

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PETROGRAFIA E QUIMISMO MINERAL DE  
ROCHAS GÁBRICAS E SIENÍTICAS DO MACIÇO  
SÃO SEBASTIÃO, ILHA DE SÃO SEBASTIÃO, SP**

Thatiana Augusto

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Roberto Farias Vlach

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2003/53)

SÃO PAULO  
2003

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



**PETROGRAFIA E QUIMISMO MINERAL DE ROCHAS  
GÁBRICAS E SIENÍTICAS DO MACIÇO SÃO  
SEBASTIÃO, ILHA DE SÃO SEBASTIÃO, SP**  
(TF/2003-53)

Thatiana Augusto

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Roberto Farias Vlach

MONOGRAFIA DO TRABALHO DE FORMATURA

SÃO PAULO  
2003



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014491



**PETROGRAFIA E QUIMISMO MINERAL DE ROCHAS  
GÁBRICAS E SIENÍTICAS DO MACIÇO SÃO  
SEBASTIÃO, ILHA DE SÃO SEBASTIÃO, SP**

**THATIANA AUGUSTO**

Monografia de Trabalho de Formatura

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach

Profa. Dra. Maria Helena Bezerra Maia de Hollanda

Prof. Dr. Gergely Andres Julio Szabó

São Paulo

2003

TF  
A923  
T.R



Dedico este trabalho a minha mãe,  
Fabiana Rinaldi, por ter me ensinado  
a nunca desistir de um sonho.

## **AGRADECIMENTOS**

Durante o tempo em que fui aluna da USP, tive a oportunidade de conhecer pessoas a quem devo agradecer, com toda sinceridade, pela amizade com que me acolheram.

Professor Silvio Roberto Farias Vlach pela orientação, incentivo, paciência e cordialidade, fatores que foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Aos amigos que me deram uma grande contribuição ao longo desse tempo, incentivando e ajudando no dia-a-dia, fazendo parte dessa etapa da minha vida: Deyna Pinho, Márcia "KY" Silva Kolar, Adriana "Bisteka" Alves, Frederico "Jaú" Castro Jobin Vilalva, Alexandra "Biza" Suhogosoff, e a toda a turma.

Aos Professores Valdecir Janasi, Gergely Szabó e Excelso Ruberti, meu muito obrigada.

Um agradecimento mais do que especial a minha mãe Fabiana, minha irmã Janaina, minha avó Alice e minha tia Claudia, pela paciência e total apoio nesses cinco anos.

Ao meu companheiro de madrugadas e futuro entendedor de geologia Carlos Eduardo da Cruz Marques Barroco.

Aos amigos e profissionais que vestem a camisa deste instituto e que deram toda assistência para que este trabalho acontecesse: Marcos Mansueto (agradecimentos especiais por toda a ajuda), Angélica, equipes da laminação e da gráfica.

## Índice

ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS.....	vi
ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFIAS.....	vi
ÍNDICE DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
Capítulo 1. Introdução.....	02
1.1 Introdução e colocação do problema.....	02
1.2 Objetivos.....	02
1.3 Atividades desenvolvidas e dificuldades encontradas.....	03
1.4 Aspectos geológicos da Ilha de São Sebastião: uma breve revisão.....	03
Capítulo 2. Materiais e Métodos.....	09
2.1 Amostragem.....	09
2.2 Petrografia microscópica e determinações modais.....	09
2.3 Análises minerais em microssonda eletrônica.....	10
2.4 Tratamentos de dados analíticos.....	11
Capítulo 3. Geologia e petrografia.....	12
3.1 Aspectos geológicos e estruturais.....	12
3.2 Petrografia geral.....	15
3.2.1 Rochas gábricas.....	15
3.2.2 Rochas sieníticas.....	21
Capítulo 4. Mineralogia química.....	27
4.1 Rochas gábricas.....	27
Olivina.....	27
Piroxênio.....	29
Anfibólio.....	31
Mica.....	32
Plagioclásio.....	33
4.2 Rochas sieníticas.....	34
Olivina.....	34
Piroxênio.....	36
Anfibólio.....	38
Mica.....	41

Feldspato alcalino.....	41
Grupo da chevkinita.....	42
Grupo do pirocloro.....	43
Torita.....	45
Capítulo 5. Síntese e considerações finais.....	46
Capítulo 6. Referências bibliográficas.....	48
Anexos	

## Índice de figuras

**Figura 1.1.** Mapa geológico da Ilha de São Sebastião e localização aproximada dos 05 afloramentos estudados. Modificado de Hennies & Hasui 1977. 05

**Figura 3.1.** Ordem de cristalização mineral sugerida das rochas gábricas do Sul da Ilha de São Sebastião. Esta ordem é aproximada, por causa das características cumuláticas observadas nestas rochas. 19

**Figura 3.2.** Ordem de cristalização mineral sugerida das rochas sieníticas do Sul da Ilha de São Sebastião. Sendo: <sup>(1)</sup>: biotita primária, pleocroísmo em tons de incolor-amarelado a vermelho; <sup>(2)</sup>: biotita com zonamento concêntrico, pleocroísmo em tons de verde a vermelho. 24

**Figura 3.3.** Diagrama QAP da I.U.G.S. (Streckeisen 1976) para os dados modais obtidos no Maciço de São Sebastião (Sul da Ilha de São Sebastião). Legenda: 1- gabros / dioritos e 2- álcali-feldspato sienito. 25

**Figura 4.1.** Diagrama ilustrando as variações dos parâmetros  $Mg/(Fe^{2+}+Mg)$  e  $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ , em proporções catiônicas, para olivina presente nas rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1. 28

**Figura 4.2.** Diagrama ilustrando as variações das proporções catiônicas de Mg,  $Fe^{2+}$  e Mn para olivina presente nas rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião, mostrando o caráter mais magnesiano da olivina presente na amostra IBL-03. Símbolos conforme Tabela 4.1. 28

**Figura 4.3.** Diagrama de classificação para os piroxênios presentes nas rochas gábricas e no dique de micro-gabro da região sul da Ilha de São Sebastião, em função dos parâmetros  $Q = Ca+Mg+Fe^{2+}$  e  $J = 2Na$  (em proporções catiônicas), de acordo com Morimoto (1990). Símbolos conforme Tabela 4.1. 29

**Figura 4.4.** Diagrama ternário Wo-En-Fs (proporções moleculares) para os clinopiroxênios das rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião. Observar valores de Wo e especialmente En superiores para o piroxênio presente no micro-gabro. Símbolos conforme Tabela 4.1. 30

**Figura 4.5.** Diagrama ternário Mg-Ca-( $\text{Fe}^{2+}$ ,Mn) em proporções catiônicas para os 30 clinopiroxênios das rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião. Observar valores mais elevados de ( $\text{Fe}^{2+}$ ,Mn) no piroxênio do micro-gabro. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.6.** Diagrama para classificação de anfibólio, levando em consideração Na e 31 Ca+Na, segundo Leake *et al.* (1997) para rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.7.** Diagrama para classificação de anfibólio cálcico, levando em 32 consideração Na e Ca+Na, segundo Leake *et al.* (1997) para rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.8.** Diagrama de classificação da mica presente nos gabros da região sul da 33 Ilha de São Sebastião, em função de  $\text{Al}^{IV}$  e da relação Mg/(Mg+Fe), todo o Fe calculado como bivalente. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.9.** Diagrama ternário Ab-An-Or, em proporções moleculares, para os 33 plagioclásios presentes nos gabros da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.10.** Diagrama ilustrando as variações dos parâmetros Mg/(Fe+Mg) e 35 Fe/(Fe+Mg), em proporções catiônicas, para olivina presente nas rochas sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.11.** Diagrama ilustrando as variações das proporções catiônicas de Mg, 35 Mn e Ca para olivina presente nas rochas nas rochas sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1

**Figura 4.12.** Diagrama ilustrando as variações das proporções catiônicas de Mg, 36 Fe<sup>2+</sup> e Mn para olivina presente nas rochas nas rochas sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.13.** Diagrama de classificação para os piroxênios presente nas rochas 37 sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São sebastião., em função dos parâmetros  $Q = \text{Ca}+\text{Mg}+\text{Fe}^{2+}$  e  $J = 2\text{Na}$  (em proporções catiônicas), de acordo com Morimoto (1990). Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.14.** Diagrama ternário Wo-En-Fs (proporções moleculares) para o piroxênio 37 presente nas rochas sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.15.** Diagrama ternário Mg-Na-( $Fe^{2+}$ ,Mn) em proporções catiônicas para o 38 piroxênio presente nas rochas sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.16.** Diagrama para classificação de anfibólio, levando em consideração Na 39 e Ca+Na, segundo Leake *et al.* (1997) para rochas sieníticas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.17.** Diagrama para classificação de anfibólio Fe-Mg-Mn, levando em 39 consideração  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  e  $Si^{IV}$ , segundo Leake *et al.* (1997) para rochas sieníticas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.18.** Diagrama para classificação de anfibólio cálcico, levando em 40 consideração  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  e  $Si^{IV}$ , segundo Leake *et al.* (1997) para rochas sieníticas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.19.** Diagrama para classificação de anfibólio sódico-cálcico, levando em 40 consideração  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  e  $Si^{IV}$ , segundo Leake *et al.* (1997) para rochas sieníticas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.20.** Diagrama de classificação da mica presente nos gabros da região sul 41 da Ilha de São Sebastião, em função de  $Al^{IV}$  e da relação  $Mg/(Mg+Fe)$ , todo o Fe calculado como bivalente. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.21.** Diagrama ternário Ab-An-Or, em proporções moleculares, para os 42 feldspatos alcalinos presentes nos sienitos da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

**Figura 4.22.** Padrão de distribuição de elementos terras raras para chevkinita e 44 pirocloro para rochas sieníticas da Ilha de São Sebastião.

