

Pedro Douglas da Silva

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO ORTOGNAISSE SERRA DA
CANGALHA, SUL DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2009



UFRJ

Pedro Douglas da Silva

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO ORTOGNAISSE SERRA DA
CANGALHA, SUL DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho de Conclusão de Curso

(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2009



UFRJ

Pedro Douglas da Silva

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO ORTOGNAISSE SERRA DA CANGALHA,
SUL DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho de Conclusão 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 Bacharel em Geologia.

Orientador(es):

Júlio Cezar Mendes (UFRJ)

Sílvia Regina de Medeiros (UERJ)

Rio de Janeiro

Janeiro de 2009

Silva, Pedro Douglas

Caracterização Geoquímica do Ortognaisse Serra da Cangalha, Sul do Espírito Santo/ Pedro Douglas da Silva - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2009.

xi, 47 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, ano.

Orientador(es): Júlio Cezar Mendes, Sílvia Regina de Medeiros

1. Geologia. 2. Setor da Graduação – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Júlio Cezar Mendes (UFRJ). II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Título.

Pedro Douglas da Silva

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO ORTOGNAISSE SERRA DA CANGALHA,
SUL DO ESPÍRITO SANTO

Trabalho de Conclusão 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 Bacharel em Geologia.

Orientador(es):

Júlio Cezar Mendes (UFRJ)
Sílvia Regina de Medeiros (UERJ)

Aprovada em: 22 de Janeiro de 2009

Por:

Orientador: Júlio Cezar Mendes (UFRJ)

Orientadora: Sílvia Regina de Medeiros (UERJ)

Cícera Neysi de Almeida (UFRJ)

Isabel Ludka (UFRJ)

UFRJ
Rio de Janeiro
2009

Aos meus pais, Geraldo e Fátima.

Agradecimentos

A minha família pelo apoio permanente e incondicional.

Aos meus Orientadores Júlio Cezar Mendes e Sílvia Regina de Medeiros, pela atenção, dedicação e esclarecimentos.

Ao CNPq pelo suporte financeiro durante o desenvolvimento do projeto.

A todos os amigos, em especial a Priscila de Souza Santos, e a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Resumo

SILVA, Pedro Douglas. **Caracterização Geoquímica do Ortognaisse Serra da Cangalha, Sul do Espírito Santo**. 2009. xi, 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A área deste trabalho situa-se no limite dos estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo, entre os municípios de São José do Calçado e Guaçuí. A região insere-se na zona de contato entre rochas granulíticas paleoproterozóicas do complexo Juiz de Fora pertencente ao Terreno Ocidental da Faixa Ribeira e gnaisses para e ortoderivados, provavelmente relacionados ao Domínio Costeiro do Terreno Oriental, e metamorfizados em fácies anfibolito alto a granulito. Na área de trabalho foram definidas quatro unidades de mapeamento: hornblenda-biotita ortognaisse, granada-biotita paragnaisse, granulito e charnockito. A disposição desses litotipos no campo resulta em faixas de ortognaisse e paragnaisse intercaladas orientadas segundo NE-SW. O principal foco desta monografia é a caracterização petrográfica e geoquímica do hornblenda-biotita ortognaisse, denominado Ortognaisse Serra da Cangalha. Esta rocha apresenta granulometria média, índice de cor leucocrático e está localmente migmatizado, com estrutura predominantemente estromática. Aspectos petrográficos apontam composição monzogranítica e um padrão textural inequigranular seriado xenomórfico a hipidiomórfico. Mineralogicamente compõem-se de quartzo, ortoclásio pertítico, plagioclásio, biotita, hornblenda e clinopiroxênio (essenciais), minerais opacos, titanita, zircão, apatita (acessórios) e muscovita, calcita e clorita (secundários). As análises químicas revelam uma assinatura cálcio-alcálica de alto K, com *trend* metaluminoso e composição predominantemente granodiorítica a granítica. O enriquecimento em álcalis da seqüência é evidenciado pelo posicionamento das amostras nos diagramas TAS e de Harker. Estudos integrados de padrões de ETR, diagramas de variação e razões $(La/Yb)_N$ indicam um caráter cogenético para as amostras do Ortognaisse Serra da Cangalha e a sua assinatura geoquímica e mineralogia apontam para provável elevada temperatura de cristalização do protólito. Uma amostra de ortognaisse com característica petrográfica e geoquímica totalmente distinta da seqüência, e idade paleoproterozóica, é interpretada como pertencente a uma outra suíte. A geoquímica para o granulito e charnockitos evidencia um enriquecimento nos elementos cálcicos e ausência de anomalias de elementos traços, o que os separa claramente dos ortognaisses.

Palavras-chave: Faixa Ribeira; ortognaisses; geoquímica

Abstract

SILVA, Pedro Douglas. **Characterization Geochemistry of the Ortognaisse Saws of the Cangalha, South of the Espírito Santo**. 2009. xi, 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

This work was developed in an area between the cities of São José do Calçado and Guaçuí, close to the boundary of Rio de Janeiro and Espírito Santo State. In this region, paleoproterozoic granulites of the Juiz de Fora Complex are in contact with high amphibolite facies ortho and paragneiss of the Costeiro Domain. Four mapping units were recognized: hornblende-biotite orthogneiss, garnet-biotite paragneiss, granulite and charnockite. The geological map reveals NE-SW belts of orthogneiss inserted with paragneiss. The main focus of this monograph is the petrographic and geochemical characterization of the hornblende-biotite orthogneiss, named Serra da Cangalha Orthogneiss. This medium grained rock is leucocratic and locally shows a stromatic migmatized structure. It presents monzogranitic composition and hypidiomorphic to xenomorphic inequigranular seriate texture. The mineralogy is made up by quartz, perthitic orthoclase, plagioclase, biotite, hornblende and clinopiroxene as essential phases, while opaque minerals, titanite, zircon, apatite, muscovite, calcite and chlorite are accessories and alteration minerals. Geochemical results point to a high-K calc-alkaline and metaluminous nature for the granodioritic to granitic in composition orthogneiss. The alkali enriched character of the rocks is demonstrated by using TAS and Harker diagrams. An overview on the REE pattern together with variation diagrams behaviour and $(La/Yb)_N$ ratios strong suggest cogenetic nature for the Serra da Cangalha Orthogneiss studied samples. The mineralogical composition and geochemical signature of these rocks is probably consonant with high crystallization temperature for the protolith. One orthogneiss sample showing quite distinct petrography and geochemistry and paleoproterozoic age, is here interpreted as belonging to another suite. The chemical analysis of the granulite and charnockites are clearly different from those of the orthogneisses. The former are marked by the enrichment in cafermic elements and absence for trace elements anomalies.

Keywords: Central Ribeira belt; orthogneiss; geochemistry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área (DNIT, 2002).	3
Figura 2 – Metodologia de Trabalho: Britador de Mandíbulas.	5
Figura 3 - Metodologia de Trabalho: Quarteador.	5
Figura 4 – Metodologia de Trabalho: Moinho de Panela de Tungstênio.	5
Figura 5 - Mapa Geológico da região estudada.	8
Figura 6 - Mapa da compartimentação tectônica da região sudeste brasileira, modificado de Heilbron <i>et al.</i> 2004.	11
Figura 7a - Aspectos Gerais do Ortognaisse Serra da Cangalha.	12
Figura 7b - Aspectos Gerais do Ortognaisse Serra da Cangalha.	12
Figura 8 - Ortognaisse migmatítico com estrutura estromática dobrada.	13
Figura 9 - Ortognaisse migmatítico com estrutura schöelen.	13
Figura 10 – Textura inequigranular seriada do Ortognaisse Serra da Cangalha.	14
Figura 11 - Porfiroclasto de hornblenda girado, associado a minerais opacos, apatita e Cpx.	15
Figura 12 - Textura de desequilíbrio mineral, com substituição de piroxênio por hornblenda e desta para biotita.	16
Figura 13 - Fitas de quartzo policristalino paralelas à foliação do ortognaisse.	16
Figura 14 - Agregado máfico no granulito mostrando coexistência de Opx e Cpx.	18
Figura 15 - Classificação do protólito ígneo plutônico, segundo Streckeisen (1976).	19
Figura 16 – Diagrama de Classificação para rochas plutônicas TAS.	24
Figura 17 – Diagrama de Classificação R1-R2 (De La Roche et al).	25
Figura 18 – Diagrama de Classificação P-Q (Debon & Le Fort)	26
Figura 19 - Diagramas de Harker dos elementos maiores para todo o conjunto de rochas analisadas.	28
Figura 20 - Diagramas de Harker dos elementos menores para todo o conjunto de rochas analisadas.	29
Figura 21 - Diagramas de Harker dos elementos traços para todo o conjunto	

de rochas analisadas.	30
Figura 22 – Diagrama AFM.	31
Figura 23 – Diagrama de Série Magmática.	32
Figura 24 – Diagrama de Frost <i>et al.</i>	33
Figura 25 - Diagrama A/CNK x A/NK.	33
Figura 26a - Diagramas de ETR, normalizados pelo condrito de Boynton (1984), com anomalias positivas de Eu.	35
Figura 26b - Diagramas de ETR, normalizados pelo condrito de Boynton (1984), com anomalias negativas de Eu.	35
Figura 26c - Diagramas de ETR para o Granulito e Charnockito, normalizados pelo condrito de Boynton (1984).	36
Figura 27 – Diagrama multielementar normalizado para o Morb (Pearce, 1983).	37
Figura 28a – Diagrama de Variação com K ₂ O como índice de diferenciação.	39
Figura 28b – Diagrama de Variação com Rb como índice de diferenciação.	40
Figura 28c – Diagrama de Variação como Ba como índice de diferenciação.	41
Figura 29 – Diagramas Tectono Magmáticos.	42

SUMÁRIO

Agradecimentos	vi
Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de figuras	ix
I. INTRODUÇÃO, OBJETIVOS, LOCALIZAÇÃO E METODOLOGIA	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Localização da área	2
1.4 Aspectos Fisiográficos	3
1.5 Material e Métodos	4
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Introdução	7
2.2 Evolução Geológica da Faixa Ribeira Central	9
III. GEOLOGIA LOCAL E UNIDADES MAPEADAS	12
IV. RESULTADOS	20
4.1 Introdução	20
4.2 Classificação Geoquímica	23
4.3 Caracterização do Magmatismo	27
V. CONCLUSÕES	43
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

I. INTRODUÇÃO, OBJETIVOS DA PESQUISA, LOCALIZAÇÃO E METODOLOGIA DE TRABALHO

1.1 - Introdução

A presente monografia é o resultado de estudos desenvolvidos pelo aluno Pedro Douglas da Silva, sob orientação do professor Julio Cezar Mendes do Departamento de Geologia da UFRJ e da professora Sílvia Regina de Medeiros da Faculdade de Geologia da UERJ, visando o cumprimento das exigências para a conclusão do curso de graduação em Geologia da UFRJ. A pesquisa realizada está inserida no contexto de projeto de pesquisa do orientador, que foi financiado por recursos oriundos de Edital Universal do CNPq.

O projeto considerado prevê a obtenção de dados de campo, petrográficos, geoquímicos e isotópicos de vários corpos gnássicos ortoderivados dos estados do RJ e ES, possibilitando assim estudos relativos à sua evolução magmática-metamórfica e uma ampla comparação entre eles. Sendo assim, esta monografia focaliza um ortognaisse localizado no limite entre Espírito Santo e Rio de Janeiro, aqui denominado Ortognaisse Serra da Cangalha, procurando contribuir para a compreensão da sua evolução geológica através da interpretação de dados petrográficos e geoquímicos, que também foram obtidos para litotipos adjacentes. Estudos anteriormente realizados na área, no âmbito do Projeto Pronageo da CPRM (Folha Espera Feliz - Horn, 2006), apontam para o Ortognaisse Serra da Cangalha caráter leucocrático, contatos transicionais com as rochas encaixantes, riqueza em enclaves xenolíticos e provável cogeneticidade com um corpo ortognássico de maior expressão na região, denominado de Granitognaisse Estrela. A pesquisa aqui desenvolvida traz novos dados que permitem reinterpretar este litotipo à luz de sua assinatura geoquímica.

1.2 - Objetivos

O objetivo do presente trabalho é a caracterização petrográfica e tratamento e interpretação geoquímica de dezessete amostras, sendo quatorze ortognaises, dois charnockitos e um granulito, visando o entendimento da evolução do Ortognaisse Serra da

Cangalha. A partir de dados de elementos maiores e traços, incluindo ETR, objetiva-se: caracterizar as rochas estudadas quanto a sua assinatura geoquímica, obtendo-se a classificação a partir de diagramas apropriados, a série magmática preponderante, mecanismos de diferenciação mais prováveis e ambiente tectônico em que estão associadas, apontando, se possível, características da fonte.

1.3 – Localização da área

As rochas coletadas para este trabalho afloram no limite dos Estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, propriamente situadas na porção oriental da região Serrana do Estado do Espírito Santo, entre os municípios de São José do Calçado e Guaçuí (figura 1). O melhor acesso a esses municípios, saindo do Rio de Janeiro, é pela BR 116 (Rio – Teresópolis), que corta os municípios de Magé e Guapimirim, por exemplo. Depois de Teresópolis, segue-se pela RJ 186, trafegando pelos municípios de Além Paraíba, Itaperuna, Santo Antônio de Pádua e Bom Jesus de Itabapoana, de onde se atinge a área de trabalho pela rodovia ES- 393.



Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: Departamento Nacional de Infra – Estrutura de Transportes (DNIT, 2002).

1.4 – Aspectos Fisiográficos

Os aspectos fisiográficos da área indicam relevo bastante acidentado, modelado em rochas cristalinas, com destaque para a Serra das Cangalhas, ou Serra de Santa Catarina, no limite sudeste do município de Guaraci. A altitude oscila entre 600 e 1.000 metros, cota alcançada na porção ocidental. O solo predominante é classificado como latosolo vermelho-amarelo, com fertilidade de média a baixa, em terrenos relativamente baixos e pH em torno de 4,5 e 5,0. O clima é tropical ameno, típico das regiões serranas do Espírito Santo. O inverno é seco, de certa forma rigoroso, influenciado pela altitude da região. A temperatura média anual é de cerca de 20°C (Wikipédia, 2008).

Na região de estudo os gnaisses se dispõem de formas diferentes no campo. O paragnaisse constitui-se de topografia mais suave, mais comumente encontrado em regiões colinosas altamente erodidas, apresenta solos ocres e blocos menores e angulosos enquanto que o ortognaisse topograficamente em regiões muito íngremes, formando solos muito avermelhados e blocos ou matacões arredondados.

1.5 – Material e Métodos

Este trabalho teve início em Janeiro de 2008, quando foram estabelecidas algumas etapas de trabalho, descritas abaixo, começando pelos métodos convencionais de pesquisa, ou seja, apoio bibliográfico e o estudo dos principais conceitos teóricos aplicados à geoquímica. As atividades realizadas incluíram: preparação de amostras para análises químicas, tratamento dos dados geoquímicos, interpretação e integração de dados e redação do Trabalho Final de Curso.

A metodologia de trabalho consistiu em 5 etapas: (1) Pesquisa Bibliográfica, (2) Preparação das amostras, (3) Geoquímica de rochas, (4) Tratamento dos dados e (5) Interpretação geológica dos dados e obtenção de resultados. Posteriormente ao mapeamento, amostragem e petrografia foram iniciados os procedimentos para a análise química.

