  $\bullet$  ortogneisse CRN.

#### 6.2.5 Diagrama TAS de Cox *et al.* (1979)

O diagrama TAS, de Cox *et al.* (1979), corresponde a um esquema de classificação de rochas plutônicas através da correlação: total álcalis vs. sílica. Através da plotagem dos dados químicos neste diagrama é possível estabelecer o nome das rochas, bem como distinguir as séries magmáticas entre subalcalina/toleítica e alcalina.

A Figura 32 mostra o diagrama TAS para as rochas aqui estudadas. Nota-se que todas as amostras de leucogranito são plotadas dentro do campo do granito. O mesmo ocorre com a maioria das amostras do ortogneisse BSO, à exceção de uma que aparece no limite com o campo do granodiorito. Todas as rochas da unidade BSO possuem

composição ácida e são plotadas no campo da série sub-alcálica/toleítica. As amostras de leucognaisse, também de composição ácida, são classificadas aqui como granito e granodiorito. Quanto ao ortognaisse CRN, as amostras aparecem isoladas no campo do diorito, de composição intermediária. Ambas são plotadas na área correspondente à série sub-alcálica/toleítica.

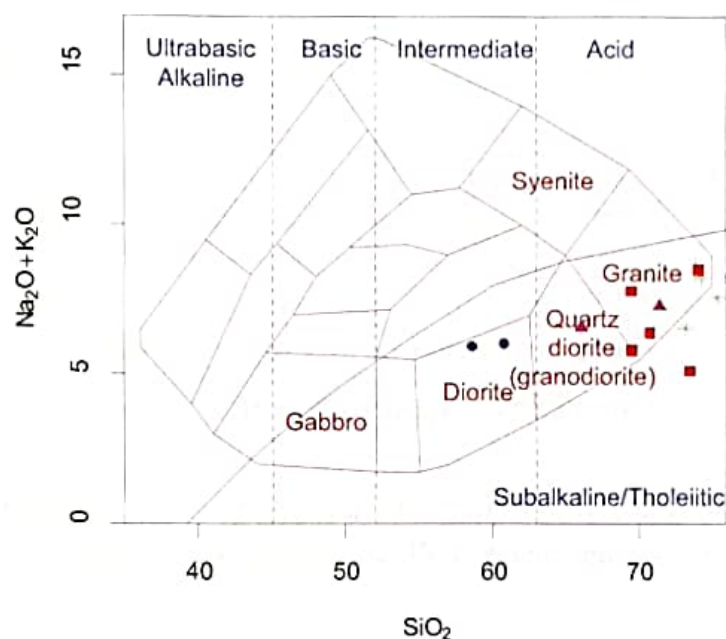


Figura 32 – Diagrama TAS (Cox *et al.*, 1979) com as amostras analisadas. Símbolos: + leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

#### 6.2.6 Diagrama R1- R2

O diagrama R1 – R2 de De la Roche *et al* (1980) (Figura 33) mostra que a maioria dos leucogranitos são plotados no campo do granito, embora em alguns casos a rocha possa ser classificada TAS álcali granito e granodiorito. O ortognaisse BSO apresenta o mesmo comportamento, com a composição variando de granodiorítica a álcali granítica. O leucognaisse é classificado como granodiorito e uma amostra se

aproxima do campo do tonalito. Os ortognaisses do CRN aparecem isolados no campo do diorito.

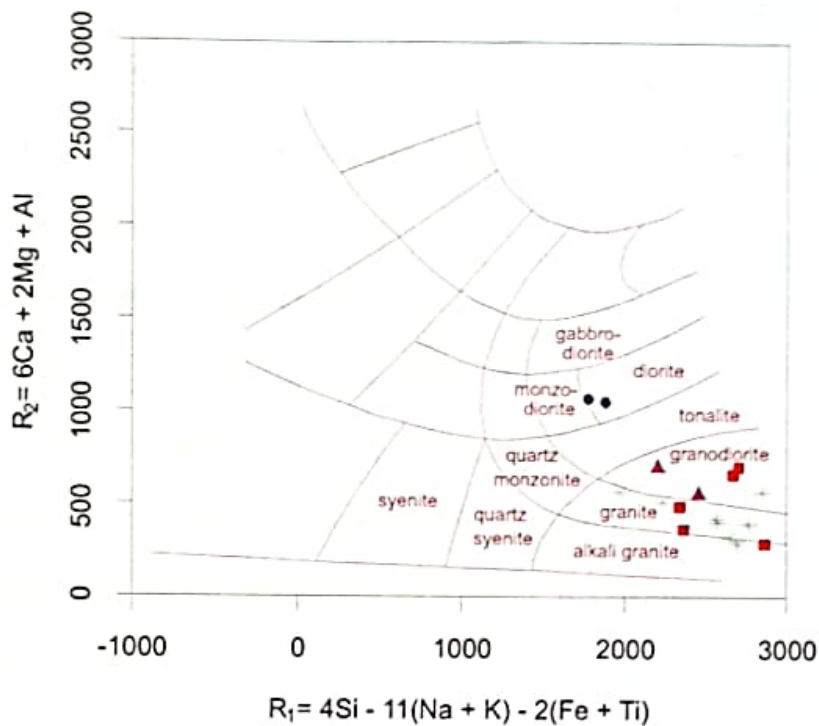


Figura 33 – Diagrama R1 x R2 (De la Roche *et al.*, 1980) com as amostras analisadas. Símbolos: ○ leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

### 6.2.7 Diagramas ETR

O diagrama de elementos terras raras (ETR) normalizado para o condrito de Boynton (1984) é apresentado na Figura 34. É possível observar um pequeno enriquecimento das rochas em ETR leves em relação aos pesados. Uma amostra de Ortognaisse Serra dos Órgãos mostra um enriquecimento maior nos ETR leves, atingindo teores maiores que 100 vezes o condrito. Todas as amostras de leucogranito apresentam forte anomalia negativa de Eu. Em magmas onde a fugacidade de oxigênio é baixa (magmas mais reduzidos que oxidados, como é o caso das rochas do BSO,

conforme observado nos diagramas de Frost), o Eu torna-se divalente e portanto, geoquimicamente similar ao  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Sr}^{2+}$ . Dessa forma,  $\text{Eu}^{2+}$  pode substituir esses elementos no feldspato, empobrecendo o líquido em Eu. A anomalia negativa de Eu portanto, pode ser interpretada como a fusão parcial de uma rocha na qual o feldspato ficou retido na fonte, ou, como é mais provável, o fracionamento de feldspato durante o resfriamento do magma.

O padrão relativamente uniforme dos ETR médios e pesados, com teores pouco maiores que 10 vezes o do condrito, pode estar relacionado ao fracionamento de mineralogia acessória, como apatita, zircão e granada. Observa-se que há similaridade entre os padrões do ortognaisse e leucogranito BSO, o que também sugere cogeneticidade entre essas rochas. Por outro lado, o comportamento da amostra de leucognaisse analisada não apresenta anomalia de Eu e possui os menores valores para ETR médios e pesados.