### **Índice de fotografias**

<b>Fotografia 3.1.</b> Vista parcial do afloramento 28, <i>in situ</i> , de gabros ao longo da estrada principal na região sul da Ilha de São Sebastião.	14
<b>Fotografia 3.2.</b> Detalhe do afloramento anterior, ilustrando o aspecto típico do acamadamento magmático observado nas rochas gábricas, zona de topo do afloramento. Bandas ressaltadas pela alteração correspondem a bandas mais ricas em plagioclásio.	14

### **Índice de fotomicrografias**

<b>Fotomicrografia 3.1:</b> Cristal de pirôxeno zonado, Lâmina IBL 04b, nicóis cruzados. Base da imagem = 2,5 mm.	20
<b>Fotomicrografia 3.2:</b> Agregado máfico, onde podemos observar cristal de biotita intersticial. Lâmina IBL 04c, nicóis cruzados. Base da imagem = 8 mm.	20
<b>Fotomicrografia 3.3:</b> Visão geral da textura do microgabro. Lâmina 90M, nicóis descruzados. Base da imagem = 8 mm.	20
<b>Fotomicrografia 3.4:</b> Orientação dos plagioclásios. Lâmina 04a, nicóis cruzados. Base da imagem = 8 mm.	20
<b>Fotomicrografia 3.5:</b> Cristais de plagioclásio e orientação desses cristais. Lâmina IBL 04b, nicóis cruzados. Base da imagem = 8 mm.	20
<b>Fotomicrografia 3.6:</b> Piroxênio zonado. Lâmina IBL 10b, nicóis cruzados. Base da imagem = 2,5 mm.	20
<b>Fotomicrografia 3.7:</b> Feldspato alcalino, onde podemos observar lamellas de exsolução. Lâmina IBL 15, nicóis cruzados. Base da imagem = 2,5 mm.	26
<b>Fotomicrografia 3.8:</b> Cristal de chevkinita. Lâmina IBL 25, nicóis descruzados. Base da imagem = 1 mm.	26

**Fotomicrografia 3.9:** Piroxênio zonado. Lâmina IBL 25, nicóis descruzados. Base da imagem = 2,5 mm. 26

**Fotomicrografia 3.10:** Agregado máfico, onde temos piroxênio, biotita, anfibólio e olivina. Lâmina IBL 25, nicóis descruzados. Base da imagem = 2,5 mm. 26

**Fotomicrografia 3.11:** Visão geral da textura da rocha. Lâmina 14, nicóis descruzados. Base da imagem = 8 mm. 26

**Fotomicrografia 3.12:** Anfibólio, com zoneamento em tons de verde a marron. Lâmina IBL 25, nicóis descruzados. Base da imagem = 2,5 mm. 26

**Fotomicrografia 4.1.** Imagem BEI de chevkinita, da lâmina IBL 25, rocha sienítica da Ilha de São Sebastião. Base da imagem = 900 Micrômetros. 43

**Fotomicrografia 4.2.** Imagem BEI de pirocloro, da lâmina IBL 25, rocha sienítica da Ilha de São Sebastião. Base da imagem = 700 micrômetros. 44

### **Índice de tabelas**

**Tabela 3.1:** Localização das amostras (UTM – km), litotipo presentes e estruturas. 13  
Sendo: <sup>(1)</sup>: foliação metamórfica; <sup>(2)</sup>: fluxo ígneo; <sup>(3)</sup>: bandamento; <sup>(4)</sup>: lineação

**Tabela 3.2:** Dados modais para rochas gábricas estudadas. \* Outros: apatita, 18 saussurita, titanita, clorofeita, produtos tardi a pós-magmáticos.

**Tabela 3.3:** Dados modais para as rochas sieníticas estudadas. \* Outros: apatita, 24 zircão, chevkinita, produtos tardi a pós-magmáticos.

**Tabela 4.1:** Simbologia utilizada nos diagramas representados para os grupos das 27 rochas gábricas e sieníticas da Ilha de São Sebastião.

## Resumo

Na Ilha de São Sebastião, litoral norte do Estado de São Paulo, ocorrem sienitos alcalinos (Maciços de Serraria, São Sebastião e Mirante), intrusões gábricas estratificadas e enxames de diques associados, que fazem parte da Província Alcalina da Serra do Mar, com idades em torno de 80 Ma.

O Maciço São Sebastião ao S da Ilha, em contato com importante intrusão gábrica estratiforme, que mergulha suavemente sob o primeiro. Os gabros estudados, de filiação alcalina, são traquitóides, em parte cumuláticos, com plagioclásio labradorítico (An45-An60) como única fase félsica. A olivina é forsterítica ( $mg\# = 0,67-0,70$ ), o clinopiroxênio corresponde a um diopsídio com  $mg\# = 0,78-0,93$  refletindo a cristalização de precoce de abundante magnetita e ilmenita junto com olivina. O anfibólito, que substitui o clinopiroxênio, é uma kersutita ( $TiO_2$  até 5,2 %,  $mg\# = 0,65-0,76$ ). A mica é uma flogopita ( $TiO_2$  até 6,4 % e  $mg\# = 0,69-0,82$ ).

As rochas sieníticas são álcali-feldspato sienitos e traquitos, com feldspato alcalino e quartzo ocasional. São rochas maciças holo- a leucocráticas cuja textura é dominada por feldspato tabular ( $Ab_{60}Or_{40}$ ), os minerais maficos sendo intersticiais. Apresentam faialítica ( $mg\#$  entre 0,02 e 0,07); clinopiroxênio (diopsídio-hedembergita,  $mg\# 0,56-0,12$ ) e hornblenda-Fe, predominante com  $mg\# 0,45$  até 0,05 nas fases mais tardias, classificadas como barroisita-Fe. As micas são ricas em anita ( $mg\# < 0,2$ ) e apresentam teores significativos de Al tetraédrico (1,6 a 2,1 cpfu).

Chevkinita, pirocloro, ítrio-pirocloro e torita são acessórios típicos de algumas amostras, que foram descritos pela primeira vez em sienitos da Ilha.

### **Abstract**

The Island of São Sebastião, north coast of the State of São Paulo, is made almost of alkaline syenites (Serraria, São Sebastião and Mirante massifs) and layered gabbro intrusions and dike swarms. It is part of the Serra do Mar Alkaline Province, with ages about 80 Ma.

The São Sebastião Massif, S of the Island, is in contact with an important layered gabbro intrusion, which underlies it. The studied gabbros, with alkaline affinity, are trachytoid- and cumulate-textured rocks. They resent labradoritic plagioclase ( $An_{45}-An_{60}$ ) as the only felsic mineral. Olivine is a forsterite (mg # = 0.67-0.70), the clinopyroxene is a diopside, with lower mg #, about 0.78-0.93, reflecting abundant magnetite and ilmenite crystallization together with olivine; the amphibole, partially substituting clinopyroxene is a kaersutite ( $TiO_2$  up to 5.2 %, mg # = 0.65-0.76). The mica is a phlogopite ( $TiO_2$  up to 6.4 % and mg # = 0.69-0.82). The syenitic rocks are alkali-feldspar syenites and trachytes, with alkali-feldspar and occasional quartz. They are hololeucocratic to leucocratic massive rocks; composed of dominant platy feldspar crystals ( $Ab_{60}Or_{40}$ ) and interstitial mafic minerals. They present fayalite (mg # = 0,02-0,07); clinopyroxene (diopside-hedembergite, mg # 0,56-0,12) and hornblende-Fe, predominant, with mg # 0,45 up to 0,05 in the late phases, classified as barroisite-Fe. The micas are rich in annite component (mg # < 0,2) and present significant  $Al^{IV}$  (1.6 -2.1 cfpf).

*Chevkinite, pyrochlore, yttrium-pyrochlore and thorite are typical accessory minerals in some syenite samples. They are described for the first time in such rocks.*

## 1.1. Introdução e colocação do problema

O magmatismo alcalino da Província Serra do Mar (Ulbrich & Gomes 1981; Almeida 1983; Morbidelli *et al.* 1995) tem sido objeto de estudos geológicos e petrológicos intensivos iniciados já ao início do século passado. O interesse de pesquisadores pelas rochas alcalinas da província se deve, não somente pela sua mineralogia e petrologia ímpares, mas também pelo seu potencial econômico e pela importância para a compreensão da evolução geodinâmica dos mantos astenosférico e litosférico e da margem continental Atlântica na região sudeste do Brasil durante o Mesozóico.

A Província Serra do Mar reúne cerca de vinte maciços alcalinos e numerosos enxames de diques de rochas lamprofíricas e alcalinas félsicas, distribuídos na Serra da Mantiqueira e por todo o litoral entre os estados do Rio de Janeiro e de São Paulo, além de diversas ilhas próximas. Em diversos deles a associação de rochas alcalinas félsicas com rochas gábricas, em geral estratificadas e também de filiação alcalina, é uma característica muito marcante (Ulbrich & Gomes 1981).