A primeira etapa baseou-se numa extensa pesquisa bibliográfica, onde houve a obtenção dos dados sobre a geologia regional e contexto geotectônico, com a finalidade de aprofundar os conhecimentos acerca dos eventos geológicos, tectônicos, geoquímicos e geocronológicos referentes à área em questão.

Na segunda etapa as amostras coletadas foram preparadas no Laboratório de Preparação de Amostras do Depto. de Geologia da UFRJ, onde foram cumpridos três estágios. O primeiro foi a obtenção da brita das amostras em britador de mandíbula, que é precedida de lavagem e retirada de eventuais capas de alteração (figura 2). No segundo as britas foram lavadas e triadas e para posteriormente quarteadas em um quarteador com abertura apropriada (figura 3). Em seguida, no terceiro estágio, o material quarteado foi moído em peneira de tungstênio Siebtechnik, onde a granulometria deve atingir frações menores que 200 mesh após 1,5 minutos de moagem (figura 4).

Na terceira etapa foram analisadas quimicamente rochas gnáissicas e granulíticas relacionadas provavelmente ao Domínio Costeiro do Terreno Oriental da Faixa Ribeira e ao Complexo Juiz de Fora, respectivamente. As análises foram realizadas por espectrometria por fluorescência de raios-X, que determina a concentração de elementos maiores e menores na forma de óxidos e a concentração de elementos traço em ppm (partes por milhão) e por ICP-MS, para a determinação de elementos traço, particularmente ETR. As determinações por FRX foram efetuadas no Laboratório de Fluorescência de Raios-X do Departamento de

Geologia da UFRJ, utilizando-se o espectrômetro Philips PW2400, e as análises por ICP foram efetuadas no Acme Analytical Laboratories Ltd, no Canadá.



Figura 2: Britador de Mandíbulas. Figura 3: Quarteador. Figura 4: Moinho de panela de Tungstênio.

As análises por fluorescência de raios-X

O método de espectrometria por fluorescência de raio-X se baseia na excitação atômica dos componentes da amostra através da emissão de um feixe de raios-X, que gera nos elementos uma gama variada de outros raios-X com diversos comprimentos de onda (fluorescência). A intensidade da fluorescência de cada elemento é analisada como uma assinatura espectral que permite discriminá-los. As limitações do método concentram-se nas dificuldades para detecção de elementos mais leves que o Na ($Z = 11$) e os ETR. Uma síntese sobre o método e suas aplicações pode ser lida em Rollinson (1993).

As condições analíticas dessas análises foram: a perda ao fogo foi obtida através da obtenção do peso da amostra antes e depois da mesma ser levada a 950°C por meia hora. Os elementos maiores foram detectados a partir da fusão de 1,2 g de pó do material com tetraborato de lítio. Os elementos traços foram determinados em 7g do pó da amostra, prensada com 1g de aglutinante wax. O equipamento utilizado foi o Philips PW2400 com tubo de Rh e os elementos leves foram dosados com as seguintes condições: detector de fluxo, cristal analisador PET/Ge e potência do tubo 40 kV - 70 mA. Os elementos pesados foram detectados com detector selado, cristais analisadores LIF200/LIF220 e potência do tubo 50 kV - 50 mA. Com base em análises de padrões, o erro analítico relativo estimado é: Si, Al (<1%), Fe, Mg, Ca (1-2%), Ti, Na, K (3-5%), P e outros elementos traços (δ 6%). As curvas de

calibração foram obtidas a partir da análise dos seguintes padrões internacionais: NIM-P, 521-84n, GBW07112, GIT-IWG, ANRT, BE-N GIT, PM-S GIT, CRPG BR, AN-G GIT, GBW07104, GBW07110, GBW07111, AC-E, GS-N, MA-N, CRPG GH.

Na quarta etapa os dados químicos obtidos foram tratados com o aplicativo Geochemical Data Toolkit (GCDkit ©1999-2007), versão 2.2 para sistema Windows®, desenvolvido em linguagem R. Neste aplicativo foram confeccionados os diagramas classificatórios para rochas plutônicas, os de caracterização magmática e os discriminatórios de ambiente tectônico.

A última etapa caracterizou-se pela interpretação dos dados obtidos e integração dos resultados petrográficos e geoquímicos, que forneceram subsídios necessários para se alcançar os objetivos propostos, contribuindo assim para o entendimento da evolução geológica e geoquímica da região alvo.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Introdução

As unidades litológicas da região noroeste do Estado do Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo estão situadas no segmento Setentrional da Faixa Ribeira. A área de estudo está geotectonicamente inserida no contexto da Faixa Móvel Ribeira, Província Mantiqueira, formada a partir da aglutinação do megacontinente Gondwana Ocidental, no final do Neoproterozóico por ação da Orogenia Brasileiro – Panafricano, cujo período colisional (diacrónico) entre o Cráton de São Francisco e Congo Ocidental se situa no intervalo 630 – 560 Ma.

As rochas estudadas no presente trabalho derivam de um pretérito mapeamento geológico, que culminou na amostragem de material aflorante na área pertencente aos limites dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, onde se encontra a zona de contato entre rochas granulíticas Paleoproterozóicas do complexo Juiz de Fora e gnaisses provavelmente pertencentes ao Domínio Costeiro do Terreno Oriental, de idade ainda incerta. Durante o desenvolvimento do evento Brasileiro, vários corpos ígneos se colocaram na crosta aí existente. As rochas componentes desses corpos mostram comportamento químico-mineral variado como também foram afetadas em graus diferentes pelos efeitos da compressão e de movimentos transcorrentes ocorridos durante este evento.

A área focalizada nesta monografia compõe-se de rochas metamorfisadas em fácies anfibolito alto a granulito que sofreram intensa compressão e deformação durante a orogênese brasileira assim como também pela atuação de expressiva zona de cisalhamento dextral, a ZC de Guaçuí, localizada a cerca de 10 km a oeste da área em questão. Por tal motivo, no campo e no mapa, as litologias se encontram dispostas de forma intercalada (figura 5), formando faixas mais ou menos contínuas com orientação NE – SW, sugerindo a existência de um padrão de dobras com foliação plano axial, que resultou nos contatos inferidos observados no mapa geológico apresentado.

MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA

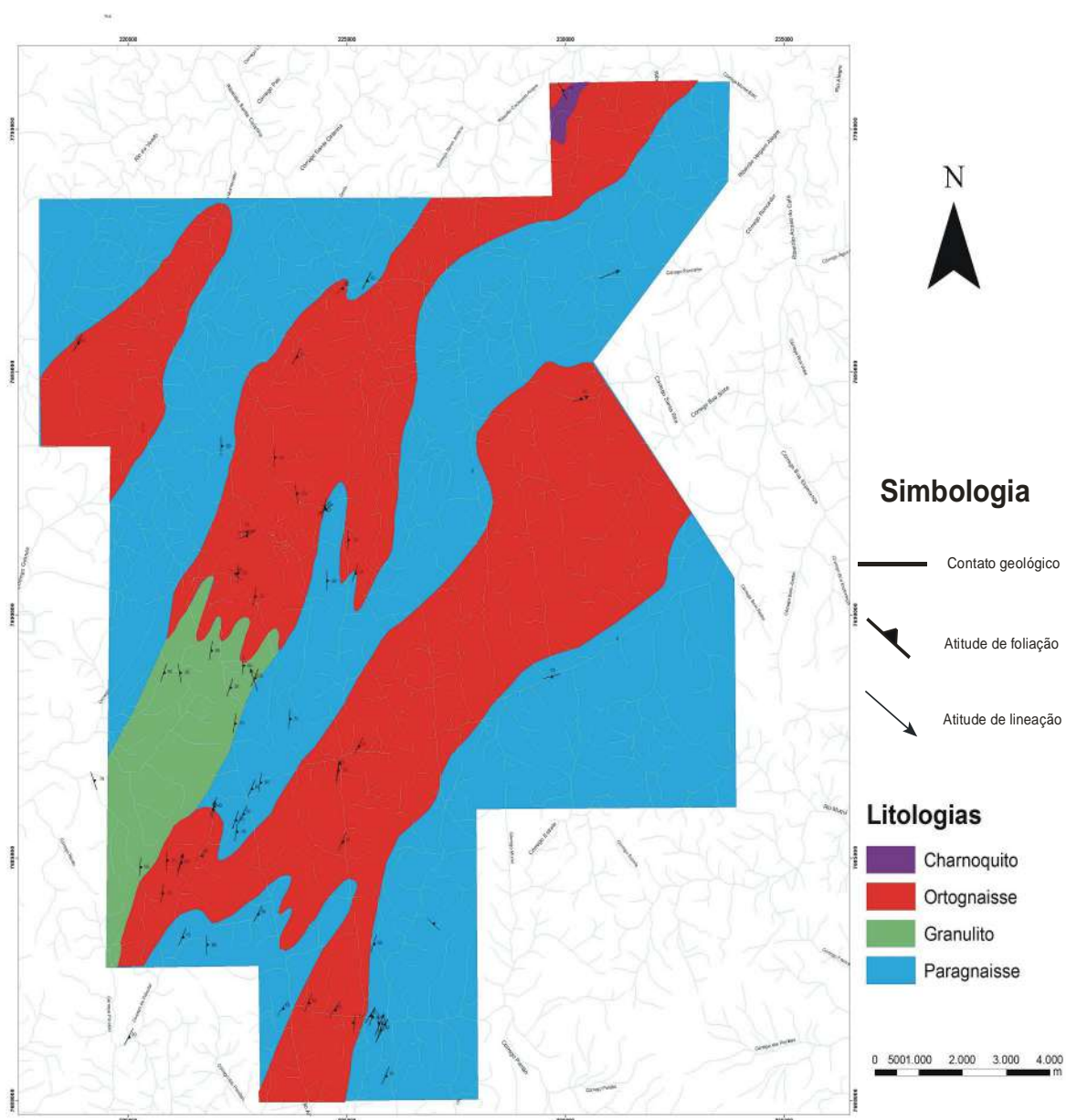


Figura 5 - Mapa Geológico da região estudada.

2.2 - Evolução Geológica da Faixa Ribeira Central

Heilbron & Machado (2003) subdividiram o Segmento Central da Faixa Ribeira nas seguintes unidades tectônicas: terrenos Ocidental, Oriental e Cabo Frio; e *Klippe* Paraíba do Sul (figura 6). O Terreno Ocidental compreende um domínio autóctone considerado como margem retrabalhada do Cráton São Francisco e dois sistemas de empurrão com vergência para noroeste, representados pelos domínios Andrelândia e Juiz de Fora, os quais são separados por zonas de cisalhamento. O Terreno Oriental pode ser subdividido em três segmentos: domínios Cambuci e Costeiro e *Klippe* Itavaia

O Domínio Juiz de Fora pertencente ao Terreno Ocidental do Segmento Central da Faixa Ribeira, caracteriza-se pela ocorrência de uma intercalação tectônica, que pode ser observada em escala de afloramento, entre as rochas do embasamento pré-1,7 Ga (Complexo Juiz de Fora) e os metassedimentos neoproterozóicos da Megasseqüência Andrelândia, ambos metamorfisados em fácies granulito. O embasamento pré-1,7 Ga é representado por um conjunto muito heterogêneo de ortogranulitos, denominado Complexo Juiz de Fora, redefinido segundo Heilbron *et al.* (1998). O Complexo Juiz de Fora compreende granulitos gnaissificados de origem ígnea, com composições variando entre gabros, dioritos, tonalitos e granodioritos. Os granulitos deste complexo exibem texturas muito variadas, sendo mais comuns às variedades granoblásticas a foliadas e, subordinadamente, miloníticas. A mineralogia principal compreende ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio, K-feldspato, quartzo, hornblenda e biotita em proporções variadas, além de zircão, allanita e minerais opacos, incluindo sulfetos, como acessórios. Os tipos mais félsicos possuem principalmente ortopiroxênio, enquanto os tipos básicos, orto e clinopiroxênios (Tupinambá *et al.*, 2007).

A *Klippe* Paraíba do Sul é uma megaestrutura sinclinorial que possui ortognaisses do Complexo Quirino na sua base. Para o topo da estrutura, grandes dobras reclinadas, com flancos invertidos, intercalam ortognaisses do Complexo Quirino com metassedimentos do Grupo Paraíba do Sul (Valladares *et al.* 2003; Tupinambá *et al.* 2003). A rocha típica desta unidade é um gnaisse de grão grosso, meso a leucocrático, foliação descontínua marcada por aglomerados minerais de hornblenda e com enclaves dioríticos e de gnaisses bandados alongados de dimensões decimétricas a métricas.

O Domínio Cambuci (Terreno Oriental da Faixa móvel Ribeira, em sua porção central) encontra-se justaposto tectonicamente ao Domínio Juiz de Fora. O contato é representado por uma zona de cisalhamento de baixo a médio ângulo, fortemente redobrada. Este

compartimento só aflora na região central do Estado do Rio de Janeiro para norte, e se estende para o Estado do Espírito Santo. Compreende uma sucessão metavulcano-sedimentar metamorfozada em fácies anfíbolito alto a granulito, invadida por diversas gerações de rochas granitóides (Tupinambá et al., 2007).

O Domínio Costeiro (Terreno Oriental do segmento central da Faixa Ribeira) cavalga o Domínio Juiz de Fora / Terreno Ocidental na região serrana do Estado do Rio. A partir de Itaocara (RJ) este domínio passa a cavalgar o Domínio Cambuci. No Domínio Costeiro ocorrem sucessões metassedimentares em fácies anfíbolito alto a granulito, invadidas por diversas gerações de rochas granitóides, desde aquelas relacionadas ao arco Rio Negro até ortognaisses colisionais e granitóides tardi a pós-colisionais do segmento central da Faixa Ribeira (Tupinambá et al., 2007).

A Klippe de Italva representa o compartimento estruturalmente superior do Terreno Oriental nas regiões central e noroeste fluminense. Ocorre como uma *klippe* sinformal sobre o Domínio Costeiro, e se estende desde a região de Cantagalo até o sul do Estado do Espírito Santo. Na base da *klippe* encontram-se dioritos, gabros e tonalitos do Complexo Rio Negro, e o restante do pacote é ocupado por rochas do Grupo Italva.