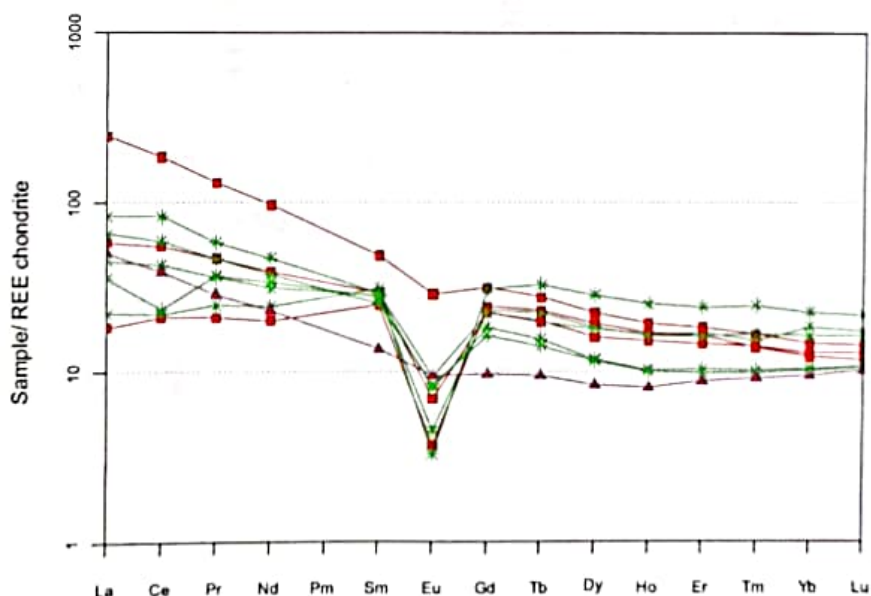


Figura 34 – Diagrama ETR normalizado para o condrito de Boynton (1984) para as rochas estudadas. Símbolos: \* leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse

## 6.2.8 Diagramas discriminantes para ambientes tectônicos

Nos diagramas de Pearce *et al.* (1984) (Figura 35), as amostras de leucogranito e ortognaisse BSO posicionam-se variavelmente nos campos de granito de arco magmático e intraplaca. É possível notar um *trend* em direção ao ambiente intraplaca, ou seja, um *trend* de enriquecimento em Y e Nb por exemplo, evidenciando a participação de crosta mais madura. O fato de muitas amostras caírem no campo correspondente a ambiente de arco magmático é um possível indicador de magma com herança geoquímica de fonte relacionada a arco. Em consonância com suas características petrográficas e geoquímicas, as rochas do CRN plotam no campo de granitos de arco vulcânico.

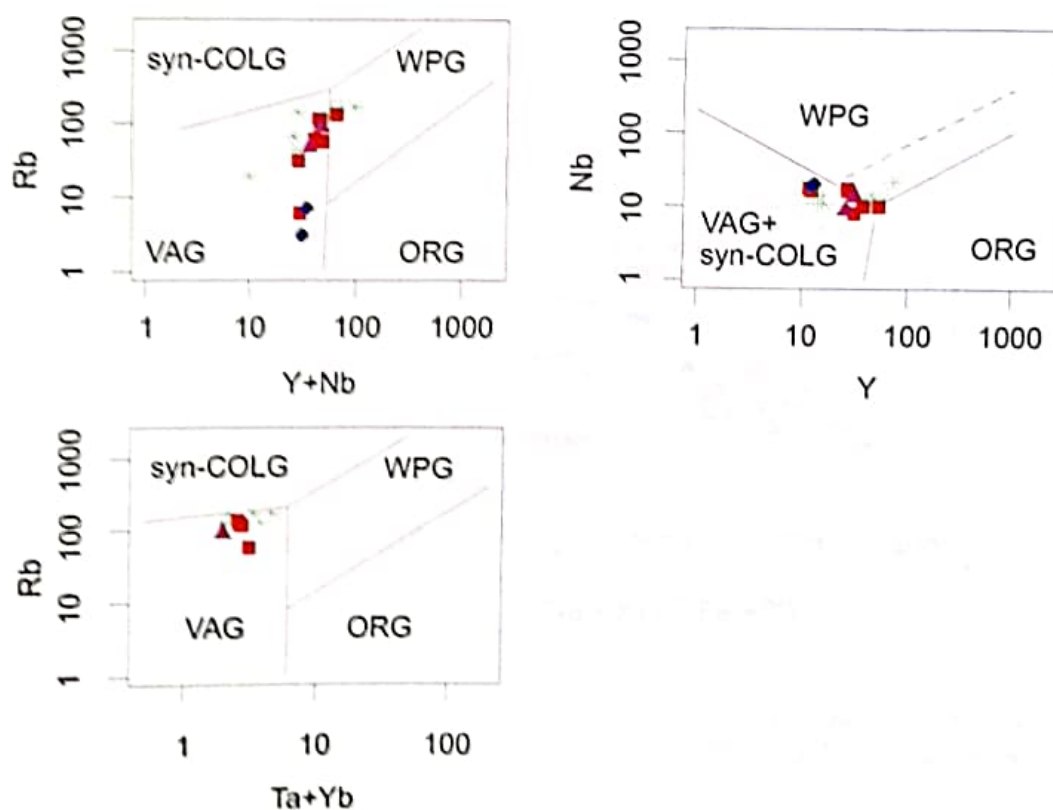


Figura 35 – Diagramas de Pearce *et al.* (1984) para as rochas analisadas. Legenda: VAG -granitos de arcos vulcânicos; WPG – granitos intraplaca; ORG – granitos de dorsal meso-oceânica; syn-COLG – granitos sin-colisionais. Símbolos: \* leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.



O diagrama R1 x R2 de Batchelor e Bowden (1985) (Figura 36) mostra as rochas do BSO, tanto leucogranito quanto ortognaisse posicionadas principalmente dentro do campo de ambiente sin a tardi-colisional, como já observado na literatura (Mendes *et al.*, 2004). Essas amostras delineiam um nítido *trend* em direção ao campo pós-orogênico, retratando a participação de crosta mais evoluída e corroborando o comportamento observado na figura anterior. Algumas amostras caem no campo de ambiente pré-colisional, contudo estão bem próximas aos campos sin e tardi-colisional, podendo ser indicador de herança de fonte relacionada a arco. As rochas do CRN se posicionam preferencialmente no campo pré-colisional.

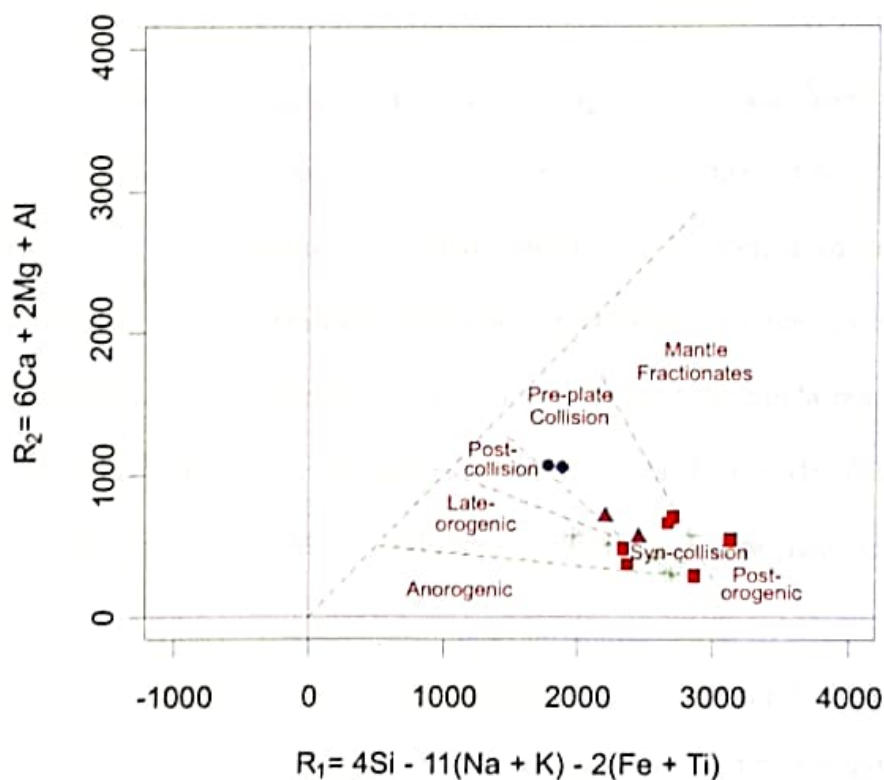


Figura 36 – Diagrama R1 x R2 (Batchelor & Bowden, 1985) com as amostras analisadas. Símbolos: ◻ leucogranito; ■ ortognaisse BSO; ▲ leucognaisse; ● ortognaisse CRN.