Uma das ocorrências alcalinas mais importantes aparece na Ilha de São Sebastião, também conhecida como *Ilhabela*, no Litoral Norte do Estado de São Paulo, em que afloram três maciços de rochas sieníticas, denominados respectivamente Serraria, São Sebastião e Mirante por uma área de ca. 300 km<sup>2</sup> aos quais se associam alguns corpos de rochas gábricas e manifestações subvulcânicas na forma de diques de diabásio, de rochas lamprofíricas ultramáficas e alcalinas e de rochas alcalinas félsicas (Freitas 1947; Hennies & Hasui 1977; Bellieni *et al.* 1990).

A partir do trabalho pioneiro de Freitas (1947), em que o autor descreve e discute diversos aspectos da geologia da ilha, muitos pesquisadores dedicaram-se ao estudo da geologia, mineralogia e petrologia das rochas alcalinas que afloram na Ilha de São Sebastião (ver revisão em Lima 2001). Entretanto, apesar do grande número de trabalhos já existentes em literatura abordando diversos temas geológicos, petrográficos e químicos, informações de maior detalhe, particularmente sobre petrografia e o quimismo de das fases minerais mais importantes ainda são escassas (e.g., Bellieni *et al.* 1990; Lima 2001; Lima & Schorsch 1999), fato em grande parte devido às dificuldades de acesso e amostragem.

## 1.2. Objetivos

No panorama do conhecimento atual das ocorrências de rochas sieníticas e gábricas da Ilha de São Sebastião, mais especificamente do Maciço São Sebastião, na região Sul da Ilha, a presente monografia pretende detalhar alguns aspectos petrográficos e de químismo

das principais fases minerais presentes em rochas gálicas e sieníticas, através do estudo de algumas amostras típicas selecionadas.

Pretende-se desta forma adicionar dados que venham a subsidiar futuros estudos mineralógicos e petrológicos destas rochas tendo em vista a gênese e evolução do magmatismo alcalino na região litorânea do Estado de São Paulo.

Neste sentido, a obtenção de dados petrográficos de detalhe e, em especial, sobre a composição e evolução do quimismo das fases minerais presentes nas rochas é uma etapa essencial para quaisquer estudos que objetivem uma compreensão melhor fundamentada da evolução do magmatismo alcalino na região.

### 1.3. Atividades desenvolvidas e dificuldades encontradas

As atividades desenvolvidas para a concretização da presente monografia incluiram principalmente estudos de biliografia selecionada, trabalhos de campo expeditos e trabalhos de laboratório, com destaque para descrições petrográficas macroscópicas e microscópicas de amostras selecionadas e análises de quimismo mineral através de microssonda eletrônica para as fases minerais principais presentes em rochas gálicas e sieníticas.

A caracterização ao microscópio petrográfico enfatizou o reconhecimento das fases minerais presentes, as texturas das rochas tendo em vista uma avaliação para a seqüência relativa de cristalização destas fases e a classificação das rochas com base em determinações modais. O quimismo das principais fases minerais foi utilizado para sua caracterização química e classificação, bem como para se ter uma avaliação inicial das respectivas tendências evolutivas. Estes resultados foram rapidamente integrados com os dados petrográficos no sentido de se contemplar uma primeira interpretação para a evolução textural e química das principais fases minerais principais das rochas estudadas.

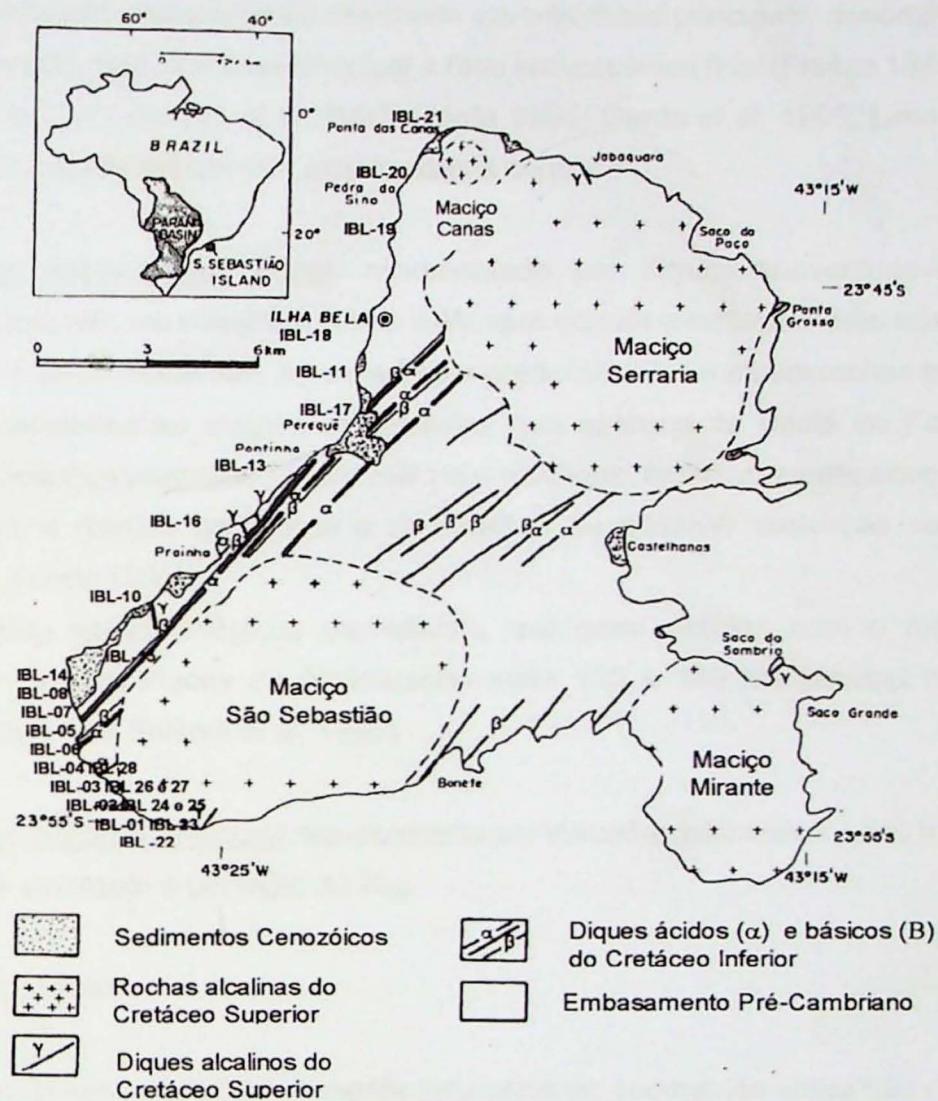
Algumas dificuldades foram encontradas no decorrer do trabalho que acarretaram alguns prejuízos no desenvolvimento normal do trabalho. As principais estiveram relacionadas a alguns problemas para a obtenção de imagens de boa qualidade das seções petrográficas, a suspensão das atividades no laboratório de microssonda por cerca de 20 dias por problemas instrumentais, além de problemas adicionais de saúde da signatária.

### 1.4. Aspectos geológicos da Ilha de São Sebastião: uma breve revisão

A Ilha de São Sebastião (*Ilhabela*), litoral norte do Estado de São Paulo, constitui uma continuação da plataforma do sudeste do Brasil, denominada Complexo Costeiro, que foi cratonizada ao início do Fanerozóico ao final do denominado Ciclo Brasiliano (ca. 650 – 480 Ma). A ilha resultou da abertura do Oceano Atlântico Sul, com início há cerca de 150 Ma. Apresenta uma área de ca. 336 km<sup>2</sup> e está separada do continente pelo Canal de São

Sebastião de direção geral NE, instalado na parte central de uma espessa zona de fraturamento, erodida e submersa por intemperismo diferencial (Freitas 1944, 1947; Amaral *et al.* 1967; Almeida 1983).

A Ilha (Figura 1.1) corresponde portanto a um bloco crustal precambriano em que se colocaram importantes intrusões mesozóicas plutônicas e subvulcânicas de naturezas ultrabásica a básica e intermediária e também alcalina. Na ilha o embasamento precambriano é subordinado; predominam amplamente rochas plutônicas sieníticas alcalinas que afloram por uma área aproximada de 300 km<sup>2</sup> e constroem três maciços discretos, denominados Serraria (o maior, ao norte), São Sebastião (ao sul) e Mirante (o menor, aflora no extremo sudeste), os quais marcam a topografia extremamente acidentada da ilha, com altitudes que alcançam 1380 m. Rochas gábricas de filiações toleítica e alcalina afloram principalmente na parte norte da ilha, onde constituem importantes corpos, cuja geometria ainda é pouco conhecida, nas regiões de Canas e da Ponta da Pacuíba. Enxames de diques de rochas ultramáficas de aspecto lamprofírico, de rochas máficas diversas e de variedades alcalinas félsicas ocorrem em diversas gerações, cortanto o embasamento cristalino e, em parte, tanto as rochas gábricas, quanto as rochas sieníticas.



**Figura 1.1:** Mapa geológico da Ilha de São Sebastião e localização aproximada dos afloramentos estudados.

Modificado de Hennies & Hasui 1977.

As rochas pré-cambrianas estão representadas principalmente por variedades de gnaisses para- e orto-derivados, de migmatitos e de possíveis charnockitos (Freitas 1947). Zonas de cizalhamento rúptil-dúctil blastomiloníticas a ultramyloníticas, veios pegmatíticos e de quartzo deformados, apresentam direção preferencial NE. De acordo com Lima (2001) a foliação metamórfica principal na parte W da Ilha tem direção preferencial NE, com cimentos de alto ângulo para NW, contrastando com à observada nas regiões continentais próximas, onde apresenta cimentos de ângulos baixos a médios.