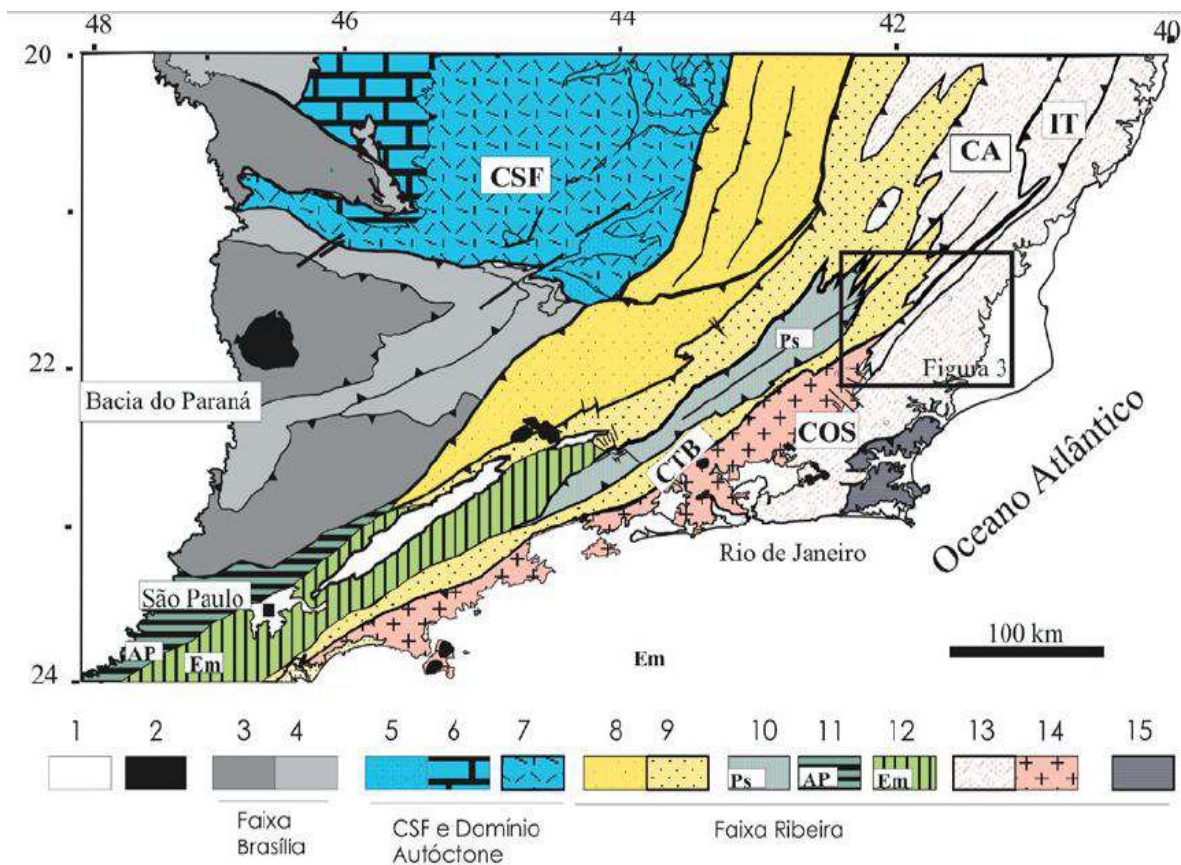


Figura 6: Mapa da compartimentação tectônica da região sudeste brasileira. (Tupinambá et al., 2007).
Legenda: 1-Coberturas Fanerozóicas; 2- Rochas Alcalinas do K/Eoceno; 3 a 4: Faixa Brasília: 3-Domínio Externo, 4- Domínio Interno; 5 a 7: Craton do São Francisco e Domínio autóctone: 5- Megasseqüência Andrelândia autóctone, 6- Supergrupo Bambuí, 7- Embasamento cratônico; 8 a 15: terrenos da Faixa Ribeira: 8- Terreno Ocidental/Domínio Andrelândia, 9- Terreno Ocidental/Domínio Juiz de Fora, 10- Terreno Paraíba do Sul, 11- Terreno Apiaí, 12- Terreno Embú, 13- Terreno Oriental: Ca- Domínio Cambuci, IT- Klippe Italva, Cos-Domínio Costeiro, 14- Terreno Oriental/Arco magmático Rio Negro, 15- Terreno Cabo Frio.

III. GEOLOGIA LOCAL E UNIDADES MAPEADAS

Foram individualizados quatro litotipos que correspondem as seguintes unidades mapeadas: (1) Ortognaisse Serra da Cangalha, (2) Granada - Biotita Paragnaisse, (3) Ortogranulito e (4) Charnockito.

O denominado Ortognaisse Serra da Cangalha, foco desse estudo, refere-se a uma Hornblenda – Biotita Ortognaisse de cor cinza claro, leuco a mesocrática com granulometria média a localmente fina e muito fina, esta última relacionada à área de influência de tensões cisalhantes provavelmente associadas à atuação da Zona de Cisalhamento de Guaçuí (figuras 7 a e b). Sua ocorrência principal deriva de afloramentos na forma de lajedos, encostas, escarpas íngremes e menos comumente como blocos de tamanhos variados encontrados espalhados sobre o solo.



Figuras 7 a e b: Aspectos Gerais do Ortognaisse Serra da Cangalha.

Apresenta-se com xistosidade contínua NE-SW marcada por agregados félsicos e máficos (Biotita, Anfibólio e menos comumente Clinopirorênio), lineações de objeto definidas por agregados quartzo feldspáticos, foliação plano axial a dobras isoclinais abertas e apertadas, padrões de dobras recumbentes em S e Z, e localmente migmatizados, observando-se principalmente estruturas estromáticas (figura 8) e schöelen (figura 9), e menos comumente schlieren e nebulítica.



Figura 8: Ortogneisse migmatítico com estrutura estromática dobrada.



Figura 9: Ortogneisse migmatítico com estrutura schöelean.

Quando não migmatítico, o ortogneisse mostra estrutura geralmente foliada, foliação tectônica descontínua marcada principalmente por minerais máficos, muitas vezes interrompida por veios quartzo feldspáticos que representam leucossomas gerados na fusão do ortogneisse. Em alguns locais evidencia estrutura isotrópica, com minerais hipidiomórficos de hábito granular, o que em campo aparenta ser produto de recristalização mais intensa em algumas porções isoladas da rocha.

As partes leucossomáticas são constituídas por quartzo e feldspato, com granulometria média a grossa e apresentam muitas vezes *spots* de biotita e pirobólio com tamanhos variados

(figura 9). Sua geometria varia desde veios, bolsões irregulares, até pegmatitos e aplitos. O melanossoma geralmente tem granulção fina e é rico em biotita e menos em anfibólio, ressaltando-se também a presença de grão de quartzo com limites irregulares a arredondados posicionados entre os minerais máficos. Os contatos entre melanossoma e leucossoma são irregulares, cuspidos e lobados, muitas vezes com feições de fusão nas bordas, com diminuição de granulometria.

Os minerais máficos são representados basicamente por pirobólio e biotita. Se apresentam de diversas formas: como grãos isolados, em pequenos agregados orientados, como enclaves microgranulares, esparsos em meio às porções leucossomáticas, ou ainda em corpos lenticulares angulosos, além de ocasionalmente formarem bandas e lâminas. Os minerais félsicos compreendem feldspatos e quartzo. Os feldspatos são geralmente brancos, podendo variar desde cristais tabulares a feldspatos estirados paralelamente à foliação. Os grãos de quartzo possuem hábitos irregulares e tamanhos associados a maior ou menor deformação sofrida pela rocha, sendo os maiores aqueles mais preservados de processos de recristalização.

Com relação às estruturas impressas no Ortognaisse Serra da Cangalha, é evidente a predominância de foliação de rumo NE entre 10 e 40°, seguindo a tendência regional, com mergulhos para SE variando entre 40 e 80° (Mapa Geológico, figura 5). Dobras em escalas de meso a megascópicas são observadas por toda a área mapeada.

Em lâmina, a rocha é caracterizada como fanerítica leuco a mesocrática, inequigranular seriada, hipidiomórfica a xenomórfica (figura 10) com granulometria fina (0,1 a 1 milímetro) a média (1 a 2,5 milímetros), localmente com cristais de ortoclásio de até 5 milímetros, e índice de cor variando entre 5 e 40%.

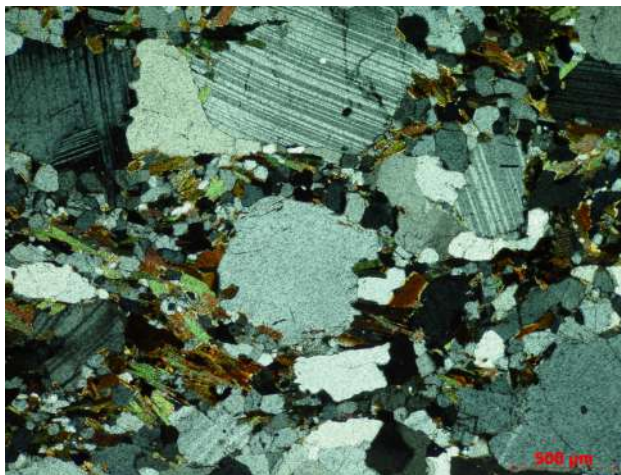


Figura 10: Textura inequigranular seriada do Ortognaisse Serra da Cangalha.

Dentre os minerais máficos ocorrem, em ordem decrescente de quantidade, biotita, anfibólio de pleocroísmo verde (hornblenda), minerais opacos e clinopiroxênios (figura 11) de tonalidade verde claro e geralmente de alta birrefringência (provável augita diopsídica). Texturas de substituição mineral são comuns entre clinopiroxênio e hornblenda, estando o primeiro muitas vezes como núcleo relíctico no anfibólio (figura 12). A biotita também pode ser resultado de uma fase secundária à hornblenda, mais raramente ao piroxênio, aparecendo como pequenas lamelas crescendo nas bordas desses minerais (figura 12). Os minerais opacos são encontrados como fases primárias, na forma de pequenas inclusões ou grãos isolados, ou ainda, como produto da exsolução nas reações que desestabilizam o clinopiroxênio e são formadas hornblenda e biotita.

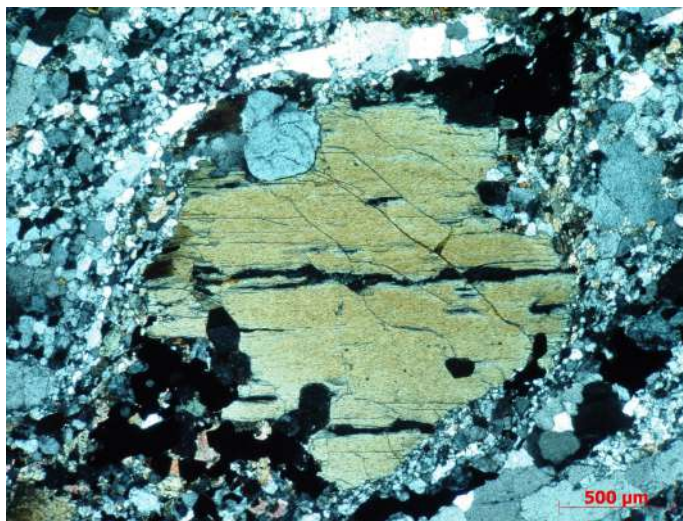


Figura 11: Porfiroclasto de hornblenda girado, associado a minerais opacos, apatita e Cpx.

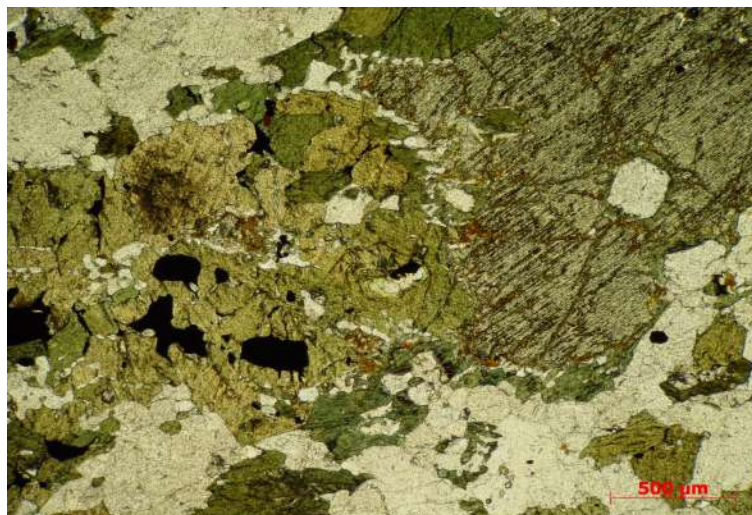


Figura 12: Textura de disequilíbrio mineral, com substituição de piroxênio por hornblenda e desta para biotita.

Os minerais félsicos são representados por quartzo, feldspato potássico (ortoclásio) e plagioclásio (em média An33 - oligoclásio a andesina). Os grãos de quartzo exibem evidências de recuperação, como forte extinção ondulante, e chegam a estar recristalizados em fitas (*ribbon quartz*) (figura 13) ou ainda como pequenos cristais (<0,1mm) junto com feldspatos, formando uma trama que revela agregados de minúsculos cristais de contornos retos a poligonais em meio a grãos maiores de feldspatos e minerais máficos. Os contatos entre estas fases félsicas em geral são irregulares, em forma de lobos e cúspedes, podendo ainda ser poligonal ou reta.

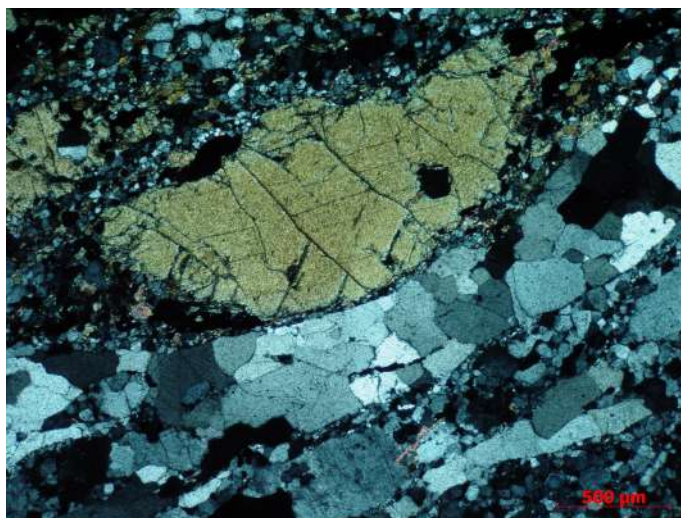


Figura 13: Fitas de quartzo policristalino paralelas à foliação do ortogneisse.

Os minerais acessórios identificados foram titanita, zircão, apatita e allanita. Zircão ocorre sobretudo como pequenas inclusões (granulares ou prismas alongados) nas fases principais, apatita também é comum na forma de inclusão, mas também são observados cristais maiores individualizados, e allanita é mais rara e encontrada em poucas amostras. A titanita apresenta dois modos de ocorrência: envolvendo mineral opaco na forma de auréola, indicando substituição de ilmenita/Ti-magnetita, e como grãos irregulares, anédricos, via de regra associados a biotita e menos comumente hornblenda. Enquanto a primeira associação mineral pode refletir substituição ainda na fase intramagmática (um crescimento tardio de titanita sobre opacos) ou mesmo reequilíbrio metamórfico, a segunda deve resultar de evento metamórfico que gerou biotita, hornblenda e titanita.

O granada-biotita gnaiss é uma rocha paraderivada observada em blocos, cortes de estradas, drenagens e lajedos, ocorrendo em ampla variação granulométrica, de fina a grossa em escala de afloramento, leucocrática a mesocrática. Sua foliação geralmente é bem definida por lâminas biotíticas, sendo localmente protomilonítica com o desenvolvimento de quartzo fitado e matriz muito recristalizada. Apresenta agregados de minerais máficos, freqüentes granadas vermelhas e marrons e esparsos porfiroblastos de K-feldspato. Em lâmina, a sua granulometria é média, com grãos variando de 0,1 a 3,0 milímetros, podendo apresentar cristais maiores de granada com até 4 milímetros. Os minerais são anédricos a subédricos e recristalização mineral é evidente em grãos de quartzo e feldspatos; esses últimos mostram clara sericitização, principalmente a microclina. Os contatos entre minerais variam de retos e irregulares a lobados e cuspidos. A textura em geral é gnáissica (lepidoblástica), no entanto textura granoblástica ocorre como resultado de recristalização da rocha.