### 6.3 Química Mineral

Foram realizadas análises por microsonda eletrônica em três lâminas polidas, sendo duas do ortognaisse BSO e uma do leucogranito em contato com um enclave de composição tonalítica. Os minerais analisados foram: anfibólio, biotita, plagioclásio e K-feldspato, para os quais as fórmulas estruturais foram obtidas através do *software* MINPET (Richard, 1995).

#### 6.3.1 Anfibólio

Foram analisados anfibólios que estavam em contato com plagioclásio para que posteriormente fossem calculadas as temperaturas de equilíbrio dessas fases minerais. A tabela 4 mostra os dados obtidos e as respectivas fórmulas estruturais. Observa-se que o Mg# de anfibólio do leucogranito BSO (média de 0,389) é superior ao de anfibólio analisado no ortognaisse BSO (médias de 0,179 e 0,097 para as amostras SU-297B e SU-298A respectivamente). O enclave apresenta valores de Mg# ainda mais elevados em relação àquelas amostras, com média de 0,401. Os teores de Al(total) são inversamente proporcionais aos Mg#, sendo assim, são inferiores no leucogranito e no enclave.

Os anfibólios possuem composição cálcica e são classificados segundo Leake (1971) como hastingsita para as amostras de ortognaisse (Figura 37). Os valores de Si variam entre 5,917 e 6,146 átomos/fórmula. Quanto ao leucogranito e enclave, seus anfibólios são classificados como hornblenda hastingsítica magnesiana, sendo que os do leucogranito plotam no limite com o campo de hastingsita magnesiana. Seus valores de Si oscilam entre 6,240 e 6,377 átomos/fórmula.

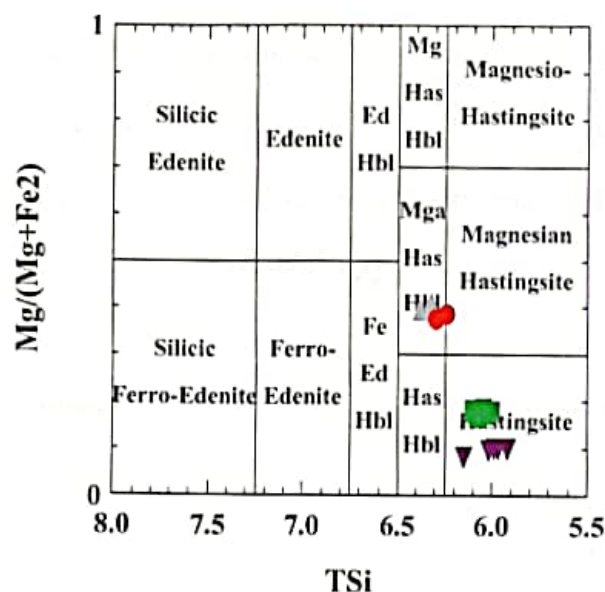


Figura 37 – Diagrama TSi x Mg/(Mg+Fe<sub>2</sub>) de classificação de anfibólios para as rochas analisadas. Símbolos: ■ SU-297B (ortogneisse BSO); ▼ SU-298A (ortogneisse BSO); ▲ SU-298CE (enclave CRN); ● SU-298CL (leucogranito BSO).

### 6.3.2 Biotita

Os dados obtidos com as análises de biotitas se encontram na tabela 5. É possível notar que os Mg# são semelhantes aos obtidos para os anfibólios em todas as amostras. Sendo assim, também para a biotita, os valores de Mg# do leucogranito são superiores aos calculados para o ortogneisse. Os valores para o enclave continuam sendo os maiores (0,440). Os valores de Ti são relativamente elevados, principalmente no ortogneisse SU-298A, onde podem chegar a 0,653 átomos/fórmula. No leucogranito, esses valores são mais baixos, não ultrapassando 0,412 átomos/fórmula. Os teores de Ti mostram uma diminuição com o aumento do Mg#.

Na Figura 38, que mostra os extremos composicionais das micas ferro-magnesianas, é possível separar as amostras analisadas em três grupos distintos pelo

Fe#, que sofre oscilações muito suaves em cada grupo (à exceção da amostra SU-298C, onde leucogranito e enclave aparecem um pouco distanciados). As amostras de ortognaisse posicionam-se num campo próximo ao vértice correspondente a annita. A amostra SU-298C, embora mais descolada para o extremo annita, posiciona-se num campo intermediário entre os membros finais flogopita e annita.

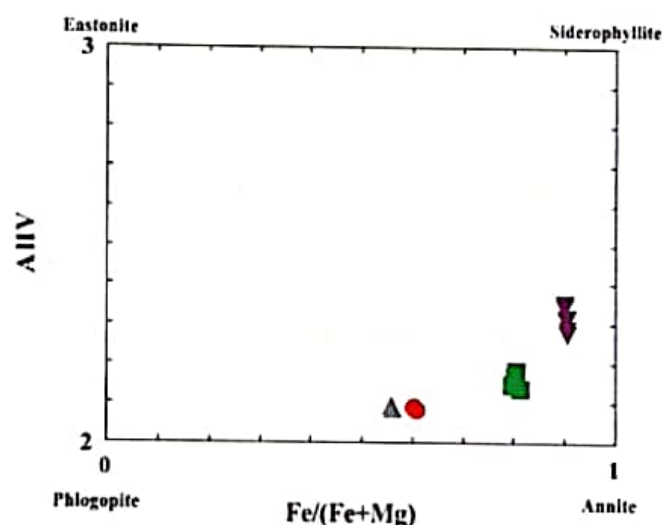


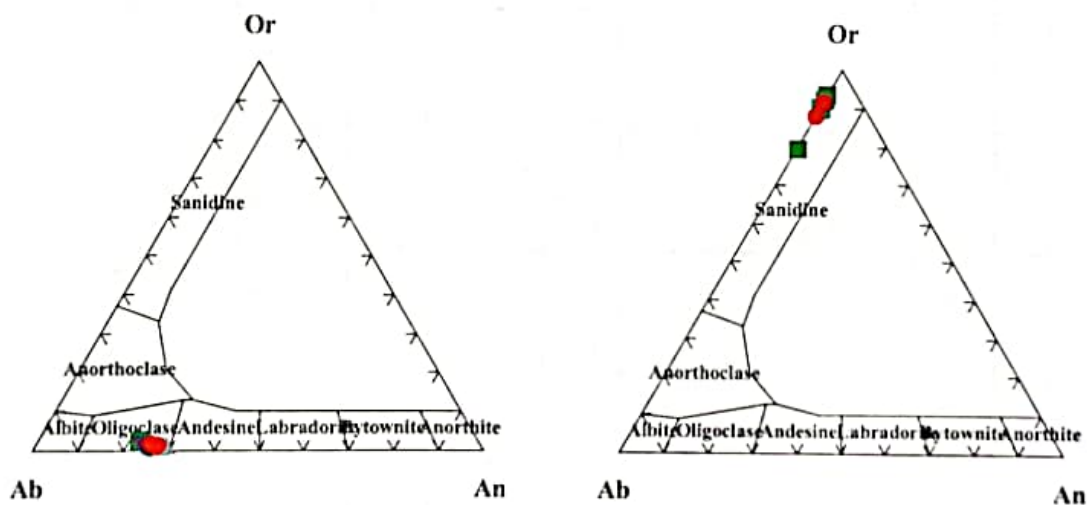
Figura 38 – Variação composicional de biotita das rochas do BSO e enclave.  
 Símbolos: ■ SU-297B (ortognaisse BSO); ▼ SU-298A (ortognaisse BSO); ▲ SU-298CE (enclave CRN); ● SU-298CL (leucogranito BSO).

### 6.3.3 Feldspatos

Foram analisados somente cristais de plagioclásio que estavam em contato com os anfibólios e foram feitas vinte e seis determinações para as três amostras. Os resultados analíticos estão registrados na tabela 6. A composição do plagioclásio oscila entre  $Ab_{69,9}An_{29}Or_{1,2}$  e  $Ab_{75,7}An_{22,7}Or_{1,6}$  e todos eles são classificados como oligoclásio cálcico. Não foram analisados grãos zonados. O ortognaisse SU-297B apresenta os valores mais elevados de K, com uma média de 0,09 cátions/fórmula. Nos

outros casos, essa média não ultrapassa 0,051 cátions/fórmula (valores do ortognaisse SU-298A). A Figura 39 apresenta o diagrama Or-Ab-An, mostrando as leves variações composicionais dos plagioclásios analisados, com a predominância de todas as amostras no campo do oligoclásio.