O magmatismo mesozóico se manifesta em três fases principais, denominadas fase subvulcânica inicial, fase plutônica principal e fase subvulcânica final (Freitas 1947; Hennies e Hasui 1968 e 1977; Bellieni et al. 1990; Garda 1995; Garda et al. 1995; Lima 2001). As suas principais características são sintetizadas a seguir:

I. magmatismo subvulcânico inicial, representado por diques subverticais orientados preferencialmente NE, mas também N-S e E-W, que cortam o embasamento cristalino mas não cortam os maciços alcalinos. As variedades predominantes incluem rochas basálticas e andesíticas associadas ao magmatismo básico que aparece na Bacia do Paraná, mas também são descritos lampróficos ultramáficos e alcalinos, mais raramente ocorrem, ainda, leucoandesitos e dacitos porfiríticos e ultrabasitos de possível derivação carbonatítica (Freitas 1947; Garda 1995).

Os dados geocronológicos disponíveis, em geral obtidos com o método K/Ar convencional, indicam idades de cristalização entre 120 e 140 Ma (Amaral et al. 1967; Sonoki & Garda 1988; Bellieni et al. 1990).

II. magmatismo plutônico principal, representado por intrusões gábricas e pelos três maciços sieníticos, que dominam a geologia da ilha.

### II.1 *Intrusões gábricas*

Afloram como corpos relativamente pequenos de geometrias ainda não conhecidas, pois afloram principalmente na forma de blocos rolados. Os dados geoquímicos existentes sugerem que constituam duas linhagens magmáticas distintas, uma de natureza alcalina, outra toleítica (Lima 2001). As rochas predominantes incluem peridotitos, piroxenitos, gabros, alguns contendo nefelina modal, e plagioclásitos, arranjados em intrusões de tipo estratiforme.

Os dados geocronológicos, também K/Ar, indicam idades de cristalização/resfriamento no intervalo entre 85 a 95 Ma (Amaral et al. 1967; Hennies & Hasui 1968; Sonoki & Garda 1988).

Estudos detalhados da Ilha de São Sebastião, são voltados para a porção norte, sendo que a porção sul (área de estudo) não possui descrições detalhadas, o que contribuiria para um melhor entendimento da evolução petrológica da Ilha.

Intrusões gábricas estratiformes com diferenciados ultramáficos e ultrabásicos foram estudados por Lima (2001) e afloram na parte NNW da Ilha de São Sebastião em três áreas de ocorrência principais: na Ponta da Pacuíba, Ponta das Canas e Praia da Armação. Esses afloramentos são tipicamente de "mar de blocos" paraútones, dificultando o estabelecimento preciso de relações magmato-estratigráficas e estruturais internas dos corpos no campo.

As intrusões gábricas cortam o embasamento precambriano granito-gnaissico e migmatítico do Complexo Costeiro do Litoral Norte de São Paulo, inclusive uma geração de diques básico-ultrabásicos, compreendendo diabásios seguidos de lamprofiros, inicial do magmatismo mesozóico. Os gabros são cortados inicialmente por seus diferenciados tardios, incluindo peridotitos e piroxênitos em veios por vezes pegmatóides e anortositos em veios e venulações, seguidos de microgabros em diques bem definidos. Seguem-se ainda uma 2<sup>a</sup> geração de diques básicos a intermediários, variando de basaltos a dacitos, por vezes, microxenolíticos e trascionais para verdadeiras brechas magmáticas, assim como a intrusão dos sienitos do stock Serraria. As relações entre a 2<sup>a</sup> geração de diques e os sienitos não é clara; afloramentos regionais indicam que os diques da 2<sup>a</sup> geração poderiam ser também intrusivos nos sienitos.

Dentre os constituintes maiores dos corpos gábricos estratiformes destacam-se leuco e mesogabros como litotipos principais, seguidos, com abundância decrescente, de piroxênitos, anortositos e peridotitos, ora isotrópicos, ora cumuláticos com estruturas de sedimentação magmática, tais como bandamento/acabamento plano-paralelo (em bandas de espessura e composições variáveis), bandamento rítmico, estratificação gradacional, cruzada acanalada associada a discordâncias erosivas, além de estruturas de deformação gravitacional (por slumping e sliding) e brechas de borda e de reintrusão de câmara magmática, entre outras.

Os estudos efetuados por Lima (2001) revelaram em especial que a formação dos corpos gábricos diferenciados ocorreram por mecanismos de intrusões múltiplas, gerando rochas de duas linhagens principais, uma de gabros subalcalinos e tholeiíticos e a outra de gabros alcalinos nefelínicos; ambas, com seus respectivos diferenciados de câmara magmática, compreendendo peridotitos, piroxênitos e anortositos, precoces cumuláticos estratiformes, e em veios intrusivos tardios, por vezes, muito grossos pegmatóides. As reintrusões originaram as brechas de câmara magmática com fragmentos de gabros e seus diferenciados em matrizes gábricas, variando de grossas até microgábricas.

Com base nos resultados petrográficos e nas modelagens litogegeoquímicas conclui-se que, os gabros principais subalcalinos e tholeiíticos e alcalinos poderiam ter relações

genéticas entre si e com os diques básico-ultrabásicos das duas gerações, sendo derivados de fontes mantélicas de tipo OIB ou similares, por fusão parcial variável e tendo sofrido fracionamento de cromita e olivina com Ni durante a ascensão. Representariam frações deste magmatismo colocadas em corpos intrusivos menores, em consequência do abortamento temporário da tectônica de abertura do sistema de 'rift' que gerou os enxames de diques do Canal de São Sebastião (pré e pós-gabros).

### III.1. *As rochas sieníticas*

São amplamente predominantes na ilha e constituem uma das maiores ocorrências de rochas alcalina do Brasil. Apresentam morfologia subcircular e sustentam a topografia da ilha. Incluem tanto variedades super-saturadas (alcali-feldspato sienitos com quartzo) quanto insaturadas (com nefelina), hololeucocráticas e leucocráticas, contendo piroxênio, anfibólio e/ou biotita como minerais máficos típicos. As relações entre as variedades super-saturadas e insaturadas não estão ainda adequadamente definidas; acredita-se que as primeiras contenham contribuições das rochas encaixantes adquiridas por mecanismos de assimilação.

As relações geológicas, principalmente a presença de alguns xenólitos, indicam que as rochas sieníticas são mais jovens que as rochas gábricas (Freitas 1947; Lima 2001). As idades K/Ar indicam um intervalo entre 80 e 85 Ma para a intrusão/resfriamento dos maciços sieníticos (Amaral et al. 1967; Hennies & Hasui 1968; Sonoki & Garda 1988).

Com base apenas em modelagens litogeоquímicas não podem ser excluídas relações genéticas de diferenciação por cristalização fracionada entre os gabros principais e os sienitos do stock Serraria. Entretanto, a ocorrência de xenólitos angulosos de gabros e piroxênitos nos sienitos, a falta de termos petrográficos e geoquímicas transicionais e também as proporções volumétricas relativas muito predominantes dos sienitos, sugerem que estes não são produtos de diferenciação de gabros. Os sienitos poderiam estar geneticamente relacionados com carbonatitos que, embora raros e subordinados, já foram descritos e postulados na literatura como eminentes para a região (Garda 1995; Garda & Schorsch 1996, Montes-Lauar 1993).

III. magmatismo subvulcânico final, o menos conhecido até o presente, está representado por enxames de diques de pequeno porte que cortam ambos os maciços sieníticos e os corpos gábricos. Incluem variedades desde ultrabásicas a alcalinas com texturas e granaulações muito variadas, desde afaníticas até grossas ou mesmo pegmatóides. São descritos micro-piroxênitos, teschenitos, micro-gabros, micro-sienitos diversos, fonolitos, diabásios raros e traquitos. Algumas destas rochas apresentam similaridades cronológica e

genética, representando fases tardias relacionadas às rochas plutônicas gábricas e sieníticas.

As idades K/Ar sugerem um amplo intervalo para a sua colocação, desde 55 até 81 Ma (Amaral et al. 1967; Bellieni et al. 1990; Garda 1995).

## Capítulo 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Amostragem

A topografia muito acentuada e a vegetação muito densa na Ilha de São Sebastião tornam extremamente difícil os trabalhos de campo e a coleta de amostras frescas *in situ* das rochas que nela afloram.

Entretanto, a pavimentação recente da via de acesso para a região sul da Ilha permitiu o acesso a afloramentos novos e relativamente frescos, *in situ*, até então não conhecidos nesta área, em que aparecem rochas gábricas e também facilitou a amostragem de rochas sieníticas. Neste último caso, os afloramentos visitados são constituídos por blocos de dimensões significativas; assim, dado o elevado declive topográfico, é provável que estes blocos não estejam *in situ*, mas com certeza são representativos do Maciço São Sebastião.

Para este trabalho foram realizadas duas etapas de campo nos meses de Setembro e Outubro, cada uma com duração de um dia, em que foram coletadas diversas amostras. Outras, entre as amostras estudadas haviam sido previamente coletadas pelo Dr. Valdecir A. Janasi. Ao total foram estudadas 22 amostras de rochas gábricas e sieníticas, entre as quais 11 sienitos e 11 gabros foram estudadas ao microscópio petrográfico e 5 e 6, respectivamente, foram selecionadas para análises minerais com microssonda eletrônica.