Ortogranulito Juiz de Fora: rochas desta unidade ocorrem em afloramentos de corte de estrada, em encostas e como blocos isolados. É um litotipo com índice de cor muito variado, desde leuco a, mais raramente, melanocrático, de granulação fina a média, cor verde a preta, geralmente com foliação pouco desenvolvida e avançado grau de recristalização. São por vezes laminados, mostrando lâminas claras e escuras que são marcadoras da orientação da rocha. A orientação dos minerais, por sua vez, torna-se mais evidente na superfície de alteração, formando linhas realçadas pela erosão que destacam a foliação principal da rocha, assim como estruturas dobradas, eventualmente observadas. A mais significativa ocorrência desta rocha na área mapeada é em uma pedreira abandonada próxima à cidade de Guaçuí, área de domínio do Ortognaiss Serra da Cangalha. Em seção delgada a rocha é fanerítica fina com grãos

hipidiomórficos, entre 0,1 e 0,6 milímetros, com amostras variando de isotrópica a visivelmente orientada. Apresenta de 5 até 40% de minerais máficos, intensa alteração de feldspatos e recristalização de quartzo, sendo rica em fases opacas e possuindo ocasionais grãos de granada e titanita. Minerais máficos mais frequentes: ortopiroxênio, clinopiroxênio, anfibólio (hornblenda), opacos e biotita (figura 14), em agregados e lâminas máficas onde pode se observar relações de substituição entre estes minerais do centro para as bordas. Localmente observa-se tremolita como provável produto de reação retrometamórfica sobre hornblenda e clinopiroxênio. Os minerais félsicos são plagioclásio e quartzo, ocorrendo alguns feldspatos não geminados e com extinção ondulante que podem ser ortoclásio ou mais provavelmente serem plagioclásios sem maclas. Os contatos entre os minerais variam entre irregulares, poligonais e lobados.

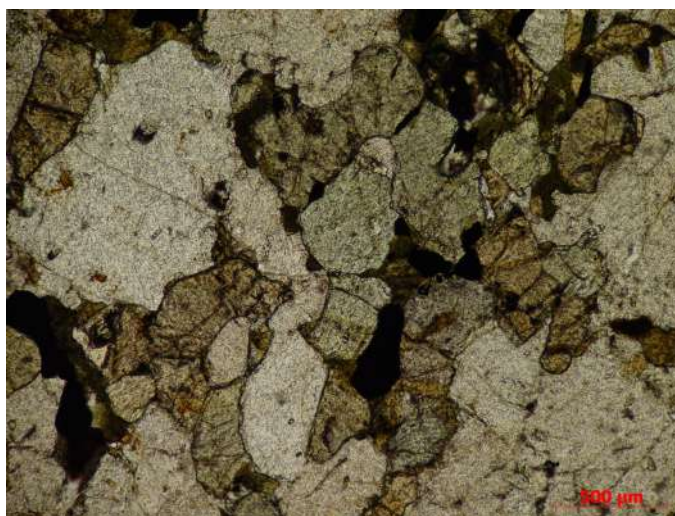


Figura 14: Agregado máfico no granulito mostrando coexistência de Opx e Cpx.

O charnockito ocorre apenas em dois pontos visitados, na forma de pequenos lajedos e blocos dispersos no solo. A rocha é isotrópica mesocrática, tem cor verde e granulometria média, não apresentando qualquer estrutura visível. Possui xenólitos bem assimilados de gnaiss rico em granada e no lajedo pode-se observar que ela ocorre em contato brusco com gnaiss leucocrático. Em lâmina, a rocha é fanerítica isotrópica inequigranular seriada, com minerais subédricos a anédricos e índice de cor de cerca de 25%. A mineralogia essencial é plagioclásio (An48), ortoclásio, quartzo, ortopiroxênio, clinopiroxênio, biotita e hornblenda, como minerais acessórios tem-se opacos, apatita e zircão. Os feldspatos são pouco alterados para sericita e rara calcita e os piroxênios mostram freqüente transformação para mineral de cor vermelho

alaranjada, associando-se notadamente a fases opacas, e contendo inclusões de apatita e zircão. Os feldspatos possuem comum hábito tabular e inclusões de opacos, biotita, zircão e apatita. Orto e clinopiroxênios encontram-se por vezes em contato direto, evidenciando cogeneticidade, e via de regra são substituídos nas bordas e fraturas por hornblenda e biotita, com expressiva exsolução de opacos.

A classificação petrográfica das amostras estudadas a partir da porcentagem modal, segundo o diagrama ternário QAP (figura 15) mostra um protólito para o ortogneisse Serra da Cangalha que varia de (monzo) granito a granodiorito. O granulito tem composições variando de diorito a quartzomonzonito, chegando a tonalito. O charnockito revela composição granodiorítica e quartzomonzodiorítica.

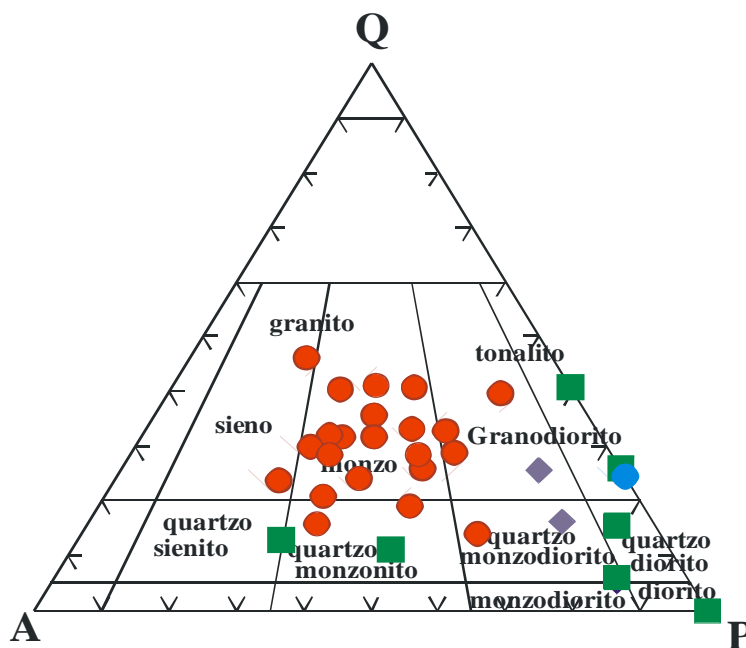


Figura 15: Classificação das rochas metamórficas de protólito ígneo plutônico, segundo Streckeisen (1976).

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnoquito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

IV. RESULTADOS - LITOGEOQUÍMICA

4.1 - Introdução

Com o intuito de caracterizar geoquimicamente as rochas estudadas, particularmente o ortognaisse Serra da Cangalha, foram realizadas dezessete análises químicas de rocha total (elementos maiores, menores e traços, incluindo os terras raras). Foram selecionadas quatorze amostras de hornblenda-biotita ortognaisse, duas de charnockito e uma de granulito.

As análises apresentam valores totais entre 98,21 e 100,32%, retratando a boa qualidade das mesmas, enquanto o percentual de LOI (*lost on ignition* ou perda ao fogo), inferior a 0,51%, mostra expressiva proporção de minerais anidros e pequeno grau de alteração das amostras (Tabela 1). Dentre os ortognaisses, valores de SiO₂ entre 58,23 e 74,75% em peso revelam uma seqüência expandida que possui evidência de cogeneticidade, como será mostrado adiante. Destaque para teores relativamente elevados de Fe₂O₃, CaO e K₂O e altos conteúdos de Ba e Zr, considerando-se a composição modal e química dos ortognaisses. Concentrações de MgO relativamente baixas são dignas de nota. A amostra de ortognaisse GU-01B apresenta assinatura geoquímica bastante distinta do restante dos ortognaisses, particularmente quanto aos conteúdos de K₂O, Na₂O, Rb, Ba, Zr e ETR, o que coaduna com a ausência de K-feldspato modal e menores concentrações de minerais acessórios como zircão. Tal característica possibilita separá-la do grupo de amostras do Ortognaisse Serra da Cangalha (ela está representada com um símbolo próprio nos diagramas apresentados adiante). Vale informar que esta rocha foi datada pelo método U-Pb em zircão e sua idade é paleoproterozóica. Por sua vez, o granulito (GU-01) e os charnockitos analisados (GU-5, GU-6) possuem comportamento químico totalmente distinto das demais amostras e desta maneira se separam pelos teores de muitos dos elementos dosados, com destaque para teores mais altos de Fe₂O₃, CaO, MgO, TiO₂, Ni e Cr e baixos conteúdos de K₂O, Rb, Ba e ETR, refletindo assim suas maiores porcentagens modais de piroxênio e plagioclásio e menores de K-feldspato e zircão.

	GU 01	GU 6	GU 9	GU 1B	GU 36	GU 37	GU 41 A	GU 41 B	GU 43
SiO ₂	50,83	50,20	56,26	64,72	62,15	74,75	58,23	66,82	59,83
TiO ₂	1,60	1,78	1,37	0,48	1,47	0,37	1,03	0,66	1,23
Al ₂ O ₃	13,79	18,95	17,52	16,78	14,77	12,34	17,35	14,65	15,85
Fe ₂ O _{3T}	13,56	9,65	6,62	4,36	7,37	2,11	5,30	5,4	5,71
MnO	0,19	0,14	0,1	0,06	0,12	0,04	0,07	0,10	0,08
MgO	5,86	3,88	4,42	1,84	2,27	0,99	2,08	0,33	3,38
CaO	9,28	8,4	7,67	4,76	4,54	1,55	3,70	2,05	4,99
Na ₂ O	3,42	3,65	2,87	5,10	3,11	2,00	3,23	3,00	4,12
K ₂ O	0,59	1,82	2,02	1,04	3,31	4,88	6,30	5,59	3,42
P ₂ O ₅	0,20	0,64	0,29	0,16	0,59	0,02	0,38	0,15	0,44
P.F.	0,16	1,00	0,6	0,33	0,50	0,58	1,58	1,00	0,00
Total	99,48	100,13	99,74	99,63	100,2	99,63	99,25	99,75	99,05
Cr	211	137	116	111	105	78	137	109	150
Ni	51	8	10	20	20	5	28	5	62
V	183	225	171	76	172	66	121	74	154
Zn	424	348	256	234	375	182	267	435	334
Rb	23	91	113	46	96	188	226	163	163
Ba	260	1520	601	431	1637	1943	1454	2611	1016
Sr	260	761	751	997	629	561	754	296	1208
Ga	39	57	48	60	53	41	58	57	59
Nb	10	19	12	7	23	7	19	14	16
Zr	135	117	196	175	422	235	399	734	224
Y	22	28	27	20	39	25	43	38	32
Th	0,5	1,2	3,5	0,2	1,6	0,2	8,4	9,3	8,7
U	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3	0,1	0,8	0,7	0,6
La	15,9	43,3	28,0	10,7	57,7	12,6	57,8	95,1	54,5
Ce	39,7	103,5	61,2	25,8	133,5	15,0	123,5	194,0	124,8
Pr	5,15	13,65	7,63	3,58	16,35	1,14	14,23	21,78	15,07
Nd	21,6	59,9	30,2	16,2	67,4	3,0	55,4	82,0	59,1
Sm	5,02	11,29	5,48	3,17	12,18	0,30	9,65	12,37	9,42
Eu	1,55	2,73	1,32	0,91	3,06	1,41	2,20	5,53	1,84
Gd	5,47	10,14	4,73	2,69	11,20	0,25	8,15	10,38	6,61
Tb	0,96	1,41	0,70	0,41	1,66	0,03	1,18	1,43	0,83
Dy	5,63	6,90	3,63	2,28	8,97	0,23	6,21	7,30	4,24
Ho	1,14	1,17	0,64	0,46	1,72	0,04	1,11	1,31	0,64
Er	3,05	2,84	1,71	1,15	4,68	0,16	2,90	3,46	1,77
Tm	0,49	0,36	0,24	0,19	0,72	0,04	0,45	0,52	0,28
Yb	3,00	2,14	1,42	1,15	4,16	0,25	2,61	3,35	1,73
Lu	0,48	0,29	0,20	0,18	0,63	0,06	0,38	0,52	0,26
Total ETR	109,14	269,62	147,1	68,87	323,93	34,51	285,77	439,05	281,09
(La/Yb)N	3,57	13,64	13,30	6,28	9,35	33,88	14,93	19,14	21,23

Legenda:

● Ortognaisse Serra da Cangalha
 ◆ Charnoquito

GU 36, 37, 41A, 41B, e GU 43
 GU 06 e 09

■ Granulito Juiz de Fora
 ● Ortognaisse paleoproterozóico

GU 01

GU 1B

Tabela 1- Análises químicas das rochas estudadas (elementos traços em ppm; maiores e menores - % em peso).

	GU 54	GU 73	GU 85	GU 86 A	GU 86 B	GU 92	GU 94	GU 95
SiO ₂	62,82	68,30	68,98	67,07	64,77	66,03	66,92	66,24
TiO ₂	0,97	0,47	0,55	0,83	0,92	0,63	0,78	0,41
Al ₂ O ₃	16,05	14,67	14,10	13,99	14,03	14,87	14,82	15,12
Fe ₂ O _{3T}	5,71	3,87	5,70	5,98	6,21	4,49	4,43	4,01
MnO	0,06	0,09	0,06	0,10	0,11	0,06	0,07	0,1
MgO	2,47	0,98	0,06	0,74	0,86	1,77	1,47	2,07
CaO	3,95	2,71	2,52	2,49	2,61	3,43	3,16	3,78
Na ₂ O	3,02	3,56	3,15	3,05	3,02	3,42	3,22	3,16
K ₂ O	3,24	4,13	3,52	5,10	4,61	4,06	4,22	2,84
P ₂ O ₅	0,33	0,13	0,06	0,24	0,24	0,19	0,23	0,13
P.F.	0,50	0,42	0,42	0,67	0,83	0,92	1,00	0,58
Total	99,12	99,33	99,12	100,26	98,21	99,87	100,32	98,44
Cr	148	97	101	96	118	125	100	144
Ni	38	15	22	9	7	31	16	34
V	163	58	80	99	111	91	97	56
Zn	312	314	271	309	353	259	251	232
Rb	228	117	136	147	134	177	187	111
Ba	1076	1356	1526	1906	1715	1131	1132	760
Sr	602	569	775	362	311	734	560	764
Ga	62	61	58	53	53	52	57	49
Nb	17	22	8	24	25	13	21	11
Zr	261	210	324	523	507	268	261	171
Y	40	30	23	33	33	32	41	26
Th	2,8	1,8	1,8	2,7	3,1	1,3	7,7	0,4
U	0,7	0,1	0,4	0,4	0,6	0,5	1,2	0,1
La	35,3	30,4	20,5	49,0	45,2	35,4	46,9	27,8
Ce	76,5	60,9	33,0	95,5	93,8	68,1	93,6	50,9
Pr	9,53	7,15	3,33	10,72	10,87	7,48	11,0	5,63
Nd	38,5	28,3	11,4	41,7	44,0	26,7	42,0	21,9
Sm	8,09	5,78	1,66	6,84	7,56	4,43	7,84	3,76
Eu	1,39	2,54	1,46	2,79	3,19	1,07	1,72	1,24
Gd	6,96	5,41	1,48	5,96	6,58	3,61	6,51	3,11
Tb	1,09	0,83	0,18	0,84	0,98	0,53	0,99	0,47
Dy	5,34	4,71	0,94	4,63	5,10	2,78	5,39	2,36
Ho	0,88	0,88	0,17	0,86	1,00	0,51	1,01	0,45
Er	1,96	2,42	0,46	2,21	2,67	1,44	2,64	1,20
Tm	0,26	0,37	0,07	0,32	0,38	0,22	0,39	0,19
Yb	1,47	2,36	0,54	2,06	2,40	1,48	2,38	1,17
Lu	0,20	0,38	0,10	0,32	0,39	0,22	0,35	0,17
Total ETR	187,47	152,43	75,29	223,75	224,12	153,97	222,72	120,35
(La/Yb)N	16,20	8,69	25,63	16,03	12,70	16,13	13,28	16,02

Legenda: ● Ortognaisse Serra da Cangalha GU 54, 73, 85, 86A, 86B, 92, 94 e GU 95

Tabela 1- Continuação.