Para o K-feldspato, foram realizadas oito determinações em duas amostras (tabela 7). Os pontos analisados foram plotados em um gráfico Or-Ab-An (Figura 40), que mostra que são feldspatos ricos na molécula Or. Observa-se que a maioria das composições é semelhante entre si, variando de Or88,2 a Or93,6. A exceção é uma análise da amostra SU-297B, que apresenta teor bem mais elevado de albita (Ab20,3). Quanto aos teores de BaO, estes apresentam valores semelhantes no ortognaisse e são superiores no leucogranito BSO, aproximando-se de 1%.



Figuras 39 e 40 – Diagramas Or-Ab-An mostrando as variações composicionais dos plagioclásios e k-feldspatos respectivamente, para as amostras analisadas.

Símbolos: ■ SU-297B (ortognaisse BSO); ▼ SU-298A (ortognaisse BSO); ▲ SU-298CC1 (enclave CRN); ● SU-298CC2 (leucogranito BSO).

Tabela 4 – Análises químicas de anfibólio do leucogranito, ortognaisse BSO e enclave.

Amostra	Ortognaisse BSO								
	SU297B.1	SU297B.2	SU297B.3	SU297B.4	SU297B.5	SU297B.6	SU297B.7	SU297B.8	SU297B.9
SiO <sub>2</sub>	38,23	37,50	38,09	38,37	37,43	38,06	37,98	38,24	38,39
TiO <sub>2</sub>	0,98	0,97	0,85	0,92	0,92	0,98	0,92	0,62	0,94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,56	11,09	11,62	11,54	11,49	11,62	11,49	12,15	11,47
FeO	28,93	28,91	29,70	29,02	29,53	29,69	29,65	29,52	29,66
MnO	0,88	0,84	0,87	0,86	0,85	0,85	0,84	0,74	0,82
MgO	2,84	2,82	2,83	2,96	2,88	2,85	2,95	2,67	2,92
CaO	11,02	11,05	10,94	11,11	11,06	10,82	10,92	10,98	10,99
Na <sub>2</sub> O	1,03	1,28	1,21	1,32	1,40	1,50	1,32	1,26	1,41
K <sub>2</sub> O	1,98	1,92	1,96	1,99	2,01	2,16	2,00	1,98	2,02
Total	97,45	96,36	98,07	98,09	97,56	98,52	98,07	98,14	98,62

Número de ions na base de 23 átomos de oxigênio

TSi	6,103	6,082	6,053	6,102	6,003	6,048	6,043	6,069	6,082
TAl	1,897	1,918	1,947	1,898	1,997	1,952	1,957	1,931	1,918
Sum T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
CAI	0,277	0,201	0,228	0,263	0,173	0,222	0,196	0,340	0,221
CFe3	0,785	0,767	0,890	0,719	0,862	0,764	0,874	0,797	0,778
CTi	0,117	0,118	0,101	0,110	0,111	0,117	0,110	0,074	0,112
CMg	0,676	0,681	0,671	0,702	0,687	0,674	0,699	0,631	0,691
CFe2	3,078	3,155	3,052	3,140	3,098	3,166	3,064	3,109	3,145
CMN	0,066	0,078	0,058	0,066	0,068	0,057	0,057	0,049	0,055
Sum C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
BFe2	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,016	0,007	0,012	0,008
BMn	0,053	0,037	0,059	0,050	0,047	0,057	0,057	0,050	0,055
BCa	1,886	1,921	1,863	1,893	1,900	1,843	1,862	1,867	1,866
BNa	0,061	0,042	0,073	0,057	0,054	0,084	0,074	0,071	0,072
Sum B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
ANa	0,257	0,359	0,301	0,350	0,383	0,378	0,335	0,315	0,360
AK	0,404	0,397	0,398	0,403	0,411	0,437	0,405	0,402	0,408
Sum A	0,661	0,755	0,699	0,753	0,794	0,815	0,740	0,717	0,768
Sum cat	15,661	15,755	15,699	15,753	15,794	15,815	15,740	15,717	15,768
Fe Fe+Mg	0,820	0,822	0,820	0,817	0,818	0,824	0,814	0,831	0,820
Mg Mg+Fe	0,180	0,178	0,180	0,183	0,182	0,176	0,186	0,169	0,180

Tabela 4 – Continuação

Amostra	Ortognaisse BSO					Enclave		Leucogranito	
	SU298A.1	SU298A.2	SU298A.4	SU298A.5	SU298A.6	SU298CE.1	SU298CE.2	SU298CL.1	SU298CL.2
SiO <sub>2</sub>	35,59	36,36	38,17	36,53	36,96	40,01	39,91	39,85	39,93
TiO <sub>2</sub>	1,08	1,21	1,09	1,13	1,18	0,00	0,00	0,92	0,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,57	11,65	11,79	12,13	11,61	10,83	10,91	10,92	10,86
FeO	30,47	30,54	30,65	29,97	30,64	22,19	22,76	22,67	23,54
MnO	0,63	0,70	0,64	0,70	0,74	0,78	0,78	0,83	0,82
MgO	1,49	1,55	1,31	1,50	1,54	6,59	6,70	6,42	6,56
CaO	11,09	11,02	11,08	10,91	11,10	11,20	10,95	11,18	11,33
Na <sub>2</sub> O	0,86	1,20	1,00	0,99	1,24	1,28	1,34	1,37	1,36
K <sub>2</sub> O	1,81	1,86	1,82	1,84	1,86	1,83	1,70	1,82	1,77
Total	94,58	96,08	97,54	95,70	96,86	94,71	95,06	95,96	96,98

Número de ions na base de 23 átomos de oxigênio

TSi	5,917	5,965	6,146	5,987	6,015	6,377	6,324	6,295	6,240
TAl	2,083	2,035	1,854	2,013	1,985	1,623	1,676	1,705	1,760
Sum T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
CAI	0,182	0,215	0,381	0,329	0,240	0,410	0,361	0,325	0,238
CFe3	0,997	0,817	0,618	0,797	0,747	0,537	0,710	0,492	0,676
CTi	0,136	0,149	0,132	0,139	0,145	0,000	0,000	0,109	0,096
CMg	0,369	0,378	0,315	0,366	0,374	1,566	1,584	1,511	1,528
CFe2	3,240	3,372	3,508	3,311	3,423	2,421	2,293	2,502	2,401
CMN	0,077	0,069	0,046	0,058	0,071	0,066	0,052	0,061	0,061
Sum C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
BFe2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000
BMn	0,012	0,029	0,041	0,040	0,030	0,040	0,053	0,050	0,048
BCa	1,975	1,937	1,911	1,915	1,935	1,913	1,859	1,892	1,898
BNa	0,013	0,033	0,047	0,045	0,035	0,046	0,075	0,058	0,055
Sum B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Ana	0,263	0,349	0,264	0,269	0,357	0,349	0,337	0,360	0,357
AK	0,383	0,389	0,374	0,385	0,386	0,372	0,343	0,367	0,352
Sum A	0,647	0,738	0,638	0,654	0,743	0,721	0,681	0,728	0,709
Sum cat	15,647	15,738	15,638	15,654	15,743	15,721	15,681	15,728	15,709
Fe/Fe+MG	0,898	0,899	0,918	0,900	0,902	0,607	0,591	0,623	0,611
Mg/Mg+Fe	0,102	0,101	0,082	0,100	0,098	0,393	0,409	0,377	0,389

Tabela 5 – Análises químicas de biotita do leucogranito, ortogneisse BSO e enclave.