### 2.2. Petrografia microscópica e determinações modais

As análises petrográficas foram efetuadas através do estudo ao microscópio de seções petrográficas convencionais e seções delgadas-polidas, sob luzes transmitida e refletida, no Laboratório de Óptica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica. As atividades incluiram a caracterização, descrição e documentação com imagens da mineralogia e de aspectos texturais das rochas, incluindo os minerais opacos e acessórios, através de técnicas clássicas de microscopia petrográfica, e determinações modais com *charriot* e contador de pontos.

As descrições enfatizaram a caracterização das fases minerais presentes e da textura das rochas, tendo em vista interpretações relativas à seqüência de cristalização, bem como a sua documentações através de imagens digitais e fotografias convencionais.

Avaliações do teor de anortita em plagioclásio das rochas gábricas foram efetuadas através do método das extinções simétricas na zona [010] de Michell-Levy.

Quantificações modais foram efetuadas em todas as amostras selecionadas com *charriot* e contador manual de pontos. Foram integrados 1500 pontos em cada seção, distribuídos segundo uma malha quadrada regular, com espaçamento de 0,5 vs 0,5 mm, cobrindo uma área aproximada de 800 mm<sup>2</sup>. Em cada lâmina foram feitas integrações parciais a cada 250 pontos para comparação dos resultados progressivos obtidos.

### 2.3. Análises minerais em microssonda eletrônica

As análises de químismo mineral foram efetuadas no Laboratório de Microssonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Geotectônica, que conta com um equipamento JEOL-8600S provido de 05 espectrômetros WD, com cristais analisadores STE/TAP, TAP/PET, PET/LIF, PET/LIF e PET/LIF, respectivamente, e 01 espectrômetro ED com sistema de automação *Voyager* 4.4. da Noran. As análises foram efetuadas em seções delgadas-polidas convencionais, previamente cobertas com uma película de ca. 25 nm de C, com o evaporador AUTO 206 da Edwards.

O trabalho contemplou principalmente análises pontuais quantitativas por dispersão de comprimentos de onda (WDS) de cristais selecionados representativos das fases minerais mais típicas presentes. Foram enfatizadas análises convencionais para elementos maiores e menores nas fases minerais principais presentes nas rochas estudadas: olivina, piroxênio, anfibólio, mica e feldspatos. Análises qualitativas por dispersão de energia (EDS) mostraram a ocorrência de algumas fases raras entre os minerais acessórios, ainda não descritas nas rochas sieníticas da ilha: chevkinita, pirocloro e torita. Para estes minerais foram também obtida imagens de elétrons retro-espalhados (BEI) em modo composicional e realizadas análises quantitativas completas, incluindo elementos terras raras e alguns outros traços, com WDS.

Em cada seção delgada-polida selecionada foram escolhidos cerca de um ou dois cristais de cada geração textural e/ou espécie mineral; as análises foram efetuadas preferencialmente nas regiões de núcleo, zona intermediária e borda dos destes cristais, considerando-se para tanto a presença de zonamentos químicos evidenciados através de variações nas tonalidades de pleocroísmo observadas ao microscópio petrográfico e as imagens BEI no caso dos acessórios raros. As etapas analíticas envolveram cerca de quatro dias de trabalhos no Laboratório.

As condições analíticas empregadas foram 15 kV, 20 nA e  $\phi = 5$  ou 10  $\mu\text{m}$  para a voltagem de aceleração, corrente e diâmetro do feixe eletrônico, respectivamente, para os minerais principais, e 20 kV, 50 nA e  $\phi = 5$  para chevkinita, pirocloro e torita (15 kV, 20 nA e  $\phi = 1$  para imageamento BEI). No caso dos minerais mais comuns formadores de rocha

foram utilizadas as rotinas analíticas convencionais disponíveis no laboratório; no caso de chevkinita, pirocloro e torita, forma empregadas rotinas específicas desenvolvidas pelo orientador para minerais similares (e.g., Vlach, 1999).

Os padrões analíticos utilizados correspondem a compostos naturais e sintéticos conforme referidos internamente no laboratório e os tempos de integração de pulsos variaram de 10s para os elementos maiores e até 60s para alguns dos elementos presentes em quantidade de traços. As correções para os efeitos de matriz (número a absorção atômicos, fluorescência secundária) foram efetuados *on line* com o procedimento PROZA, exclusivo da Noran.

Para o controle dos erros analíticos nas análises efetuadas, foram realizadas leituras completas de alguns padrões clássicos (e.g., hornblenda Arenal, piroxênio Kakanui, plagioclásio Anortita). Os erros finais estimados para as análises apresentadas são da ordem de 1 a 2% relativo para os elementos maiores (acima de 10 % em peso do elemento), 5 % para os elementos menores (1-5 %) e superiores a 10% para os elementos traços ( $\leq 1\%$ ).

No total foram obtidas cerca de 23 análises para olivina, 58 para piroxênio, 31 para plagioclásio, 10 para feldspato alcalino, 54 para anfibólio, 38 para biotita, 19 para chevkinita, 10 para pirocloro e 3 para torita.

#### 2.4. Tratamento de dados analíticos

O cálculo das proporções catiônicas, fórmulas estruturais, a representação em diagramas dos resultados, bem como a classificação das fases minerais, foram efetuados com os programas MinCal (Vlach & Gualda inédito) e MinPet (Richard 1996). No caso dos piroxênios a partição entre  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  foi feita de acordo com Droop (1987). Já para os anfibólios, em que o (OH) é uma variável adicional, seguiu-se a sugestão de Schumacher (e.g., Leake et al. 1997), selecionando-se porém o valor máximo de  $Fe^{3+}$  ao invés do valor médio, pois os resultados são mais adequados com os dados existentes em literatura (e.g., Gualda & Vlach, 2000). No caso das micas, todo o Fe foi considerado, por simplicidade como  $Fe^{2+}$ .

No caso dos minerais raros, as proporções catiônicas foram calculadas considerando-se 22 O (chevkinita), 4 Si (torita) e  $\Sigma M$  (Ti,Nb,Ta) = 2 (pirocloro). O Y foi adicionado nos padrões em substituição ao Ho de difícil quantificação com microssonda, considerando-se um fator de normalização de 1,9.

### 3.1. Aspectos geológicos e estruturais

Os trabalhos de campo consistiram de perfis geológicos expeditos realizados ao longo da estrada principal de Ilhabela. Foram visitados e rapidamente descritos cerca de 28 afloramentos e coletadas 25 amostras (Tabela 3.1, ver também Figura 1.1.).

As rochas gábricas afloram na estrada ao longo de pelo menos 40 m, dos quais cerca de 12 constituem um afloramento fresco praticamente contínuo (Fotografia 3.1.). São rochas escuras, mesocráticas com texturas inequigranulares com granulação média. O afloramento é relativamente homogêneo e mostra a predominância de gabros com estruturas acamadas, dadas pela alternância de bandas escuras centimétricas, com predomínio de minerais máficos, que se intercalam com bandas claras, em que predomina plagioclásio e que mostram alguma orientação de fluxo concordante com a estratificação da rocha (Fotografia 3.2.).

A atitude do acamadamento magmático é constante no afloramento, com direção 28 NW e mergulho suave 30 SE, portanto mergulhando em direção as rochas sieníticas do Maciço São Sebastião. Considerando estes valores, a espessura mínima de rocha fresca contínua neste afloramento é da ordem de 5 m.

A principal variação petrográfica encontrada neste afloramento corresponde a variação na espessura nas bandas feldspáticas, que passam de sub- a milimétricas na base para milimétricas a centimétricas no topo. Em direção S, as rochas encontram-se mais significativamente alteradas e não puderam ser amostradas. Vale a pena mencionar que no ponto 24 aparentemente as rochas são mais ricas em plagioclásio (possível leucograbro).

Duas amostras de micro-gabros, com textura porfirítica dada por fenocristais de piroxênio, foram amostrados em um dique subvertical orientado N40°E no afloramento 10, que corta as rochas gnáissicas do embasamento pré-cambriano.

Identificação do ponto	Localização (UTM – km)	Litotipo	Estruturas	Outros
IBL-01	455639 x 7353095	Sienito		
IBL-02	454712 x 7353806	Sienito	N30W 18NE <sup>(2)</sup>	
IBL-03	454396 x 7354306	Gabro		
IBL-04	454148 x 7354395	Gabro	N15W 25NE <sup>(3)</sup>	
IBL-05	453763 x 7354696	Sienito		Dique de Traquito
IBL-06	453716 x 7354945	Gnaisse		
IBL-07	453560 x 7355216	Gnaisse e sienito (rolado)		
IBL-08	453324 x 7356414	Gnaisse	N85W 33 NE <sup>(1)</sup> N45W 30NE <sup>(1)</sup>	Dique de Gabro
IBL-09	455781 x 736007	Gnaisse		Dique de Micro-gabro
IBL-10	454911 x 735910	Gnaisse		Dique de Micro-gabro e Lamprófiro (N42E Svert <sup>(2)</sup> ) Deslocado por falha: N85W 45NE
IBL-11	461640 x 7365502	Granito	N33E 40NW <sup>(2)</sup>	
IBL-12		Andesito -dique	N38E vert <sup>(2)</sup>	
IBL-13	459463 x 7363605	Granítóide	N34E 30NW <sup>(2)</sup>	
IBL-14	453415 x 7357115	Sienito		
IBL-15	453762 x 7357700	Sienito		
IBL-16	457900 x 7361960	Sienito		
IBL-17	460637 x 7364655	Gnaisse	N50E 34NW <sup>(1)</sup>	
IBL-18	462858 x 7367724	Gnaisse		
IBL-19	464221 x 7371399	Gnaisse	N50E 58NW <sup>(1)</sup> S55W 09° <sup>(4)</sup>	
IBL-20	464665 x 7373295	Gnaisse		
IBL-21	465214 x 7375416	Gnaisse	N60W 82NE <sup>(1)</sup>	
IBL-22	455180 x 7353261	Sienito		
IBL-23	455209 x 7353288	Sienito		
IBL-24	424950 x 7353652	Leucogabro	N40W 40NE N30W 30NE	
IBL-25	454818 x 7353785	Sienito		
IBL-26	454434 x 7353938	Sienito		
IBL-27	454404 x 7354278	Gnaisse e Sienito	N50E 60NW N55E 15NW N60E 30NW N70E 40NW N68E 35NW	
IBL-28	454174 x 7354421	Gabro	N20W 30NE N28W 32NE N24W 29NE N33W 40NE	

Tabela 3.1: Localização das amostras (UTM – km), litotipo presentes e estruturas.