4.2 - Classificação Geoquímica

O diagrama Binário TAS (figura 16) mostra que a maioria das amostras se situa próximo ao limite dos campos subalcalino e alcalino, com composições dos ortognaisses variando de granodioríticas a graníticas / sieníticas e o granulito e charnockitos são gabróico-dioríticos. Os ortognaisses são predominantemente subalcalinos, evidenciados por um enriquecimento maior em SiO_2 do que nos álcalis ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$), com composições intermediárias a ácidas (58,0 a 74,9% de SiO_2).

No diagrama de La Roche (figura 17), as amostras de ortognaisses plotam predominantemente nos campos granito/ granodiorito / tonalito, pontualmente com composição sienítica e quartzomonzonítica, enquanto os charnockitos e granulito correspondem a litotipos de tendência gabróica/diorítica.

O diagrama de Debon e Le Fort (Figura 18) confirma um protólito granítico/granodiorítico para o Ortognaisse Serra da Cangalha e tonalítico para o ortognaisse paleoproterozóico, e composições gabro/dioríticas para charnockitos e granulito

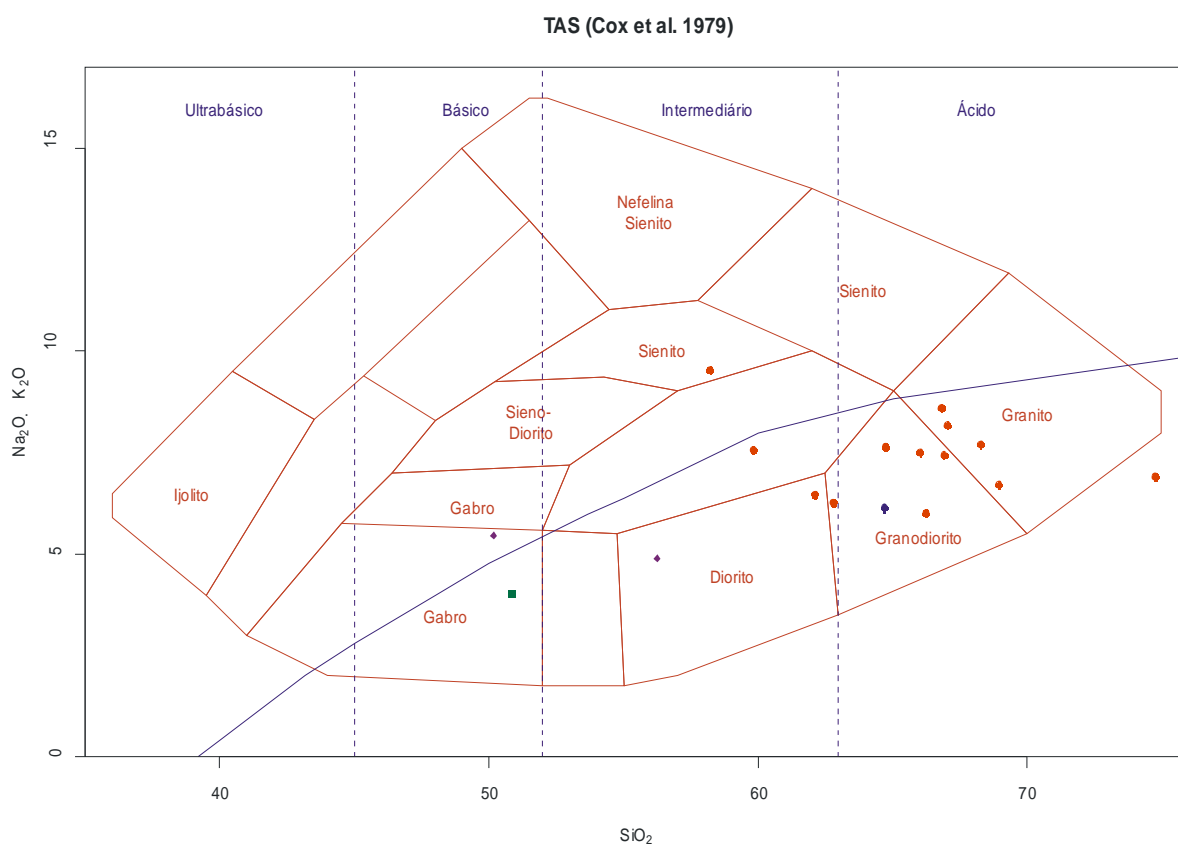


Figura 16: Diagrama TAS (COX et al. 1979).

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnoquito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

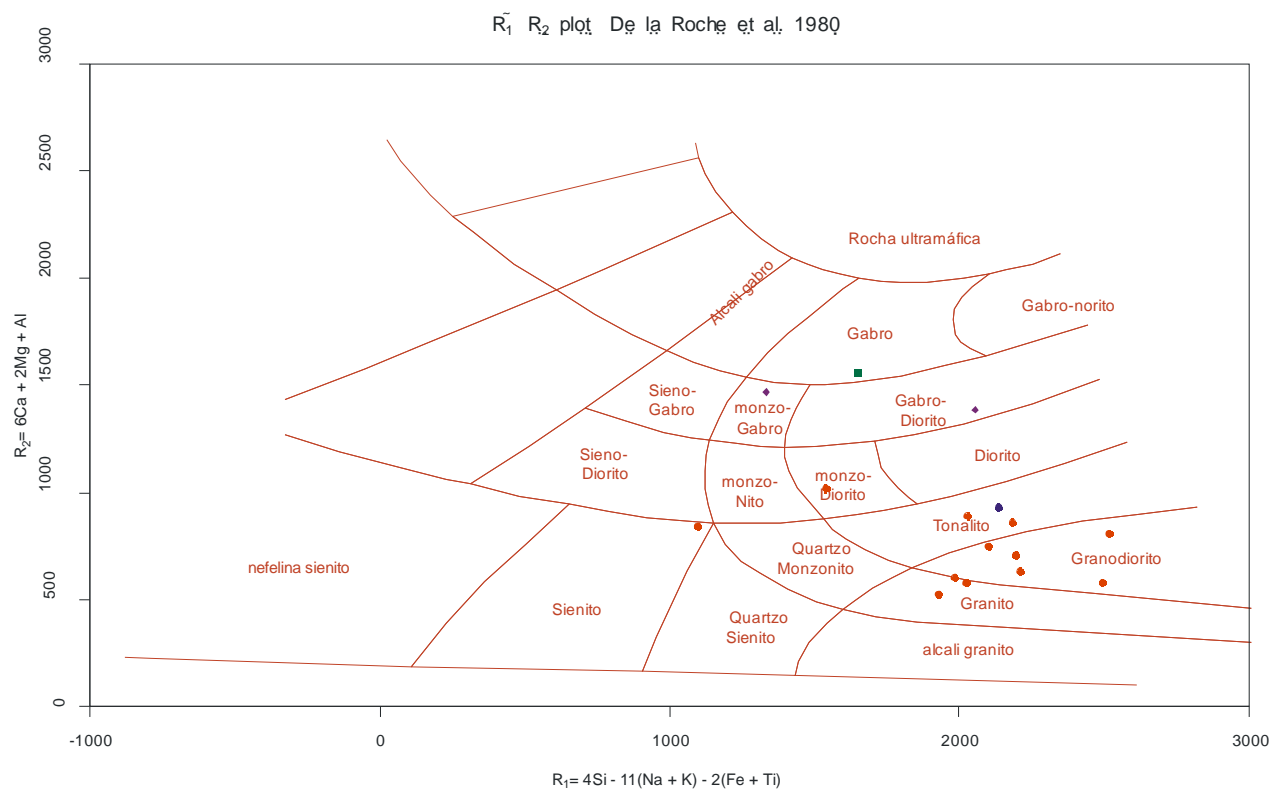


Figura 17: Diagrama R1-R2 (De La Roche et al 1980).

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnoquito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

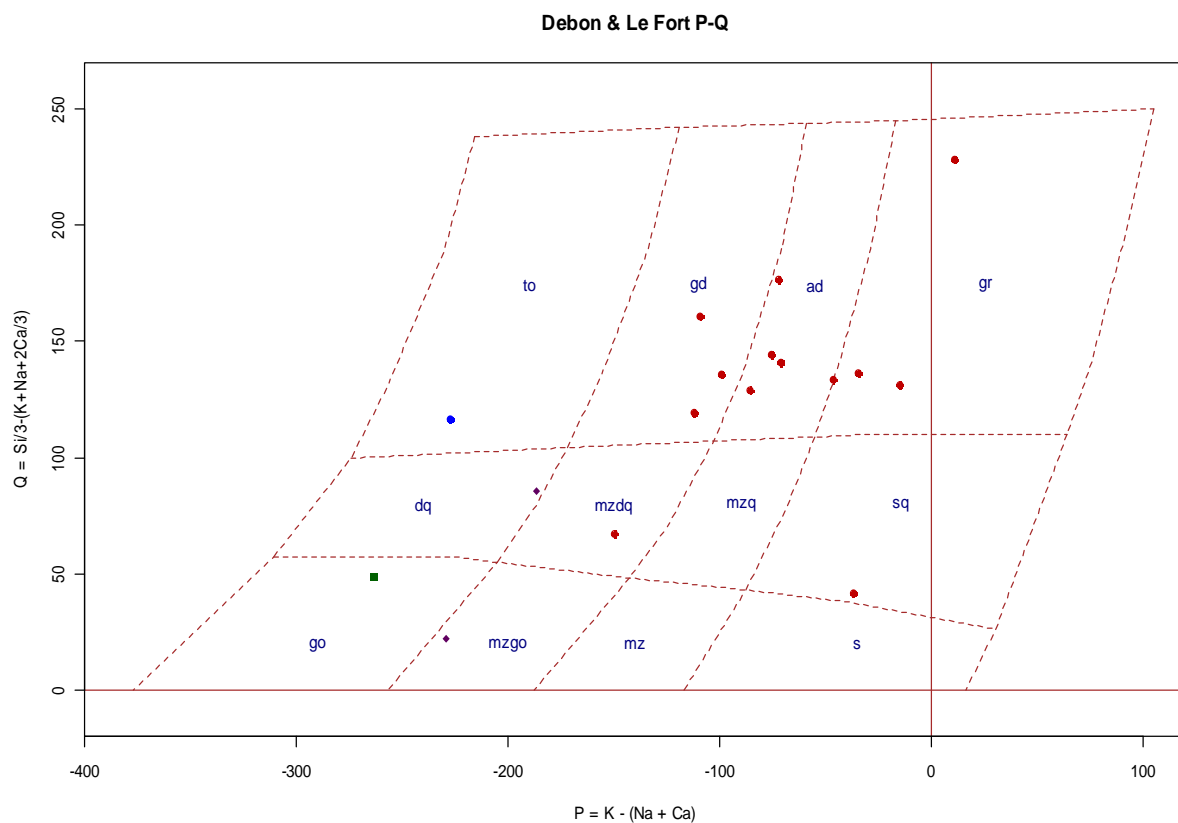


Figura 18: Diagrama P-Q (Debon e Le Fort 1983).

gr – granito
ad – adamelito
gd – granodiorito
to – tonalito
sq – quartzosienito
medq – quartzomonzodiorito
dq – quartzodiorito
go – gabbro
mego - monzogabbro

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnoquito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

4.3 - Caracterização do Magmatismo

Os diagramas de variação ou Harker são de suma importância na caracterização geoquímica de rochas magmáticas, pois determinam as assinaturas químicas entre os membros de uma suíte de rochas, através da percepção de *trends* que caracterizam modificações químicas, podendo representar assim estágios na evolução de um magma.

Em função da variação observada nos teores de SiO_2 das amostras estudadas, este óxido foi escolhido como índice de diferenciação para análise preliminar do comportamento dos elementos maiores, menores (expressos em % de peso dos seus óxidos) e traços (expressos em partes por milhão – ppm), durante a cristalização das rochas, permitindo assim uma avaliação de possíveis processos de fracionamento que atuaram durante a cristalização primária das rochas estudadas.

Nos diagramas de Harker para os elementos maiores (figura 19) são observados teores elevados de K_2O para os ortognaisses Serra da Cangalha, porém uma das amostras de ortognaisse, com símbolo de cor azul, revela concentrações muito inferiores em K_2O e enriquecimento em Na_2O e CaO , indicando não ser parte da seqüência, sendo então provavelmente associada a outra suíte. Para as amostras do Ortognaisse Serra da Cangalha, os *trends* observados são mais comumente retilíneos subparalelos entre si, sugerindo um processo de mistura de magmas como o mais atuante nestas rochas, visto que esses caminhos evolutivos lineares são mais típicos de processos de misturas magmáticas e/ou de assimilação. Ao mesmo tempo, a definição de *trends* correlacionando as amostras do Ortognaisse Serra da Cangalha aponta para uma provável cogeneticidade entre elas. As amostras de charnockito e do granulito evidenciam rochas ricas em Fe_2O_3 , MgO e CaO .

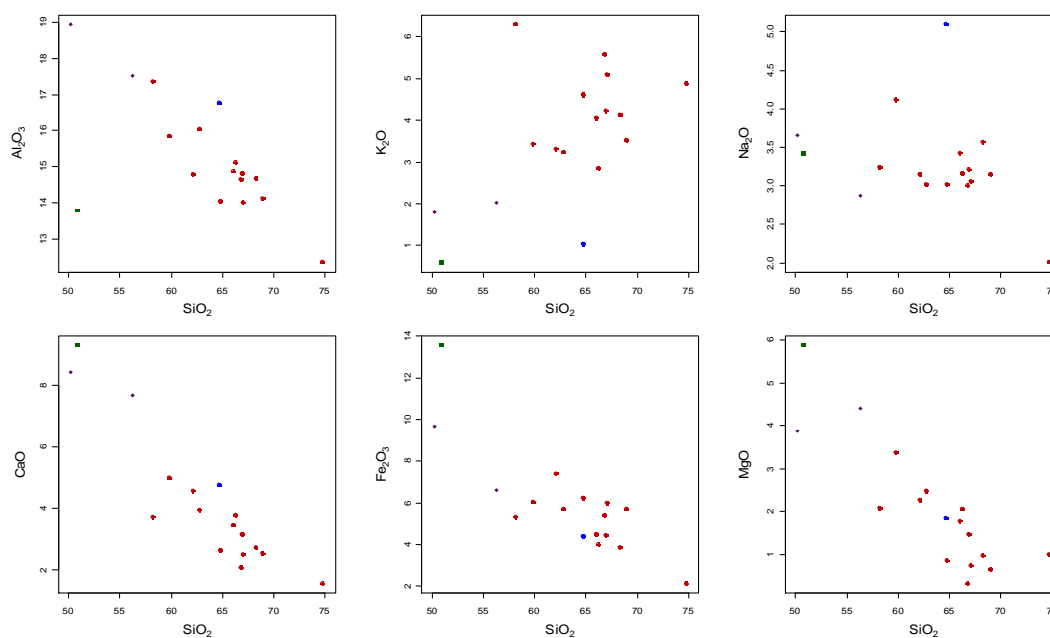


Figura 19: Diagramas de Harker dos elementos maiores para todo o conjunto de rochas analisadas.