Amostra	Ortogneisse BSO											Enclave		Leucogranito		
	SU297B.1	SU297B.2	SU297B.3	SU297B.4	SU297B.5	SU297B.6	SU298A.1	SU298A.2	SU298A.3	SU298A.4	SU298A.5	SU298A.6	SU298CE.1	SU298CE.2	SU298CL.1	SU298CL.2
SiO <sub>2</sub>	35,07	35,27	35,39	35,41	35,40	35,53	33,33	33,36	33,22	33,75	33,56	33,46	36,80	36,64	36,51	36,53
TiO <sub>2</sub>	3,50	3,46	3,38	3,48	3,47	3,35	5,00	5,03	5,10	4,78	4,93	5,01	3,30	3,37	3,39	3,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,76	14,72	14,73	15,08	14,84	14,94	15,49	15,03	15,39	15,06	15,01	14,98	15,20	14,96	15,08	15,16
FeO	29,77	29,89	29,53	29,27	29,31	29,80	30,55	30,46	30,24	30,94	30,75	31,12	21,26	21,22	22,45	22,84
MgO	4,06	4,12	4,23	3,99	4,11	3,85	1,92	1,85	1,88	1,81	1,81	1,81	9,36	9,36	8,27	8,26
K <sub>2</sub> O	9,77	9,70	9,72	9,72	9,76	9,66	9,00	9,07	8,99	8,96	8,85	9,03	9,32	9,73	9,70	9,56
Total	96,92	97,16	96,98	96,96	96,89	97,13	95,30	94,80	94,81	95,30	94,90	95,42	95,24	95,29	95,39	95,44

Número de ions na base de 24 átomos de oxigênio

Si	5,816	5,832	5,851	5,845	5,853	5,865	5,648	5,688	5,654	5,724	5,712	5,683	5,913	5,905	5,911	5,916
Al <sup>IV</sup>	2,184	2,168	2,149	2,155	2,147	2,135	2,352	2,312	2,346	2,276	2,288	2,317	2,087	2,095	2,089	2,084
Al <sup>VI</sup>	0,699	0,698	0,719	0,775	0,743	0,769	0,739	0,706	0,738	0,732	0,720	0,679	0,790	0,745	0,786	0,808
Ti	0,436	0,430	0,420	0,432	0,431	0,415	0,638	0,645	0,653	0,610	0,631	0,640	0,399	0,408	0,412	0,374
Fe <sup>2</sup>	4,129	4,134	4,083	4,040	4,052	4,113	4,330	4,344	4,304	4,388	4,377	4,419	2,858	2,860	3,039	3,094
Mg	1,003	1,016	1,043	0,983	1,013	0,948	0,485	0,471	0,476	0,457	0,460	0,459	2,243	2,249	1,996	1,994
K	2,068	2,046	2,050	2,047	2,058	2,035	1,946	1,973	1,952	1,938	1,921	1,956	1,912	2,001	2,004	1,976
Cations	16,335	16,324	16,315	16,277	16,297	16,280	16,138	16,139	16,123	16,125	16,109	16,153	16,202	16,263	16,237	16,246
Fe/Fe+Mg	0,800	0,800	0,800	0,800	0,800	0,810	0,900	0,900	0,900	0,910	0,900	0,910	0,560	0,560	0,600	0,610
Mg/Fe+Mg	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,190	0,100	0,100	0,100	0,090	0,100	0,090	0,440	0,440	0,400	0,390



Tabela 6 – Análises químicas de plagioclásio do leucogranito, ortognaisse BSO e enclave.

Amostra	Ortognaisse BSO												
	SU297B.1	SU297B.2	SU297B.3	SU297B.4	SU297B.5	SU297B.6	SU297B.7	SU297B.8	SU298A.1	SU298A.2	SU298A.3	SU298A.4	SU298A.5
SiO <sub>2</sub>	63,61	64,14	63,32	63,43	63,81	63,62	63,73	64,02	63,08	63,29	63,02	63,27	63,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,29	22,17	22,28	22,39	22,27	21,94	21,95	22,33	22,32	22,22	22,21	22,21	22,47
FeO	0,10	0,03	0,10	0,13	0,09	0,09	0,10	0,02	0,11	0,10	0,10	0,37	0,22
CaO	4,85	4,80	5,09	4,95	4,83	4,81	4,75	4,80	5,18	4,99	5,14	5,36	5,37
Na <sub>2</sub> O	8,64	8,75	8,77	8,65	8,74	8,64	8,56	8,88	8,74	8,86	8,52	8,58	8,67
K <sub>2</sub> O	0,35	0,41	0,31	0,34	0,46	0,50	0,52	0,28	0,21	0,22	0,19	0,16	0,20
Total	99,84	100,29	99,86	99,88	100,20	99,61	99,60	100,34	99,63	99,68	99,18	99,95	99,94

Número de ions na base de 32 átomos de oxigênio

Si	11,28	11,32	11,24	11,25	11,28	11,31	11,33	11,29	11,22	11,25	11,25	11,23	11,19
Al	4,653	4,607	4,657	4,676	4,637	4,595	4,594	4,638	4,676	4,651	4,668	4,643	4,699
Fe <sup>2+</sup>	0,015	0,004	0,014	0,019	0,013	0,013	0,015	0,003	0,017	0,015	0,015	0,055	0,032
Ca	0,922	0,906	0,968	0,94	0,915	0,917	0,904	0,908	0,986	0,949	0,984	1,02	1,021
Na	2,971	2,992	3,018	2,974	2,995	2,977	2,951	3,035	3,016	3,054	2,948	2,952	2,986
K	0,079	0,092	0,07	0,076	0,104	0,114	0,117	0,064	0,047	0,051	0,043	0,035	0,045
Cátions	19,916	19,917	19,968	19,933	19,944	19,928	19,906	19,936	19,964	19,969	19,907	19,935	19,971
X	15,929	15,923	15,898	15,924	15,917	15,907	15,919	15,926	15,898	15,9	15,917	15,873	15,887
Z	3,987	3,994	4,07	4,009	4,027	4,021	3,987	4,01	4,066	4,069	3,99	4,062	4,084
Ab	74,80	75,00	74,40	74,50	74,60	74,30	74,30	75,70	74,50	75,30	74,20	73,70	73,70
Na	23,20	22,70	23,90	23,60	22,80	22,90	22,80	22,70	24,40	23,40	24,80	25,50	25,20
Or	2,00	2,30	1,70	1,90	2,60	2,80	2,90	1,60	1,20	1,30	1,10	0,90	1,10

Tabela 6 – Continuação

Amostra	Ortognaisse BSO							Enclave		Leucogranito			
	SU298A.6	SU298A.7	SU298A.8	SU298A.9	SU298A.10	SU298A.11	SU298A.12	SU298CE.1	SU298CE.2	SU298CL.1	SU298CL.2	SU298CL.3	SU298CL.4
SiO <sub>2</sub>	63,10	63,04	63,13	62,79	63,07	62,75	62,83	62,19	61,98	62,49	62,48	62,79	60,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,37	22,53	22,03	22,46	22,39	22,52	22,53	22,74	22,99	22,79	23,03	22,90	24,37
FeO	0,23	0,05	0,09	0,07	0,11	0,12	0,14	0,09	0,20	0,06	0,07	0,07	0,12
CaO	5,11	5,34	5,05	5,43	5,33	5,57	5,31	5,80	5,97	5,59	5,75	5,68	5,15
Na <sub>2</sub> O	8,76	8,74	8,47	8,66	8,72	8,71	8,63	8,28	7,96	8,36	8,42	8,22	8,09
K <sub>2</sub> O	0,20	0,15	0,18	0,13	0,14	0,13	0,15	0,17	0,20	0,23	0,16	0,20	0,29
Total	99,77	99,85	98,95	99,54	99,76	99,79	99,58	99,27	99,31	99,51	99,92	99,86	98,44