Sendo: <sup>(1)</sup>: foliação metamórfica; <sup>(2)</sup>: fluxo ígneo; <sup>(3)</sup>: bandamento; <sup>(4)</sup>: lineação. Ver também localização na Figura 1.1.



**Fotografia 3.1.** Vista parcial do afloramento 28, *in situ*, de gabros ao longo da estrada principal na região sul da Ilha de São Sebastião.



**Fotografia 3.2.** Detalhe do afloramento anterior, ilustrando o aspecto típico do acamadamento magmático observado nas rochas gábricas, zona de topo do afloramento. Bandas ressaltadas pela alteração correspondem a bandas mais ricas em plagioclásio.

Os afloramentos de rochas sieníticas são constituídos essencialmente por blocos de dimensões métricas a decamétricas por vezes cortados para uso local, facilitando a sua amostragem; afloramento seguramente *in situ* não ocorrem, mas a morfologia local e a ocorrência de blocos entre o contato do Maciço São Sebastião, conforme sugerido por Hennies & Hasui (1977) e afloramentos *in situ* das rochas gábricas assegura que eles são provenientes e, portanto representativos, deste maciço alcalino. São rochas verdes escuras quando frescas, hololeucocráticas a leucocráticas, com texturas inequigranulares, com alguns cristais de feldspato alcalino atingindo 2 cm, a equigranulares de granulações médias a grossas e estruturas maciças a localmente "traquitóides". A trama textural é dominada por feldspato alcalino, os máficos (piroxênio/anfibólito), menores, aparecendo intersticialmente.

No afloramento 5 aparece e foi amostrado um dique de traquito (micro-sienito), aparentemente pouco espesso, que corta os sienito.

### 3.2. Petrografia Geral

Apresenta-se neste capítulo uma síntese descritiva das principais características mineralógicas e texturais das rochas estudadas. Informações modais e uma interpretação baseada nas relações texturais para a seqüência de cristalização magmática também são oferecidas.

Vale a pena ressaltar que o trabalho petrográfico e posterior confirmação com a microssonda eletrônica, permitiram descrever, pela primeira vez em rochas sieníticas da Ilha de São Sebastião, minerais como olivina faialítica e acessórios raros, mas muito importantes, dos grupos da chevkinita e do pirocloro, além de torita.

#### 3.2.1. Rochas gábricas

Foram descritas nove amostras de gabros e duas amostras do micro-gabro do dique. Em geral, as rochas gábricas por um lado e as rochas de dique pelo outro mostram grande similaridade mineralógica e textural.

As amostras de gabro são rochas de granulação média e cores escuras em que se destacam cristais ripiformes de plagioclásio e piroxênio com estruturas em geral homogêneas, maciças, em escala de amostra de mão e lâmina, ou levemente bandadas, caso mais evidente da amostra IBL-04 B, observando-se, nestes casos bandas milimétricas mais ricas em plagioclásio que se intercalam com bandas mais ricas em silicatos máficos ou ainda mais ricas em minerais opacos. As texturas são equigranulares a algo seriadas. A amostra IBL-10A tem estrutura maciça e textura porfirítica dada pela presença de

fenocristais de piroxênio (até 0,5 cm) em matriz escura de granulação fina, enquanto a amostra IBL-10B apresenta microfenocristais (< 2 mm) em matriz escura afanítica.

Ao microscópio, a trama textural dos gabros é dominada pela disposição variavelmente orientada de plagioclásio ripiforme conferindo aspecto traquitóide a textura, mais evidente nas amostras IBL-03 e nas bandas mais ricas em plagioclásio da amostra IBL-04B (Fotomicrografia 5). Os minerais maficos se distribuem intersticialmente em geral, conferindo um certo aspecto intergranular a textura.

O aspecto bandado, com concentração preferencial de plagioclásio, silicatos maficos e/ou minerais opacos e principalmente a presença de anfibólio e mica intersticial (como fases "intercumulus"), poiquilíticos, dão também um certo aspecto cumulático à textura das amostras estudadas (Fotomicrografia 2). Em uma das amostras (IBL-04B), aparecem pequenos nódulos ou micro-enclaves com formas elípticas em seção e dimensões entre 1 e 2 mm mostrando típica textura cumulática. Têm composição peridotítica, sendo formados, em ordem de abundância, por clinopiroxênio, olivina, ilmenita, magnetita, plagioclásio (An<sub>65</sub>) e apatita.

Em todas as amostras estudadas, o plagioclásio é o único mineral félsico presente, não se observando quartzo ou nefelina.

O plagioclásio (0,05-9 mm, raros cristais até 15 mm) é tipicamente ripiforme, idiomórfico, e geminado segundo as Leis de Carlsbad, Abita e Periclinio. A maioria dos cristais apresenta zonamento composicional pouco marcado no intervalo da labradorita (An<sub>50-60</sub>); bordas mais sódicas, de andesina (An<sub>45-50</sub>), são relativamente raras. Diversos cristais preservam núcleos corroídos cárnicos, que chegam a An<sub>65-70</sub>. Onde observado, os limites entre estes núcleos mais cárnicos e o plagioclásio predominante são bruscos.

O mineral mafico predominante é o clinopiroxênio que aparece como cristais idiomórficos a xenomórficos (0,04-9 mm), em geral com zonamento regular concêntrico, mais raramente em ampulheta, e com geminação simples. O pleocroismo varia de muito incipiente em tons incolores pastéis a levemente rosados a bem marcado, com tons incolores a rosados. Parte significativa dos cristais se caracteriza por apresentar bordas idiomórficas com as cores rosadas mais acentuadas envolvendo núcleos e zonas intermediárias idiomórficas com pleocroísmo incipiente. O padrão de pleocroísmo, particularmente nas bordas dos cristais, e as típicas cores de interferência anômalas, cinza-azuladas em diversos cristais, indicam tratar-se de uma "titano-augita". As inclusões mais comuns são de minerais opacos e apatita.

Olivina, mais abundante na amostra IBL-04A, apresenta dimensões entre 0,5 e 4 mm e é em geral subidiomórfica. Aparece como cristais isolados ou inclusões, por vezes com aspecto corroído, em piroxênio e anfibólio. É uma variedade magnesiana, com 2V<sub>z</sub> alto, quase 90°. Em geral está parcialmente substituída nas fraturas por finos agregados esverdeados, de "clorofeita". Em geral não apresenta inclusões.

Anfibólio (0,2-8 mm) é em geral xenomórfico e aparece intersticialmente; por vezes apresenta geminação simples. A variedade predominante tem pleocroísmo com cores castanhas claras a marron-avermelhadas na direção de maior absorção, indicando tratar-se provavelmente de uma kersutita. Nas bordas dos cristais e ao longo das clivagens está por vezes parcialmente substituído por uma outra variedade com pleocroísmo amarelo-esverdeado claro a verde intenso. As inclusões principais são de clinopiroxênio, tipicamente corroídas, de olivina, apatita e minerais opacos. É bem mais abundante nas amostras IBL-04; nestas amostras, particularmente na amostra 04A, cristais de anfibólio intersticiais, poiquilítico, "intercumulus", em continuidade óptica, atingem dimensões de até 1,5 cm.

A mica tem comportamento textural similar ao do anfibólio, sendo subidiomórfica a xenomórfica (0,1-6 mm), mais tipicamente intersticial e localmente com aspecto "intercumulus". É mais abundante na amostra IBL-04C. Tem pleocroísmo em tons de amarelo-acastanhado a vermelho. Na amostra referida, alguns cristais intersticiais, poiquilíticos como os anfibólios, atingem até 1,0 cm e as inclusões de clinopiroxênio também se mostram corroídas. As relações entre o anfibólio kersutítico e a mica não indicam claramente relações de substituição, por vezes a mica parece sobrecrescer o anfibólio, mas de outras vezes os contatos retos de faces cristalinas sugerem cristalização, pelo menos em parte, simultânea. Nas demais amostras, particularmente na amostra IBL-03, a biotita aparece mais tipicamente como coronas ou mantos sobre os minerais opacos.

Os minerais opacos principais, idiomórficos a xenomórficos são a ilmenita, predominante, e magnetita. A ilmenita é em geral límpida ou com lamelas muito finas de hematita; a magnetita apresenta invariavelmente "exsolução" de ilmenita em treliça e em sanduíche. Os opacos ocorrem isolados ou como inclusões nos demais minerais; nas situações em que são manteados por biotita, aparecem por vezes com aspecto corroído.

O mineral acessório mais comum é a apatita, que forma cristais idiomórficos (0,02-3 mm) e aparece ora isolada, ora inclusa nos demais minerais.