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnoquito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

Nos diagramas de Harker para os elementos menores (figura 20), os ortognaisses são mais pobres em TiO_2 , P_2O_5 e MnO quando comparados aos charnockitos e granulito. Estes últimos são enriquecidos em sua fase inicial nesses elementos. Os *trends* definidos continuam sendo primordialmente retilíneos e subparalelos.

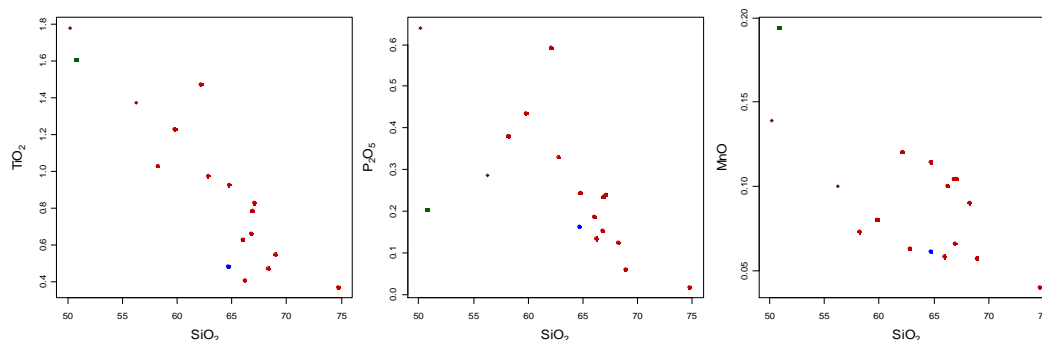


Figura 20: Diagramas de Harker dos elementos menores para todo o conjunto de rochas analisadas.

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnoquito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

Nos diagramas de Harker para os elementos traços (figura 21) observam-se valores superiores a 1000 ppm para Ba e também altos valores de Zr e Rb nos ortognaisses Serra da Cangalha, contrastando com baixos teores de Rb e Ba do ortognaisse paleoproterozóico. Essas concentrações enfatizam o enriquecimento em álcalis nos ortognaisses Serra da Cangalha e corroboram a afinidade geoquímica do Ba e Rb com o K, pois são alocados nos sítios cristalográficos ocupados pelo último em K-feldspatos e biotita.

O Ba e Rb são elementos incompatíveis móveis, porém Zr e Nb, que são fases que se encontram enriquecidas no Serra da Cangalha, são elementos traços incompatíveis de suma importância, pois têm menor mobilidade e, portanto, podem ser utilizados como importantes indicadores petrogenéticos devido à sua baixa mobilidade em processos pós-magmáticos, tais como, metamorfismo e alterações. Por isto, esses elementos serão usados adiante para a distinção do provável paleoambiente tectônico formador dessas rochas.

Avaliando-se o comportamento dos elementos traços nos diagramas de Harker, apesar de certa dispersão das amostras ainda são evidentes dois trends retilíneos paralelos entre si,

como já salientado para os elementos maiores e menores, o que reforça a possível predominância de processos de mistura de magmas na evolução da seqüência.

Desta maneira, a interpretação dos diagramas de Harker para vários dos elementos dosados aponta para uma assinatura química de provável cogeneticidade para amostras do Ortognaisse Serra da Cangalha, que se diferencia claramente do ortognaisse paleoproterozóico e do granulito e charnoquitos, possivelmente relacionados a fontes distintas.

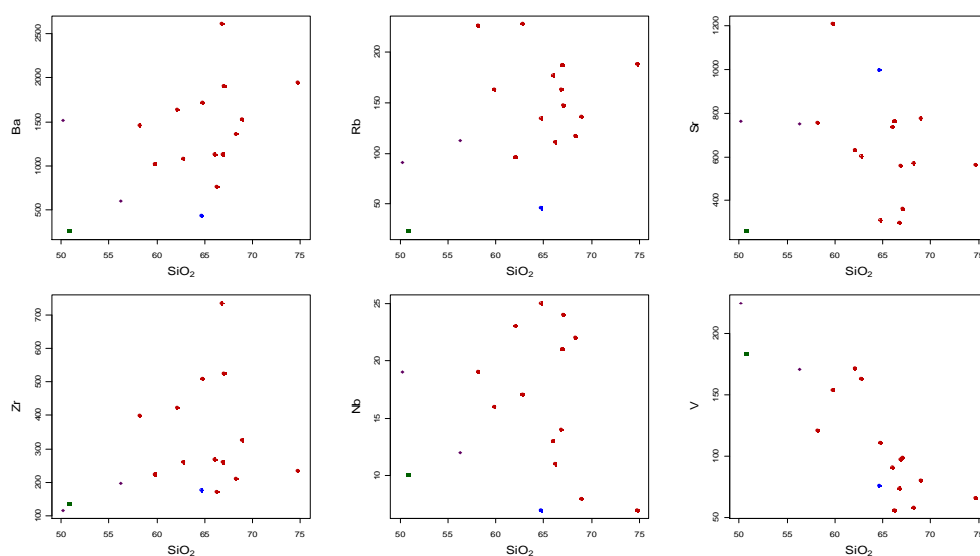


Figura 21: Diagramas de Harker dos elementos traços para todo o conjunto de rochas analisadas.

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnoquitos /
- Ortognaisse paleoproterozóico

No diagrama AFM (Ferro total / álcalis ($K_2O + Na_2O$) / MgO) da figura 22 os ortognaisses e charnockitos posicionam-se predominantemente no campo de rochas da série cálcio-alkalina, enquanto o granulito, mais enriquecido em elementos cálfêmicos, plota no campo de rochas toleíticas.

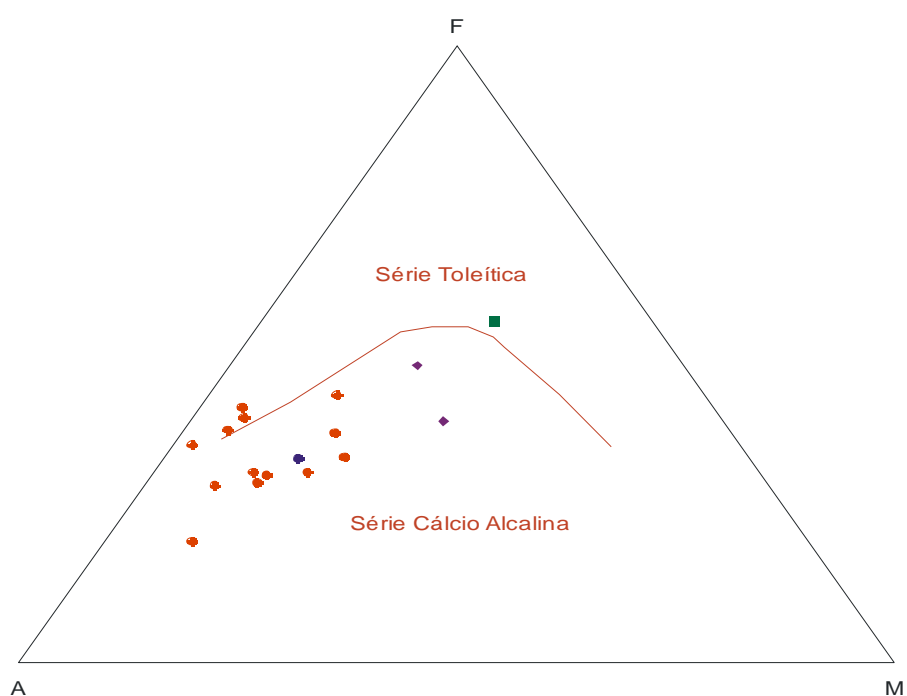


Figura 22: Diagrama AFM (Irvine & Baragar 1971).

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnokito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

O diagrama $SiO_2 \times K_2O$ de Peccerillo e Taylor (1976) indica para o Ortognaisse Serra da Cangalha e charnokito uma assinatura cálcio-alkalina de alto K (figura 23), contrastando com

um caráter cálcio-alcálico a toleítico para o granulito e ortogneisse paleoproterozóico, evidenciando novamente a distinção química entre os litotipos.

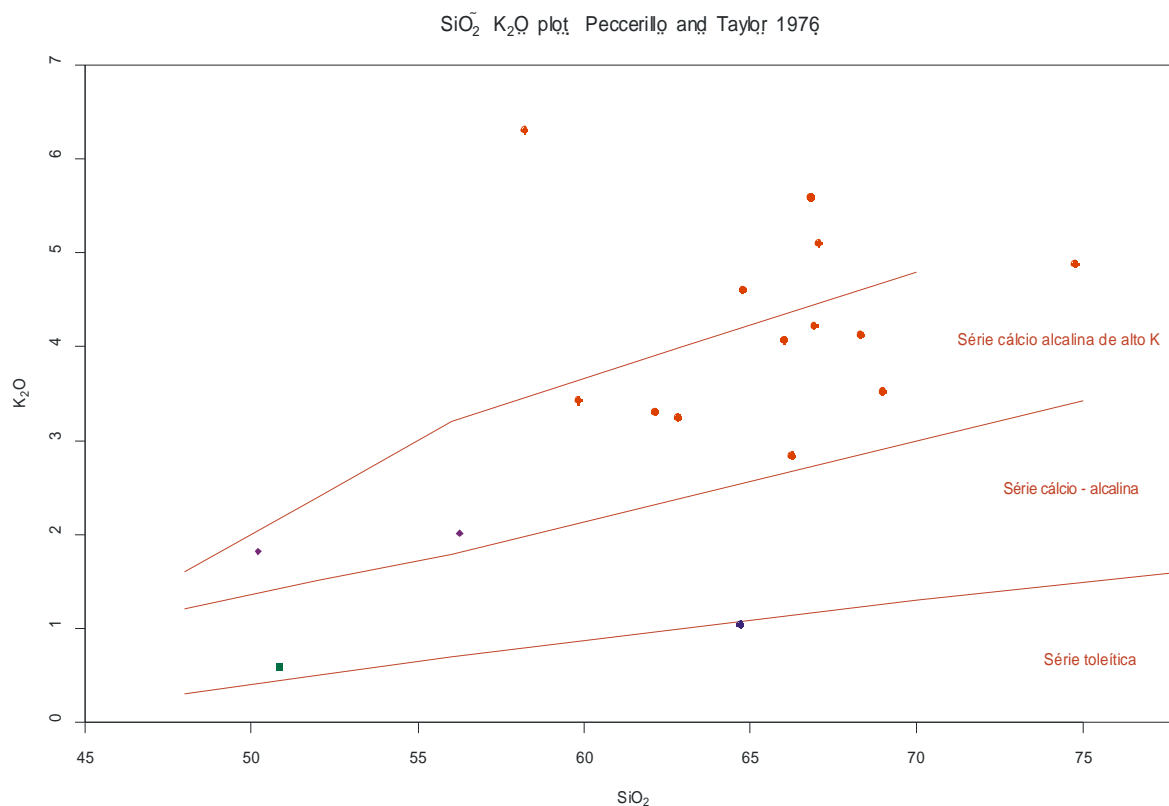


Figura 23: Diagrama de Série Magmática de Peccerillo e Taylor (1976).

Legenda:

- Ortogneisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnoquito /
- Ortogneisse paleoproterozóico

Nos diagramas propostos por Frost et al (2001), que elaboraram uma classificação química com base na concentração de alguns elementos maiores, sem considerar aspectos genéticos e de ambiente tectônico da evolução dos mesmos, as amostras do Ortogneisse Serra

da Cangalha mostram *trend* de enriquecimento magnésiano e predominante caráter cálcio-alcalino, mas algumas amostras posicionam-se no campo cálcico e uma amostra (GU-41A) no campo alcalino. O granulito, charnoquito e ortogneisse paleoproterozóico plotam no campo da série cálcica (figura 24). Uma afinidade metaluminosa a fracamente peraluminosa pode ser observada para as amostras do Ortogneisse Serra da Cangalha no diagrama A/CNK – A/NK da figura 25 (índice de Shand, 1943). Por sua vez, as outras rochas estudadas são fortemente metaluminosas.

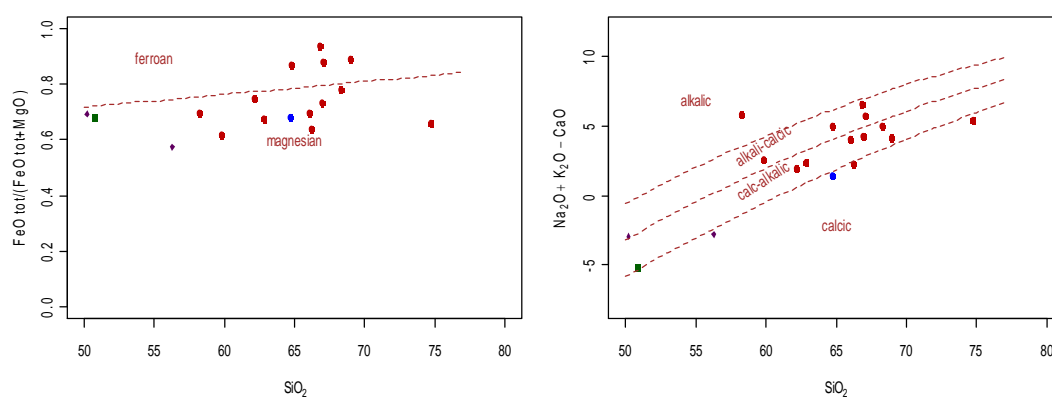


Figura 24: Diagramas de Frost et al.

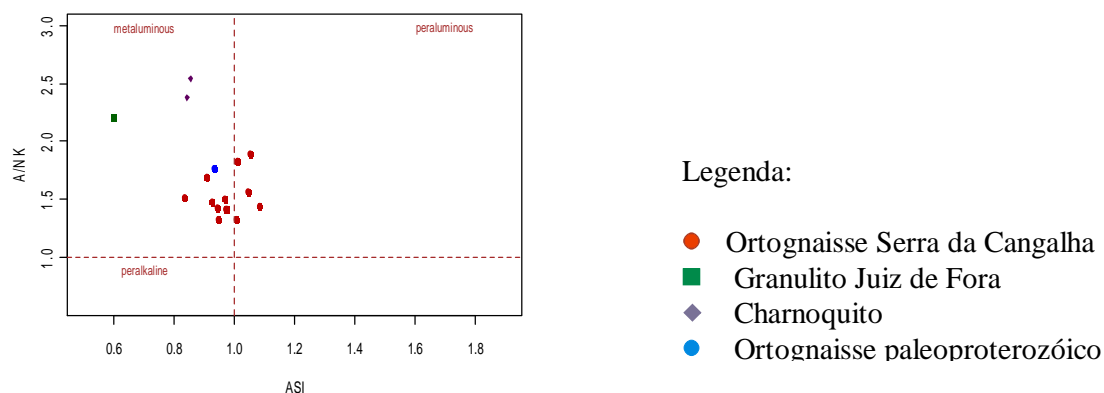


Figura 25: Diagrama A/CNK x A/NK

Com o intuito de pesquisar aspectos relacionados ao provável ambiente tectônico associado à cristalização do ortogneisse Serra da Cangalha, assim como à sua possível fonte

geradora, foram confeccionados diagramas multielementares (*spidergrams*) e de distribuição de ETR. O primeiro utiliza elementos incompatíveis HFSE e LILE, normalizados para MORB, e o segundo distribui os elementos da série dos lantanídeos normalizados para o condrito de Boynton (1984).