Número de íons na base de 32 átomos de oxigênio

Si	11,22	11,19	11,29	11,19	11,21	11,16	11,19	11,12	11,08	11,14	11,10	11,14	10,89
Al	4,683	4,71	4,637	4,711	4,686	4,717	4,722	4,787	4,839	4,784	4,816	4,786	5,172
Fe2	0,034	0,008	0,014	0,011	0,016	0,018	0,021	0,013	0,03	0,008	0,011	0,011	0,019
Ca	0,973	1,016	0,967	1,037	1,015	1,061	1,012	1,111	1,144	1,067	1,095	1,08	0,994
Na	3,02	3,01	2,936	2,99	3,006	3,003	2,978	2,87	2,757	2,887	2,9	2,829	2,827
K	0,044	0,033	0,04	0,03	0,031	0,029	0,034	0,039	0,046	0,052	0,037	0,046	0,066
Cations	19,969	19,969	19,879	19,964	19,962	19,989	19,952	19,937	19,895	19,934	19,956	19,895	19,965
X	15,898	15,902	15,922	15,896	15,894	15,878	15,907	15,904	15,918	15,92	15,913	15,929	16,059
Z	4,071	4,067	3,957	4,068	4,068	4,111	4,045	4,033	3,977	4,014	4,043	3,966	3,906
Ab	74,80	74,20	74,50	73,70	74,20	73,40	74,00	71,40	69,90	72,10	71,90	71,50	72,70
An	24,10	25,00	24,50	25,60	25,00	25,90	25,10	27,60	29,00	26,60	27,20	27,30	25,60
Or	1,10	0,80	1,00	0,70	0,80	0,70	0,80	1,00	1,20	1,30	0,90	1,20	1,70

Tabela 7 – Análises químicas de K-feldspato do leucogranito e ortognaisse BSO.

Amostra	Ortognaisse BSO						Leucogranito	
	SU297B.1	SU297B.2	SU297B.3	SU297B.4	SU297B.5	SU297B.6	SU298CL.1	SU298CL.2
SiO <sub>2</sub>	64,67	64,70	64,82	64,35	64,34	64,52	63,55	63,55
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,08	18,49	18,35	18,37	18,14	18,20	17,94	17,96
FeO	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,00	0,01
BaO	0,45	0,45	0,41	0,43	0,44	0,42	0,92	0,95
CaO	0,06	0,06	0,04	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00
Na <sub>2</sub> O	1,07	2,30	1,08	0,85	0,71	0,82	0,87	1,28
K <sub>2</sub> O	15,12	13,67	15,38	15,44	15,67	15,73	15,09	14,56
Total	99,45	99,67	100,10	99,47	99,33	99,70	98,38	98,32

Número de íons na base de 32 átomos de oxigênio

Si	12,015	11,948	11,979	11,969	11,996	11,987	11,987	11,979
Al	3,955	4,021	3,994	4,023	3,982	3,982	3,985	3,987
Fe <sup>2+</sup>	0,002	0,001	0,002	0,002	0,006	0,002	0	0,002
Ba	0,032	0,032	0,03	0,031	0,032	0,03	0,068	0,07
Ca	0,011	0,011	0,007	0,005	0	0,003	0,002	0
Na	0,384	0,823	0,388	0,305	0,256	0,296	0,318	0,468
K	3,585	3,221	3,626	3,664	3,728	3,729	3,63	3,502
Cations	20,016	20,089	20,056	20,03	20,032	20,059	20,058	20,078
X	15,97	15,969	15,973	15,992	15,978	15,969	15,972	15,966
Z	4,014	4,088	4,053	4,007	4,022	4,06	4,018	4,042
Ab	9,6	20,3	9,6	7,7	6,4	7,3	8,1	11,8
Na	0,3	0,3	0,2	0,1	0	0,1	0,1	0
Or	90,1	79,4	90,2	92,2	93,6	92,6	91,9	88,2

## 6.4 Geotermobarometria

Foram utilizados pares de anfibólio e plagioclásio coexistentes para calcular os limites de temperaturas de equilíbrio para estas duas fases através do *software* AX, aplicativo Hb-Pl, que utiliza as equações de Holland & Blundy (1994). As temperaturas e respectivas pressões – estas calculadas através da fórmula de Schmidt (1991) - para cada análise se encontram na tabela 8. Note-se que as temperaturas de duas análises da amostra SU-298A não foram fornecidas pelo programa.

Tabela 8 – Determinações geotermobarométricas para o leucogranito, ortogneisses BSO e enclave.

Amostra	Litologia	Pressão (kbar)	Temperatura (°C)
SU-297B.1	Ortognaisse BSO	7,51	754,42
SU-297B.2	Ortognaisse BSO	7,24	826,67
SU-297B.3	Ortognaisse BSO	7,55	795,24
SU-297B.4	Ortognaisse BSO	7,44	797,37
SU-297B.5	Ortognaisse BSO	7,51	858,80
SU-297B.6	Ortognaisse BSO	7,51	843,63
SU-297B.7	Ortognaisse BSO	7,43	818,86
SU-297B.8	Ortognaisse BSO	7,99	773,87
SU-297B.9	Ortognaisse BSO	7,35	820,53
SU-298A.2	Ortognaisse BSO	7,89	829,89
SU-298A.4	Ortognaisse BSO	7,78	732,45
SU-298A.5	Ortognaisse BSO	8,33	766,90
SU-298A.6	Ortognaisse BSO	7,75	819,72
SU-298CE.1	Enclave CRN	6,78	729,39
SU-298CE.2	Enclave CRN	6,83	743,26
SU-298CL.1	Leucogranito BSO	6,76	763,29
SU-298CL.2	Leucogranito BSO	6,64	792,21

Observa-se que o ortognaisse SU-297B apresenta a maior média de temperatura (809,93°C) para pressão média de 7,50 ( $\pm 0,6$  kbar). Os valores para o ortognaisse SU-

298A oscilam entre 732,45°C e 829,89°C, com uma média de 787,24°C para temperatura de equilíbrio do anfibólio e plagioclásio. Essas temperaturas correspondem a pressões de aproximadamente 7,94 ( $\pm 0,6$  kbar). O leucogranito mostra valores de temperatura mais baixos que aqueles encontrados para o ortognaisse, apresentando uma média de 777,75°C a pressão de 6,70 ( $\pm 0,6$  kbar). Quanto ao enclave estima-se uma média de 736,33°C para temperatura de equilíbrio.

## 7. CONCLUSÕES

Foram reconhecidas cinco unidades de mapeamento nas proximidades da cidade de Sumidouro, região serrana do Rio de Janeiro: Leucogranito e Ortognaisse Batólito Serra dos Órgãos (BSO), Ortognaisse e Leucognaisse Complexo Rio Negro (CRN) e diques de diabásio. As unidades do BSO estão encaixadas nos gnaisses do CRN. Os estudos petrográfico e geoquímico, bem como as análises de microsonda, possibilitaram uma melhor caracterização do Leucogranito Batólito Serra dos Órgãos.

O leucogranito é uma rocha de composição granítica, que varia de leucocrática a hololeucocrática, com índice de cor que não ultrapassa 10%. Na maioria dos casos essa rocha não apresenta qualquer orientação dos minerais máficos, mas algumas vezes observa-se uma fraca foliação de fluxo. Sua granulometria varia de fina a média, chegando à grossa em alguns casos, e sua textura é inequigranular, seriada a porfirítica, hipidiomórfica. Os minerais essenciais que constituem essa rocha são: quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita. Dentre os minerais acessórios tem-se hornblenda, titanita, apatita, zircão, allanita, granada e opacos (p. ex. magnetita). Epidoto, clorita e muscovita estão entre os minerais secundários.

Nesta monografia, os tipos litológicos ortognaisse e leucogranito foram individualizados por representarem fácies distintas do Batólito Serra dos Órgãos. O ortognaisse apresenta uma granulometria mais grossa, índice de cor mais elevado (~15%) e uma foliação descontínua está presente na maioria dos casos. Em ambas as rochas ocorre a intrusão de veios quartzo-feldspáticos de 5 a 10 cm de espessura.