Os minerais pós-magmáticos, além dos que constituem os mencionados agregados de clorofeita, incluem, em ordem de abundância clorita, carbonato, epidoto, por vezes formando agregados fibro-radiados, magnetita límpida e titanita. Aparecem como produtos de alteração, relacionados diretamente aos minerais primários e também em agregados irregulares intersticiais poli-minerálicos.

As duas amostras de rochas de dique examinadas são mineralogicamente muito similares entre si e com os gabros acima descritos. Apresentam fenocristais idiomórficos de "Ti-augita" em geral fortemente zonados (Fotomicrografia 6) de modo concêntrico ou em ampulheta, com bordas idiomórficas com tonalidades rosadas mais fortes, raros fenocristais saussuritizados de plagioclásio e pseudomorfos de provável olivina, constituídos por um agregado de filossilicatos, algum anfibólio e minerais opacos, em matriz fina maciça, com

textura intergranular, formada por plagioclásio (An<sub>50-55</sub>) ripiforme, Ti-augita, kersutita, ilmenita, magnetita e apatita. Biotita não é observada.

A diferença mais marcante entre as amostras está na granulação. A amostra IBL-10B apresenta fenocristais com até 0,5 cm em matriz fina (0,3-0,6 mm) enquanto na amostra IBL-10A os fenocristais são inferiores a 1,5 mm e a matriz bem mais fina (< 0,1 mm).

#### *Modas e sequência de cristalização*

As determinações modais efetuadas para as rochas gábricas (Tabela 3.1., Figura 3.3.) indicam que todas elas correspondem a gabros: plotam no vértice P do diagrama modal QAP e contêm clinopiroxênio como único piroxênio presente. As quantidades modais de minerais maficos se situam no intervalo entre 44 e 59 %. As variações modais mais significativas em termos relativos foram encontradas para anfibólio, olivina e biotita.

Uma possível seqüência de cristalização para as fases minerais reconhecidas nas rochas gábricas, considerando os estágios magmático, tardi-magmático e pós-magmático, e interpretada a partir das relações texturais entre estes minerais, é oferecida na Figura 3.2.

**Tabela 3.1:** Dados modais para rochas gábricas estudadas. \* Outros: apatita, saussurita, titanita, clorofeita, produtos tardíos a pós-magmáticos.

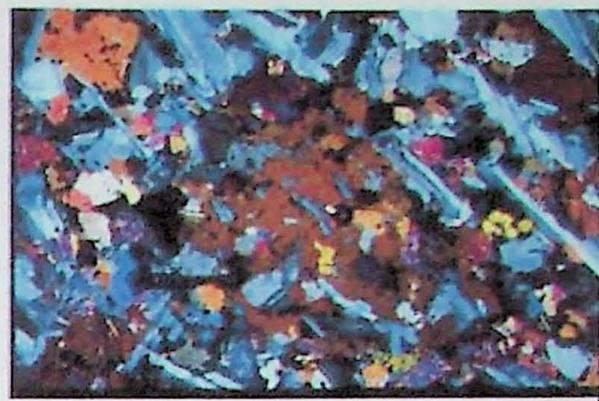
Lâmina	Mineral									φMáfico
	Plagioclásio	Quartzo	Clino Piroxênio	Anfibólio	Olivina	Biotita	Opacos	Outros *		
IBL-03	55.3	0.0	21.3	3.6	1.4	1.1	14.9	2.3	44.7	
IBL-04A	42.3	0.0	26.1	8.2	3.6	2.1	15.6	2.2	57.7	
IBL-04B	49.4	0.0	24.1	5.8	2.1	2.8	13.9	1.9	50.6	
IBL-04C	44.1	0.0	24.9	6.5	3.0	2.7	15.3	3.5	55.9	
IBL-24A	42.7	0.0	24.7	7.8	3.1	3.9	15.9	2.4	57.3	
IBL-28A	41.7	0.0	25.9	8.4	3.4	4.1	14.7	1.8	58.3	
IBL-28B	44.3	0.0	24.1	6.7	2.9	2.9	16.4	2.7	55.7	
IBL-28C	49.1	0.0	22.5	5.3	2.3	3.1	14.6	3.1	50.9	

Minerais	Estágios		
	Magmático	Tardi - -magmático	Pós - magmático
<i>Plagioclásio</i>			
<i>Clinopiroxênio</i>			
<i>Anfibólio</i>			
<i>Olivina</i>			
<i>Biotita</i>			
<i>Opacos</i>			
<i>Apatita</i>			
<i>Saussurita</i>			
<i>Titanita</i>			
<i>Clorofeita</i>			
<i>Clorita</i>			
<i>Carbonato</i>			
<i>Epídoto</i>			

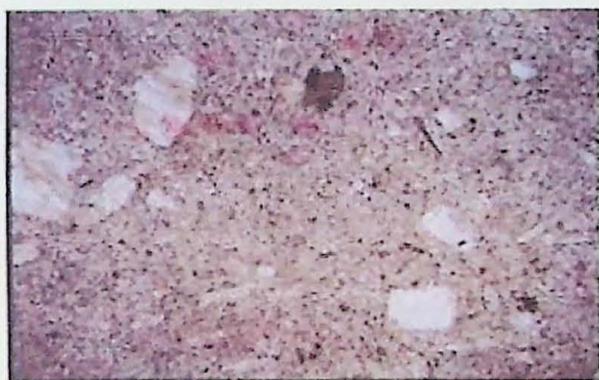
**Figura 3.1:** Ordem de cristalização mineral sugerida das rochas gábricas do Sul da Ilha de São Sebastião. Esta ordem é aproximada, por causa das características cumuláticas observadas nestas rochas.



**Fotomicrografia 3.1.** Cristal de pirôxeno zonado, Lâmina IBL 04B, nicóis cruzados. Base da imagem = 2,5 mm.



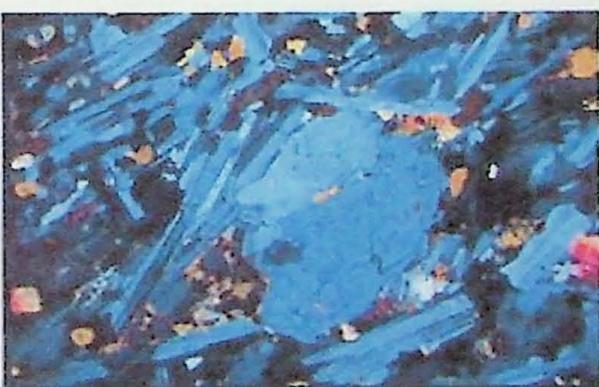
**Fotomicrografia 3.2.** Agregado máfico, onde podemos observar cristal de anfibólio intersticial. Lâmina IBL 04C, nicóis cruzados. Base da imagem = 8 mm.



**Fotomicrografia 3.3.** Visão geral da textura do microgabro. Lâmina 90M, nicóis descruzados. Base da imagem = 8 mm.



**Fotomicrografia 3.4.** Orientação dos plagioclásios. Lâmina 04A, nicóis cruzados. Base da imagem = 8 mm.



**Fotomicrografia 3.5.** Cristais de plagioclásio e orientação desses cristais. Lâmina IBL 04B, nicóis cruzados. Base da imagem = 8 mm.



**Fotomicrografia 3.6.** Piroxênio zonado. Lâmina IBL 10B, nicóis cruzados. Base da imagem = 2,5 mm.

### 3.2.2. Rochas sieníticas

Foram descritas dez amostras de sienitos e uma de traquito. Em amostras de mão, os sienitos apresentam cores em tons de verde médio a escuro, estrutura maciça e textura seriada em granulação grossa em que se destacam feldspatos alcalinos tabulares de dimensões entre 1mm e 1,5 cm; a amostra IBL-01 apresenta granulação pouco mais grossa. As rochas são hololeucocráticas a leucocráticas e os minerais maficos aparecem em geral em agregados irregulares contendo diversos grãos, intersticiais ao feldspato.

O microssienito apresenta cor mais escura, estrutura orientada, com aspecto traquítico, e textura tipicamente porfirítica, com fenocristais tabulares de feldspato alcalino (0,2-5 mm), em matriz fina, relativamente rica em minerais maficos. Os contatos com o sienito de granulação grossa é brusco.

Ao microscópio petrográfico as amostras de sienito são similares. Modalmente correspondem a álcali-feldspato sienitos supersaturados, com quantidades de quartzo variáveis, de traços a pouco menos de 2 % em volume.

A trama textural, seriada, é dominada por cristais tabulares de feldspato alcalino. Os minerais maficos (3 a 19 % em volume) aparecem em cristais isolados ou mais freqüentemente em agregados de vários cristais e distribuem-se em geral intersticialmente aos feldspatos.

O feldspato alcalino (1-15 mm) é subidiomórfico a idiomórfico, mas os contatos entre os cristais são irregulares ou mesmo interpenetrados em detalhe. A geminação de Calrsbad é típica da maioria dos cristais; geminação em grade, muito fina e difusa aparece localmente. Na maioria das amostras o feldspato é mesopertítico, com finas lamelas e filmes regulares, subparalelos, de albita exsolvida. Em alguns casos, notadamente na amostra IBL-5A, apresenta entretanto aspecto zonado dado por núcleos mais homogêneos com poucas lamelas de exsolução e bordas irregulares mesopertíticas.

O quartzo (< 2 mm) aparece em geral xenomórfico. É sempre intersticial, límpido, com extinção homogênea ou muito levemente ondulante.