Os elementos Terras Raras (ETR) são excelentes indicadores petrogenéticos devido ao seu baixíssimo grau de mobilidade nos processos pós-magmáticos (hidrotermalismo, metamorfismo, intemperismo) em função do seu caráter geralmente insolúvel nos fluidos aquosos, permitindo, portanto, sua ampla utilização.

Os elementos Terras Raras formam um grupo de 15 elementos com número atômico que varia do 57 ao 71 e são trivalentes, exceto Cério e Európio que sob condições especiais de ambiência tornam-se bivalentes. A valência do Európio (Eu) modifica-se em função da fugacidade de oxigênio. Sob baixas condições de fugacidade (ambiente redutor), o Eu torna-se bivalente, tornando-se geoquimicamente semelhante ao Cálcio e ao Estrôncio, substituindo-os em feldspatos e anfibólios, produzindo as anomalias positivas (picos de Eu) e anomalias negativas (depressões nos valores de Eu) observados nas figuras 26a e 26b, respectivamente. Sob condições de alta fugacidade de oxigênio (ambiente oxidante), o Eu tem comportamento semelhante aos demais ETR, ou seja, é trivalente e não produz anomalias, como observado no granulito, em verde, na figura 26c.

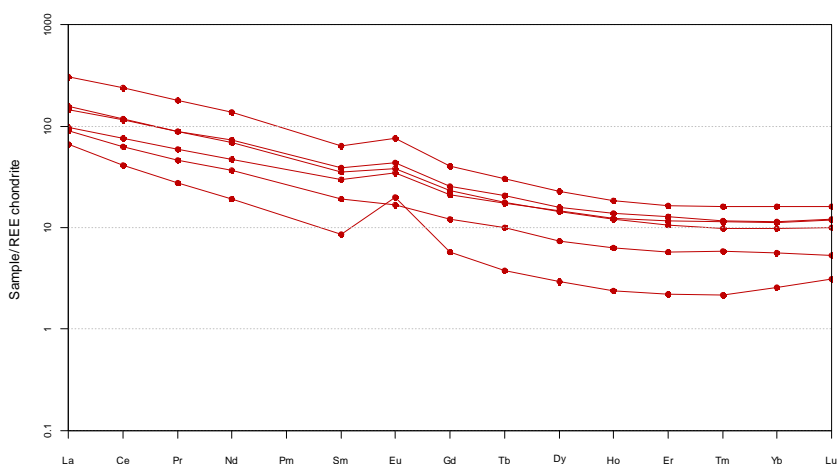


Figura 26a: Diagrama de distribuição de ETR normalizados para o condrito de Boynton (1984), mostrando anomalias positivas de Eu nos ortognaisses.

Legenda: ● Ortognaisse Serra da Cangalha

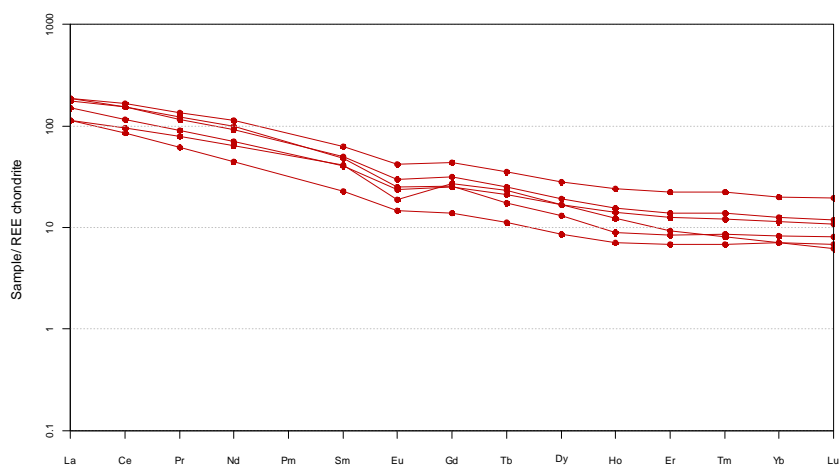


Figura 26b: Diagrama de distribuição de ETR normalizados para o condrito de Boynton (1984), mostrando anomalias negativas de Eu nos ortognaissees.

Legenda: ● Ortognaisse Serra da Cangalha

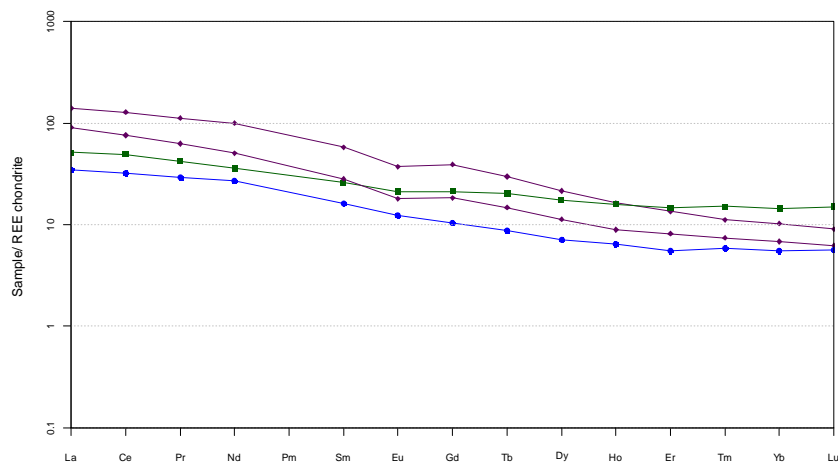


Figura 26c: Diagrama de distribuição de ETR normalizados para o condrito de Boynton (1984), mostrando anomalias negativas de Eu para o charnockito e ausência de anomalias para o granulito

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnockito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

Ao se comparar o comportamento dos ETR para as rochas estudadas, observa-se padrões similares para o Ortognaisse Serra da Cangalha, diferenciando-se somente nas anomalias de Eu como visto nas figuras 26a e 26b. Trata-se de padrões bem fracionados, cuja razão $(La/Yb)_N$ chega a 33,88 mas é evidente maiores teores de ETR leves e intermediários comparado àqueles de ETR pesados. Tal característica salienta a importância da participação de hornblenda e minerais acessórios, como allanita, apatita, monazita e zircão, na concentração de elementos terras raras dessa rocha. Por sua vez, os padrões definidos para o ortognaisse paleoproterozóico e charnockitos e granulito diferem entre si e também do Ortognaisse Serra da Cangalha, o que fortemente sugere fonte distinta para esses litotipos. Para o granulito e ortognaisse paleoproterozóico tem-se um padrão pouco fracionado, refletindo baixos conteúdos de ETR, assemelhando-se àqueles de rochas básicas (Cullers & Graf, 1984).

O diagrama de distribuição de elementos incompatíveis da figura 27 exhibe claramente, para as amostras do Ortognaisse Serra da Cangalha, um enriquecimento nos LILE (elementos mais incompatíveis de grande raio iônico) e um empobrecimento nos HFSE (elementos menos incompatíveis e de alto potencial iônico, portanto, mais imóveis), associados a depressões em Ta e Nb. Tal comportamento sugere um ambiente subductivo com participação de crosta continental durante a geração dessas rochas, como apontado na literatura por Pearce et al. (1983). Diferentes padrões são observados para o ortognaisse paleoproterozóico e granulito, reforçando características já apontadas pela distribuição dos ETR.

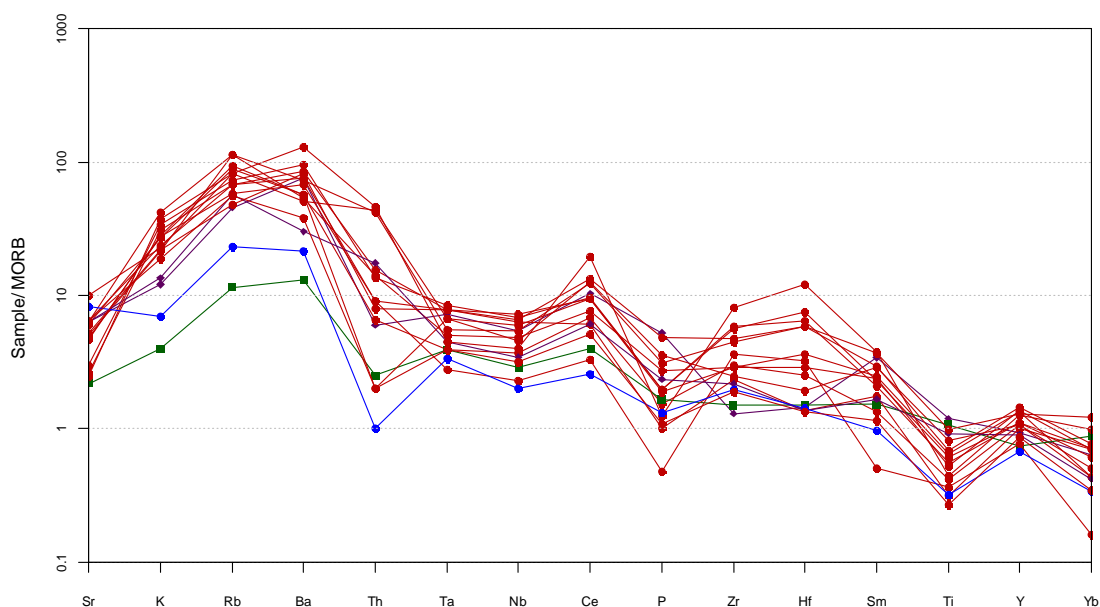


Figura 27: Diagrama multielementar normalizado para o Morb (Pearce, 1983).

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnokito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

Especificamente, com relação aos padrões de ETR do Ortognaisse Serra da Cangalha, a possibilidade de separação de dois grupos em função de anomalias de Eu, como exposto nas figuras 26a e 26b, pode sugerir a existência de duas seqüências distintas não necessariamente cogenéticas. Visando esclarecer esta hipótese, foram confeccionados diagramas de variação usando os elementos incompatíveis K, Rb e Ba como índices de diferenciação, plotados contra os elementos menos incompatíveis V, Nb e Zr. A utilização desses diagramas serve para

verificar se ocorre a separação de grupos de amostras com anomalias positivas daqueles com anomalias negativas de Eu. O resultado se encontra nas figuras 28a, b e c, onde se observa a existência de dois *trends* retilíneos paralelos entre si, como já visto nos diagramas de Harker das figuras 19, 20 e 21. O conjunto de amostras que define cada um desses *trends* não se relaciona com aquelas que possuem anomalias positivas ou negativas de Eu, não corroborando portanto com uma possível hipótese de existência de seqüências distintas no grupo de ortognaisses. Adicionalmente, razões $(La/Yb)_N$ para o Ortognaisse Serra da Cangalha (Tabela 1) não mostram grandes disparidades entre si (a maioria apresenta valores que não ultrapassam duas vezes a menor razão). Alguns autores (Allégre & Minster, 1978, Cox et al., 1979) propõem que num grupo de amostras de seqüências cogenéticas a maior razão $(La/Yb)_N$ não deve ultrapassar cerca de duas vezes a menor razão. Porém, variações um pouco superiores podem estar relacionadas a processos ACF (DePaolo, 1981).

Desta maneira, o Ortognaisse Serra da Cangalha engloba um grupo de rochas geneticamente relacionadas, e a presença de anomalias positivas e negativas de Eu neste grupo provavelmente está associada a uma forte atuação de processos de cristalização de plagioclásio (cujo fracionamento pode provocar anomalias negativas) e de hornblenda, mineral máfico de considerável proporção modal nessa rocha. Novamente, os *trends* retilíneos sugerem provável predomínio de mecanismos de mistura de magmas na evolução da seqüência.

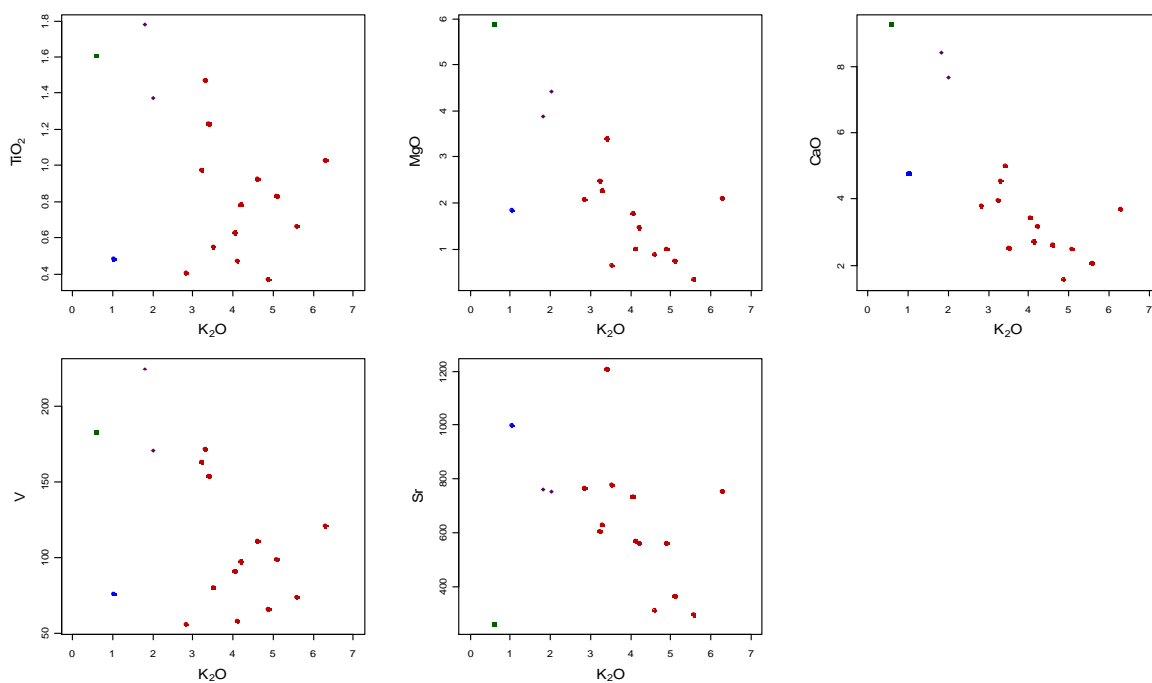


Figura 28a: Diagramas de variação tendo como índice de diferenciação K₂O.