A análise litogeoquímica mostra que as assinaturas geoquímicas do leucogranito e ortognaisse são semelhantes entre si (com teores de  $\text{SiO}_2$  mais elevados que as rochas do CRN) e ambas destoam da assinatura do ortognaisse CRN (com teores de  $\text{FeOT}$  e

MgO mais elevados). O leucogranito apresenta os maiores teores de Rb, ao passo que Sr e Zr são mais abundantes no ortognaisse BSO. Os teores de Ba são elevados em ambos em relação ao ortognaisse CRN.

Os diagramas de Harker mostram um empobrecimento em  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ , CaO, FeOT, MgO e  $P_2O_5$  no líquido durante a evolução magmática. Por outro lado,  $K_2O$  apresenta um *trend* positivo e MnO e  $Na_2O$  um padrão de dispersão. Esse comportamento sugere o fracionamento de plagioclásio, hornblenda, biotita, apatita e óxidos de Fe e Ti e possível não fracionamento de K-feldspato. Quanto aos elementos traço, observa-se o empobrecimento em Ba, Sr e Zr, o que pode indicar substituições na biotita e hornblenda (K por Ba), substituições no plagioclásio (Sr por Ca) e fracionamento de zircão. O *trend* positivo do Rb corrobora com a hipótese de não ter havido fracionamento de K-feldspato.

Os diagramas discriminantes das séries magmáticas mostram que tanto o leucogranito quanto o ortognaisse BSO pertencem à série cálcio-alcálica e cálcio-alcálica de alto K. Os diagramas classificatórios apresentam as amostras de leucogranito e ortognaisse predominantemente dentro do campo do granito, embora em alguns casos posicionam-se no campo do granodiorito. Essas rochas apresentam caráter ferroso e afinidade fracamente peraluminosa. Quanto às rochas do CRN, observa-se que uma das amostras do leucognaisse tem um comportamento semelhante ao das rochas do BSO, enquanto o ortognaisse é classificado quimicamente como diorito, pertencente à série cálcio-alcálica, com teores de  $SiO_2$  bem menores e apresentando afinidade metaluminosa.

No diagrama normalizado para ETR observa-se uma forte anomalia de Eu em todas as amostras de leucogranito e na maioria de ortognaisse, o que provavelmente está relacionado ao fracionamento de feldspato durante a evolução magmática. O diagrama

discriminante para ambiente tectônico de Batchelor & Bowden (1985) mostra o leucogranito e o ortognaisse BSO dentro do campo de ambiente sin a tardi-colisional, com um *trend* em direção ao campo pós-orogênico. Além disso, os diagramas de Pearce *et al.* (1984) mostram um *trend* em direção a ambiente intraplaca, com enriquecimento em Y e Nb. Esses *trends* composicionais em direção a termos mais evoluídos apontam para possível fusão de crosta mais madura na formação das rochas do BSO.

As análises de microsonda mostram que os anfibólios e biotitas do leucogranito possuem maiores valores de Mg# em relação àqueles observados nos ortognaisses BSO para as mesmas fases minerais, indicando que o leucogranito foi gerado a partir de magma cristalizado sob condições menos redutoras que o do ortognaisse. A proporção de magnetita observada no leucogranito BSO indica que possivelmente ocorreu mudança na fugacidade de oxigênio em fase final de cristalização do magma ou, mais provável, em condições de subsolidus. Os anfibólios dos ortognaisses BSO foram classificados como hastingsita e aqueles analisados na amostra SU-298C, tanto no leucogranito quanto no enclave, foram classificados como hornblenda hastingsítica magnesianana.

A classificação da biotita foi separada em três grupos distintos pelo Fe#, que representam cada uma das amostras. Os ortognaisses foram separados em grupos distintos, porém ambos caem em um campo próximo ao vértice da annita, enquanto as amostras de leucogranito e enclave se posicionam num campo intermediário entre os membros finais flogopita e annita.

A composição dos plagioclásios oscila entre Ab<sub>69,9</sub>An<sub>29</sub>Or<sub>1,2</sub> e Ab<sub>75,7</sub>An<sub>22,7</sub>Or<sub>1,6</sub> e todos foram classificados como oligoclásio cálcico. Os K-feldspatos apresentam composição similar em todas as análises (variando de Or<sub>88,2</sub> a



Or<sub>93,6</sub>), à exceção de uma análise do ortognaisse SU-297B, com teores mais elevados de albita (Ab<sub>20,3</sub>).

As temperaturas de equilíbrio para as fases minerais anfibólio e plagioclásio foram obtidas a partir da calibração de Holland & Blundy (1994). O leucogranito apresenta uma média de temperatura de 777,75°C para pressões de cerca de 6,70 ( $\pm 0,6$  kbar). Valores de pressão desta ordem remetem a profundidades de cerca de 20 Km para o posicionamento do corpo ígneo na crosta terrestre.

Para o ortognaisse foram obtidas médias de temperatura superiores à do leucogranito: 809,93°C e 787,24°C, respectivamente para as amostras SU-297B e SU-298A. Esses valores são correspondentes a pressões de 7,50 ( $\pm 0,6$  kbar) e 7,94 ( $\pm 0,6$  kbar) respectivamente.

O enclave tonalítico pertencente ao CRN apresenta os menores valores de temperatura, com média de 736,33°C. Temperatura desta ordem não deve representar o equilíbrio das fases minerais durante a cristalização primária e sim, provavelmente, um re-equilíbrio metamórfico sofrido pelas rochas do CRN durante o episódio de metamorfismo de alto grau ao qual elas foram submetidas.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7, 349-364.

ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A., 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17, 1-29.

BARBOSA A.L.M. & GROSSI SAD J.H. 1985. Batólito granítico da Serra dos Órgãos, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Contribuições à Geologia e a Petrologia, Núcleo de Minas Gerais – SBGM 1985*, pp. 49-61.

BATCHELOR, R.A. & BOWDEN, P. 1985. Petrogenetic interpretations of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48: 43-55.

BOYNTON, W.V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth element: meteorite studies. In: HENDERSON, P. ed. *Rare Earth Element Geochemistry* Amsterdam. Elsevier, p. 63-114.

COX, K.G., BELL, J.D., PANKHURST, R.J. 1979. *The interpretation of igneous rocks*. Unwin Hyman Ltd., London. 450p.

DE LA ROCHE, H., LETERRIER, J., GRANDCLAUDE, P., MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using  $R_1R_2$ -diagram and major-elements analyses – Its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29: 183-210.

FATAH, T.Y.A. 2011. Petrografia e geoquímica das rochas do Complexo Rio Negro aflorantes na região de Sumidouro – RJ. Curso de Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, UFRJ. Trabalho de Conclusão de Curso. 30 p.

FROST B.R., BARNES C.G., COLLINS W.J., ARCULUS R.J., ELLIS D.J., Frost C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42(11): 2033-2048.

HARKER, A. 1909. *The natural history of igneous rocks*. London, Methuen, 384 p.

HEILBRON, M., DUARTE, B.P., VALERIANO, C.M., SIMONETTI, A., MACHADO, N., NOGUEIRA, J.R. 2010. Evolution of reworked Paleoproterozoic basement rocks within the Ribeira belt (Neoproterozoic), SE-Brazil, based on U-Pb geochronology: Implications for paleogeographic reconstructions of the São Francisco-Congo paleocontinent. *Precambrian Research*, 178: 136-148.

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

HEILBRON, M., PEDROSA-SOARES, A.C., CAMPOS NETO, M., SILVA, L.C., TROUW, R.A.J., JANASI, V.C., 2004. A Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto,

V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Eds.), O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, XIII, pp. 203–234.

HEILBRON M., VALERIANO C., VALLADARES C.S., MACHADO N. 1995. A orogênese brasileira no segmento central da Faixa Ribeira, Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, 25(4): 249-266.

HOLLAND, T.J.B., BLUNDY, J.D. 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 116, p. 433-447.

IRVINE T.N. & BARAGAR W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of earth sciences*, 8(5): 523-548.

LEAKE, B.E. 1971. On aluminous and edenitic hornblendes. *Mineralogical Magazine*, 38(296): 389-407.

MENDES, J.C., JUNHO M.B., GHIZI A. 2004. Diorites and hornblendite enclaves at Sumidouro, RJ, Central Ribeira Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(1): 79-86.

MENDES, J.C., MEDEIROS, S.R., CHAVES, E.A. 2011. Assinatura isotópica de Sr e Nd do magmatismo cálcio-alcalino de alto-K na Faixa Ribeira central: o exemplo do Granito São Pedro em Lumiar, RJ. *Revista Brasileira de Geociências*, 41(3): 408-419.

MENDES, J.C., TEIXEIRA, P.D., MATOS, G.C., LUDKA, I.P., MEDEIROS, F.F.F., ÁVILA, C.A. 2007. Geoquímica e geocronologia do granitóide Barra Alegre, faixa móvel Ribeira, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(1): 101-113.

PEARCE, J. A.; HARRIS, B.W. & TINDLE, A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4): 956-983.

PECCERILLO A. & TAYLOR S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58: 63-81.

RICHARD, L.L. 1995. MINPET Geological Software – mineralogical and petrological data processing system.

SANTOS, I.N. 2011. Petrografia e geoquímica das rochas do Batólito Serra dos Órgãos na região de Sumidouro – RJ. Curso de Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, UFRJ. Trabalho de Conclusão de Curso. 56 p.

SCHMIDT, M.W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contribution to Mineral Petrology*, 110: 304-310.

SCHMITT, R.S. 2001. A orogenia Búzios – caracterização de um evento tectonometamórfico no Domínio Tectônico Cabo Frio – sudeste da Faixa Ribeira. Curso

de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, UFRJ. Tese de Doutorado. 271 p.

SCHMITT, R.S., TROUW, R.A.J., VAN SCHMUS, W.R., PIMENTEL, M.M. 2004. Late amalgamation in the central part of Western Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collision orogeny in the Ribeira belt (SE Brazil). *Precambrian Research*, **133**: 29–61.

STRECKEISEN, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, **12**: 1-33.

TROUW, R.A.J., HEILBRON, M., RIBEIRO, A., PACIULLO, F.V.P., VALERIANO, C.M., ALMEIDA, J.C.H., TUPINAMBÁ, M., ANDREIS, R.R., 2000. The central segment of the Ribeira Belt. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*, pp. 287–310.

TUPINAMBÁ, M., 1999. Evolução tectônica e magmática da Faixa Ribeira na região da Serra dos Órgãos. Tese de Doutorado (unpublished), Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, São Paulo, 186 p.

TUPINAMBÁ, M., HEILBRON, M., DUARTE, B.P., NOGUEIRA, J.R., VALLADARES, C., ALMEIDA, J.C.H., EIRADO-SILVA, L.G.E., MEDEIROS, S.R., ALMEIDA, C.G., MIRANDA, A., RAGATKY, C.D., MENDES, J.C., LUDKA, I., 2007. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: Estado da Arte e Conexões com a Faixa Araçuaí. *Geonomos*, **15**: 67–79.

TUPINAMBÁ, M., HEILBRON, M., VALERIANO, C., PORTO JÚNIOR, R., DE DIOS, F.B., MACHADO, M., EIRADO-SILVA, L.G., ALMEIDA, J.C.H. 2011. Juvenile Contribution of the Neoproterozoic Rio Negro Magmatic Arc (Ribeira Belt, Brazil): Implications for Western Gondwana amalgamation. *Gondwana Research*, 17 p.

WHITNEY, D.L., EVANS, B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, **95**: 185-187.

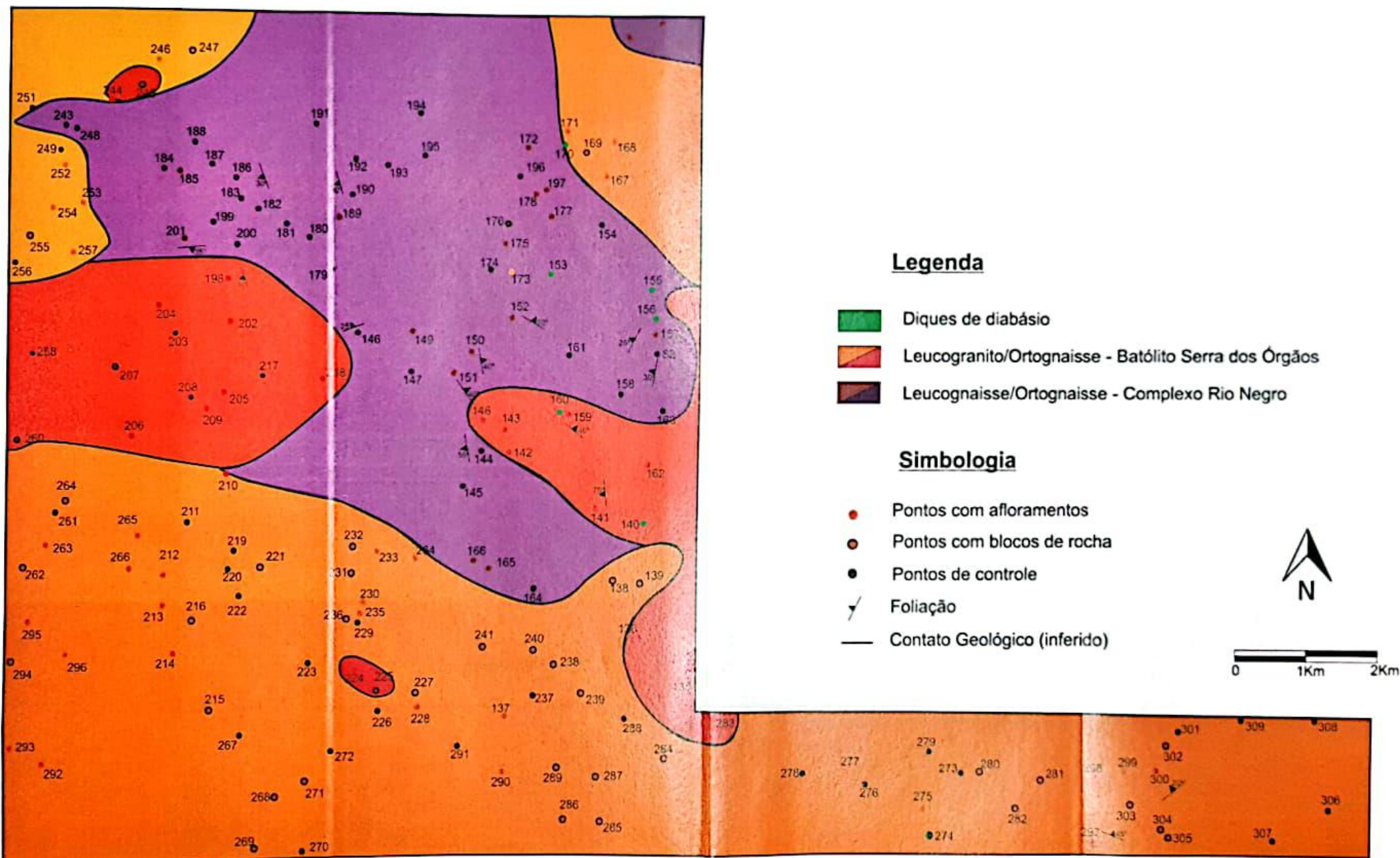
Google Maps: <http://maps.google.com.br>

Wikipedia: [pt.wikipedia.org/wiki/Sumidouro\\_\(Rio\\_de\\_Janeiro\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Sumidouro_(Rio_de_Janeiro))

Carta topográfica Duas Barras, 1:50.000 (SF-23-Z-B-II-2). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm>

Carta topográfica Anta, 1:50.000 (SF-23-Z-B-II-1). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtm>

# Anexo 1 - Mapa de Pontos 1:50.000 - Região de Sumidouro - RJ



# Anexo 2 - Mapa Geológico 1:50000 - Região de Sumidouro - RJ