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnoquito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

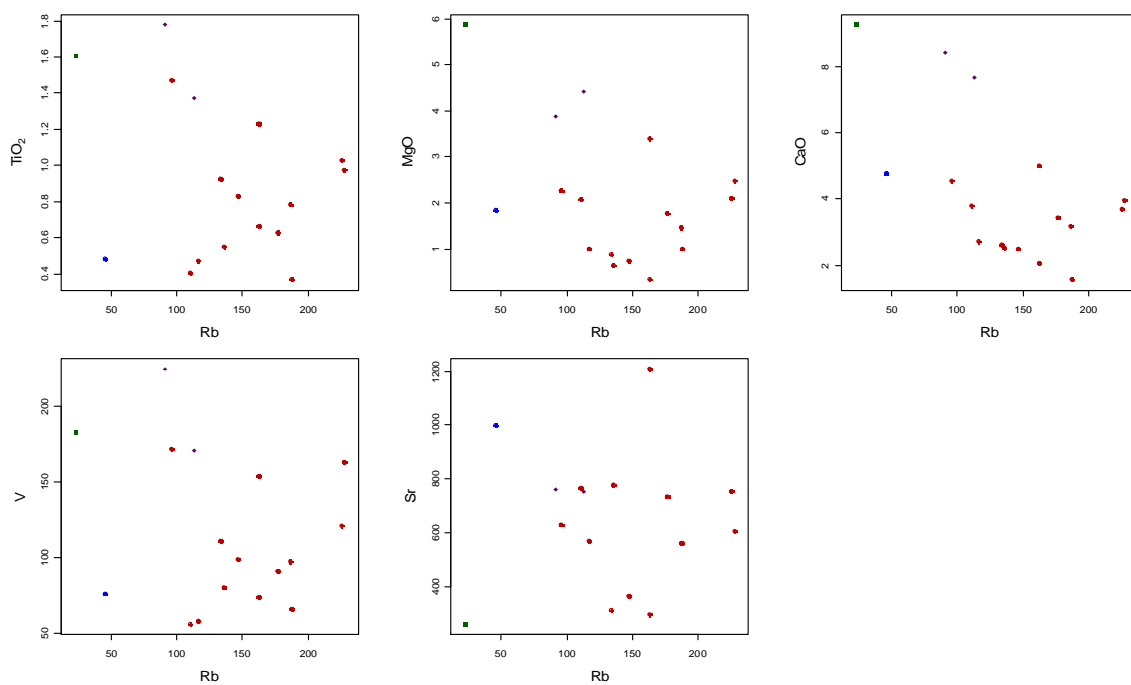


Figura 28b: Diagramas de variação tendo como índice de diferenciação Rb.

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnoquito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

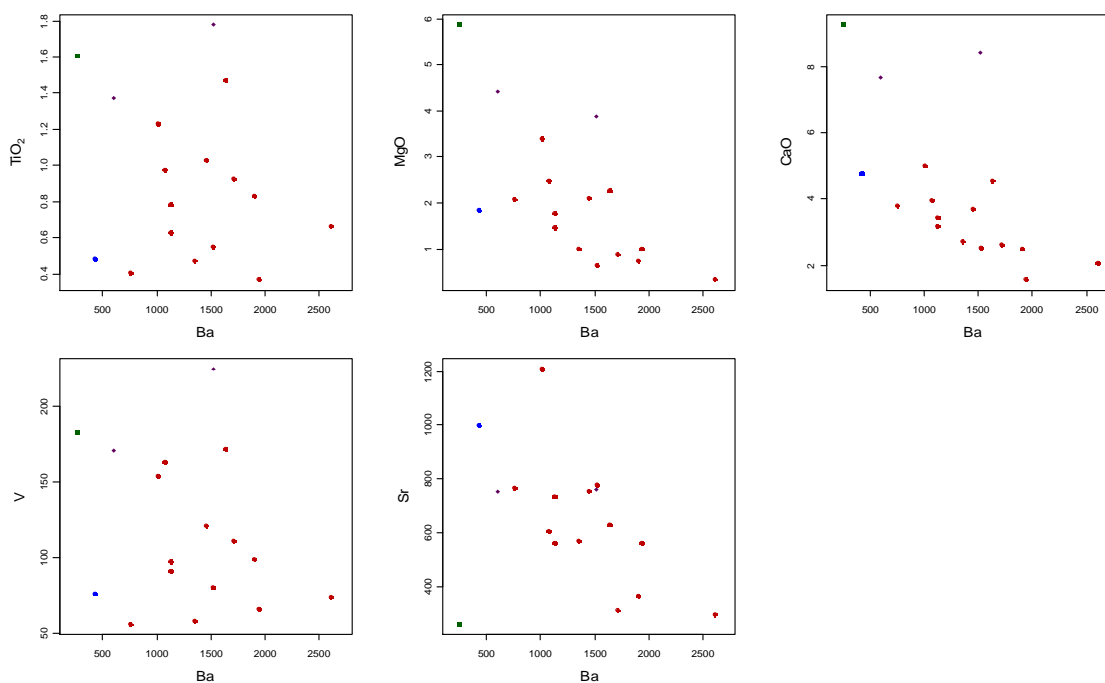


Figura 28c: Diagrama de variação tendo como índice de diferenciação Ba.

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnoquito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

Fazendo-se uso de diagramas de discriminação de ambiente tectônico propostos por Pearce et al. (1984), as litologias estudadas posicionam-se preferencialmente no campo de

granitóides de arcos vulcânicos, corroborando com a existência de um ambiente convergente, de subducção, durante a formação dessas rochas (Figura 29).

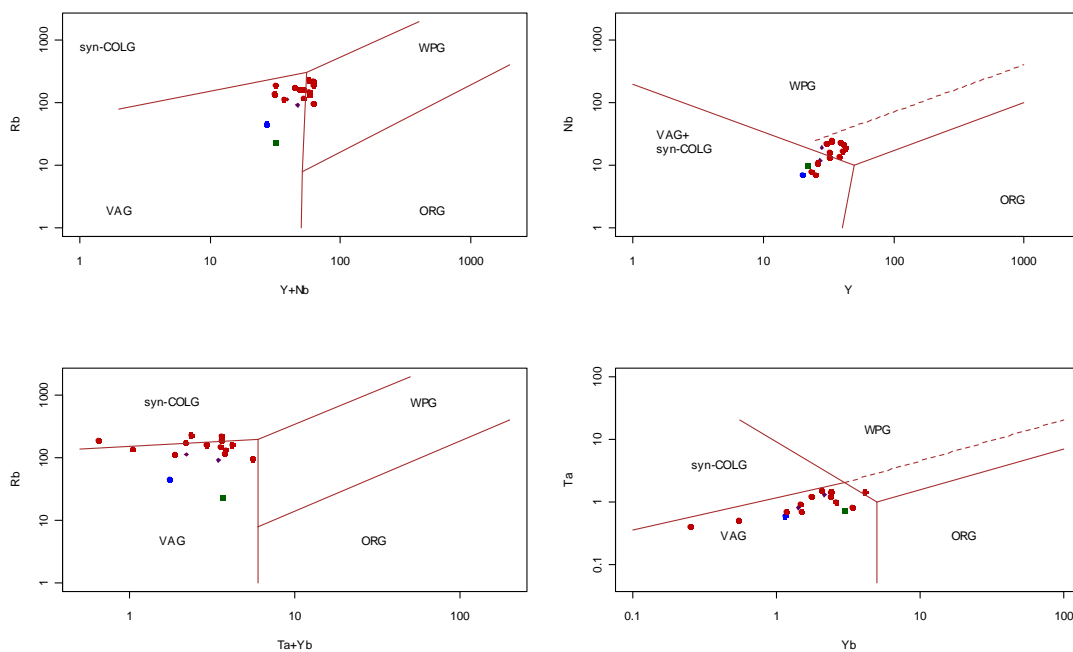


Figura 29: Diagramas de discriminação de ambiente tectônico (Pearce et al 1984).

VAG – Granitos de arcos vulcânicos
WPG – Granitos intraplaca
ORG – Granitos de dorsal mesoceânica

Legenda:

- Ortognaisse Serra da Cangalha / ■ Granulito Juiz de Fora / ◆ Charnokito /
- Ortognaisse paleoproterozóico

V. CONCLUSÃO

A partir do mapeamento geológico e de critérios petrográficos foi possível identificar os seguintes litotipos na área compreendida entre os municípios de Guaçuí e São José do Calçado: hornblenda-biotita ortognaisse, granada-biotita paragnaisse, granulito e charnockito. Os estudos geoquímicos conseguiram separar claramente dois tipos de ortognaises, o Serra da Cangalha, principal foco desta monografia, e um datado como paleoproterozóico, além do granulito e charnockito. As características geoquímicas gerais que diferenciam estes litotipos são:

1. Ortognaisse Serra da Cangalha – enriquecimento em K_2O , Ba, Zr e ETR, pertencente à série cálcio-alcalina de alto K, monzogranítico. Padrão de ETR bem fracionados, exibindo valores maiores que 100 vezes o condrito e anomalias positivas e negativas de Eu.
- 2) Ortognaisse de idade paleoproterozóica – mais pobres em K_2O , Ba e Rb e enriquecimento em Na_2O e CaO, pertencente à série cálcio-alcalina de baixo K, de composição granodiorítica. Padrão de ETR menos fracionados, com menores valores totais, sem anomalias.
- 3) Granulito – rico em Fe_2O_3 , MgO e CaO, pertencente à série toleítica, de composição tonalítica a quartzomonzonítica e sem anomalias de elementos traços. Padrão de ETR pouco fracionado, sem anomalia e com baixos valores totais.
- 4) Charnockito – pertencente à série cálcio-alcalina de médio K, granodiorítico/quartzo monzodiorítico, enriquecido em Fe_2O_3 , CaO e Sr, com anomalias negativas de Eu. Padrão de ETR moderadamente fracionado, com valores totais menores que aqueles do Ortognaisse Serra da Cangalha.

Esses quatro litotipos podem ser separados por suas razões La/Yb:

- O ortognaisse Serra da Cangalha com altas razões $(La/Yb)_N$, em média de 21,29. Diferenças do valor da razão $(La/Yb)_N$ entre o mínimo e máximo de cerca de duas vezes indica que as

amostras analisadas são geneticamente relacionadas.

- O ortognaise paleoproterozóico tem razão $(La/Yb)_N$ igual a 6,28.
- O Granulito apresenta razão $(La/Yb)_N$ igual a 3,57.
- O Charnockito possui razão $(La/Yb)_N$ moderada, com 13,47 em média.

O conjunto de dados geoquímicos e petrográficos apresentados e discutidos nesta monografia permite, portanto, separar claramente diferentes ortognaisses, granulito e charnockito. A assinatura petrográfica e geoquímica do Ortognaise Serra da Cangalha é resumida abaixo e serve de suporte para a proposição de um modelo petrogenético:

1. O diagrama QAP mostra que o protólito do Serra da Cangalha é essencialmente monzogranítico e esse posicionamento praticamente num único campo infere cogeneticidade para estes gnaisses.
2. O diagramas de Harker demonstram enriquecimento em álcalis no Ortognaise Serra da Cangalha, evidenciado pelos altos valores de K_2O e moderados de Na_2O , acompanhadas por anomalias de Ba. Padrões homogêneos de ETR e tendências lineares definidas nos diagramas de variação exibidos neste trabalho sustentam geoquimicamente a cogeneticidade das amostras.
3. Razões La/Yb do Ortognaise Serra da Cangalha diferem nitidamente do ortognaise paleoproterozóico e não mostram grandes disparidades entre si (a maioria apresenta valores que não ultrapassam duas vezes a menor razão), atestando mais uma vez a cogeneticidade das amostras.
4. Os *trends* lineares observados são sugestivos de marcante atuação de mecanismos de mistura de magma durante a diferenciação dessas rochas.
5. Os diagramas utilizados para caracterizar o magmatismo são coerentes com as análises químicas obtidas, onde está caracterizada uma seqüência expandida pertencente a Série cálcio–alcalina a álcali–cálcica de alto K.
- 6) Os diagramas de multielementos e de discriminação tectônica apontam para um ambiente de

arco com participação de crosta continental, gerando rochas cálcio-alcálicas de alto K. A idade do Ortognaisse Serra da Cangalha, que se encontra em vias de ser obtida, é fundamental para a confirmação da hipótese.

Levando em consideração a hipótese levantada por Horn (2006), no relatório da Folha Espera Feliz do Pronageo, de que o Ortognaisse Serra da Cangalha seria um diferenciado do Granitóide Estrela (que se trata de um biotita gnaisse), os dados mineralógicos e geoquímicos obtidos para esta monografia não sustentam tal possibilidade. A associação mineral plagioclásio, ortoclásio, hornblenda e clinopiroxênio indica uma temperatura elevada para a sua cristalização, compatível com a variação química observada.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLÉGRE, C.J., MINSTER, J.F. 1978. Quantitative models of trace elements behaviour in magmatic process. *Earth and Planetary Science Letters*, 38: 1-25.

BOYNTON, W.R. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements meteorite studies. In: HENDERSON, P. (ed). *Rare Earth Element Geochemistry*, pp.63-114. Elsevier, Amsterdam.

COX, K.G.; BELL, J.D. e PANKHURST, R.T. 1979. *The interpretation of the igneous rocks*. Univ. Chicago Press. 450p.

CULLERS, R.L., GRAF, J.L., 1984. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: intermediate and silicic rocks - ore petrogenesis. In: Henderson, P. (Ed.), *Rare earth element geochemistry*. Amsterdam, Elsevier, pp. 275-316.

DE LA ROCHE, H., LETERRIER, J. GRANDCLAUDE, P., MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29 (3/4): 183-210.

DE PAOLO, D.J. 1981. Trace elements and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. *Earth and Planetary Science Letters*, 53: 189-202.

DNIT, 2002. Mapa rodoviário de todo o Brasil, contendo a rede rodoviária do PNV (Plano Nacional de Viação). Ministério dos transportes. Escala 1:600.000. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/menu/rodovias/mapas>. Acesso em 13 Dez. 2008.

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.

HARRIS, N.B.W.; PEARCE, J.A., TINDLE, A.G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: COWARD, M.P. & RIES, A.C. eds *Collision Tectonics*. Geological Society Special Publication, 19,p.67-81.

HORN, A. H. 2006. Programa Geologia do Brasil : Folha Espera Feliz 1:100.000 : SE-24-V-A-IV. Relatório final do Projeto Pronageo da CPRM / UFMG - Belo Horizonte.

IRVINE, T. N. & BARAGAR, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanica rocks. *Can. Jour. Earth Science*. Vol 8: 523-548.

LE MAITRE, R. W. 1989. The chemical variability of sun common igneous rocks. *J. Petrol.* 17: 589-537.

PEARCE, J.A. 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J. & Norry, M.J. (eds), *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich, p. 230-249.

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

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.

ROLLINSON, H. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Group, England, 352p.

SHAND S.J. 1943. *The eruptive rocks*. John Wiley, New York, segunda edição. 444pp

STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonic rocks its proper name. *Earth Science Reviews*, vol. 12, p. 1-33.

TUPINAMBÁ, M., PENHA, H.M., JUNHO, M.C.B. 2003. Arc related to post-collisional magmatism at Serra dos Órgãos region, Rio de Janeiro State, Brazil: products of Gondwana assembly, during the Brailiano-Pan African Orogeny. *In: IUGS, Field trips/International Geological Congress, 31, CD-ROM.*

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE B.P.; NOGUEIRA, J.R.; VALLADARES, C.; ALMEIDA, J.; SILVA, L.G.E.; MEDEIROS, S.R.; ALMEIDA, CG.; MIRANDA, A.; RAGATKY, C.D.; MENDES, J.; LUDKA, I. 2007. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: Estado da Arte e Conexões com a Faixa Araçuaí. *Geonomos* 15(1): 67 - 79, 2007.

VALLADARES, C.S., SOUZA, S.F.M., RAGATKY, D. 2003. The Quirino Complex: a Transamazonian Magmatic Arc of the Central Segment of the Brasiliano/Pan-African Ribeira Belt, SE Brazil. *Revista Universidade Rural, Série Ciências Exatas e da Terra*, 22.

WIKIPÉDIA, 2008. Esta página foi modificada pela última vez às 17h17min de 30 de Novembro de 2008. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Gua%C3%A7u%C3%AD>. Acesso em 02 Dez. 2008.