Entre os minerais maficos primários, o mineral dominante é um clinopiroxênio, prismático idiomórfico a xenomórfico (0,02-6 mm). Apresenta-se tipicamente zonado (Fotomicrografia 9), com núcleos e zonas intermediárias com pleocroísmo incipiente em tons incolores a pastéis da série diopsídio-hedenbergita ( $z^c \approx 37-42^\circ$ ) e finas bordas com pleocroísmo mais forte em tons de verde limão, mais típico de uma hedenbergita ( $z^c \approx 47-50^\circ$ ). É parcialmente substituído por anfibólio, que aparece como bordas irregulares de reação e ao longo dos seus planos de clivagem; restos corroídos de piroxênio inclusos em cristais idiomórficos de anfibólio também são comuns.

O anfibólio (< 2 % em volume) ocorre como cristais idiomórficos a subidiomórficos (0,01-3 mm), isolados ou substituindo parcialmente o piroxênio. Apresenta pleocroísmo em

tons de castanho pálido a verde acastanhado e corresponde provavelmente a uma variedade cárca e/ou sódico-cárca. Por vezes apresenta-se zonado com finas bordas com pleocroísmo melhor marcado. Na amostra IBL-25, podemos observar uma grande mudança na coloração dos anfibólios variando de tons de marron, verde e incolor, no mesmo cristal (Fotomicrografia 12).

Olivina faialítica ( $2V_x \approx 60-70^\circ$ ) é um mineral característico das rochas estudadas, não sendo observada apenas nas amostras IBL-05B e IBL-15. Aparece em volumes reduzidos (< 1,2 % em volume) e é notadamente mais abundante na amostra IBL-01. Ocorre como cristais subidiomórficos a xenomórficos (0,2-3 mm) junto aos agregados máficos e como inclusões corroídas, principalmente em piroxênio (Fotomicrografia 8). Em geral está parcialmente substituída ao longo de fraturas por agregados isótropos de material de coloração amarelo-alaranjada; de outras vezes observam-se apenas pseudomorfos constituídos por este material.

Biotita primária (considerada como 1, na seqüência de cristalização), mais tardia, aparece mais intersticialmente ou como mantos parciais sobre agregados máficos contendo olivina, piroxênio, anfibólio, opacos e minerais acessórios, particularmente na amostra IBL-01, e parcialmente substituindo minerais opacos. É idiomórfica a subidiomórfica com dimensões inferiores a 2 mm e pleocróica em tons de incolor-amarelado a vermelho (Fotomicrografia 10).

Os minerais opacos são idiomórficos a subidiomórficos (0,3-4 mm) e correspondem principalmente a magnetita contendo exsolução de tipo treliça e sanduíche de ilmenita e ilmenita, em geral homogênea. Ocorrem isolados ou como inclusões em piroxênio, anfibólio e biotita.

Zircão e apatita, idiomórficos, com dimensões inferiores a 2 mm são os acessórios mais típicos e aparecem como cristais isolados ou como inclusões, particularmente em piroxênio e anfibólio. Titanita idiomórfica é ocasional.

Chevkinita-perrierita é um mineral característico da maioria das amostras estudadas, mas aparece em quantidades diminutas, sendo reconhecida pelo seu forte pleocroísmo, de vermelho a praticamente opaco na direção de máxima absorção (Fotomicrografia 8), hábito prismático curto e por gerar intensos halos pleocróicos, mesmo em minerais como anfibólio. Ocorre isolada ou como inclusões em anfibólio e feldspato.

Pirocloro foi observado nas amostras IBL-05A e IBL-25. Na primeira aparece como cristais idiomórficos a subidiomórficos submilimétricos, com coloração avermelhada, intersticiais ou inclusos em feldspato alcalino, na segunda forma cristais maiores com cor amarelo-acastanhada inclusos em anfibólio, no qual geram fortes halos pleocróicos. Na amostra IBL-25 foi encontrada também a torita associada ao pirocloro como cristais diminutos com núcleos de forte birrefringência e bordas escuras, muito metamictizadas.

Nas amostras estudadas transformações texturais e cristalização de fases minerais tardi- a pós-magmáticas intersticiais são comuns, com destaque para a amostra IBL-05, em que cavidades intersticiais com contornos geométricos relativamente definidos são preenchidas por minerais pós-magmáticos.

Entre os minerais félsicos, albita praticamente pura subidiomórfica a xenomórfica, límpida, com a geminação da Lei da Albita proeminente, aparece comumente intersticial ao feldspato alcalino. Entre os minerais maficos aparece biotita idiomórfica a subidiomórfica (considerada como 2, na seqüência de cristalização), por vezes em seções subhexagonais com marcado zonamento concêntrico. Contrasta da biotita primária pelo padrão de pleocroísmo, em tons de verde a vermelho. Associa-se com anfibólios actinolíticos, incolores a levemente esverdeados, com hábito prismático alongado a acicular, anfibólios sódicos com pleocroísmo em tons de azul e róseo e hábito acicular, outras fases minerais aciculares não identificadas, magnetita límpida, outros opacos não identificados e possível allanita.

A amostra de microssienito (traquito) apresenta textura porfirítica, com fenocristais de feldspato alcalino (0,2-5 mm) em matriz de granulação fina (0,01-1 mm) e textura traquítica, dada por orientação de fluxo magmático bem marcada de cristais de feldspato alcalino ripiformes.

Os fenocristais são idiomórficos, por vezes com zonamento dado por maior abundância de exsolução albítica nas bordas e apresentam tipicamente bordas poiquilíticas, ricas em diminutas inclusões de minerais maficos. Na matriz predominam feldspatos alcalinos mesopertíticos homogêneos. Em ambos os casos a geminação de Carlsbad é típica.

Alguns cristais de quartzo límpido, não deformados e relativamente grandes (0,5-2 mm) aparecem esporadicamente na lâmina; possivelmente representam xenocristais.

Os minerais maficos são similares aos encontrados nas rochas de granulação grossa, porém são relativamente mais abundantes (18,8 % em volume). O piroxênio da série diopsídio-hedenbergita, com bordas mais hedenbergíticas é o mafico mais comum. Acompanham anfibólio com pleocroísmo de castanho a verde azulado, e biotita com pleocroísmo em incolor-amarelado a vermelho, magnetita, ilmenita, zircão e apatita.

#### *Modas e seqüência de cristalização*

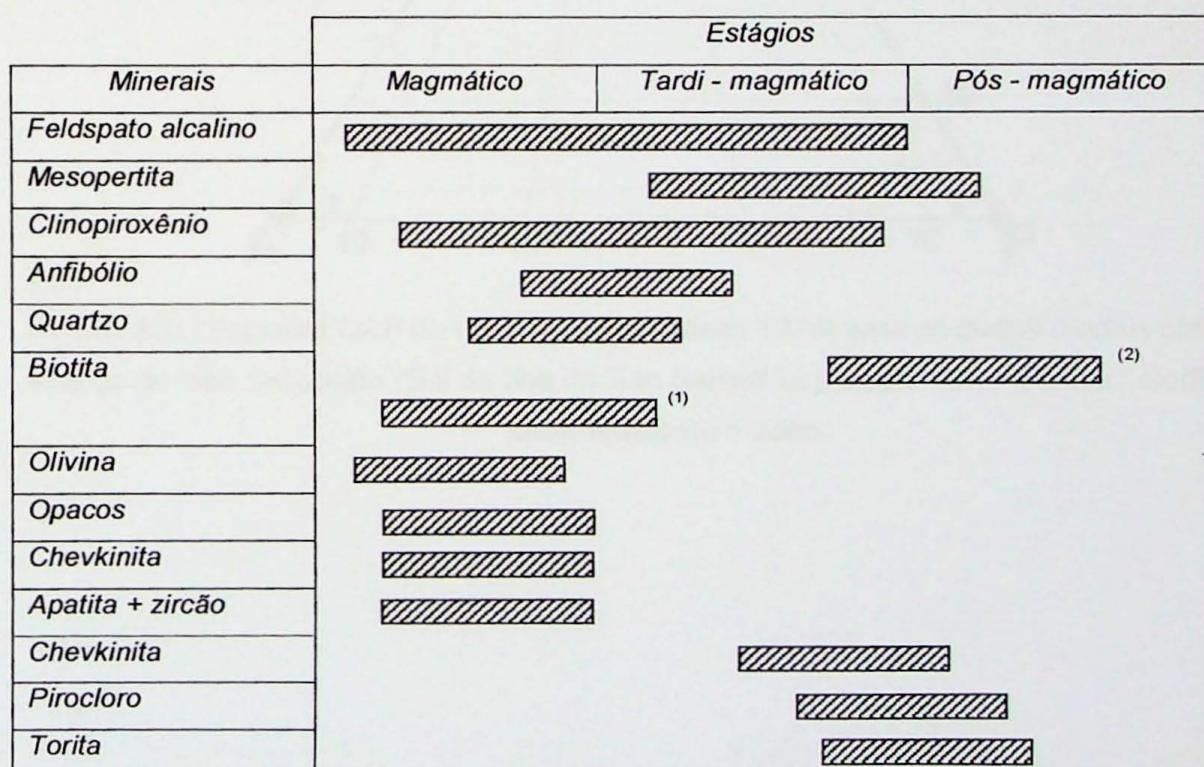
As rochas sieníticas e o traquito estudados correspondem modalmente a álcali-feldspato sienitos (traquitos), diversos deles com quartzo (Tabela 3.2., Figura 3.3.) São, portanto, rochas saturadas a super-saturadas. As variedades estudadas correspondem desde a rochas hololeucocráticas, com um mínimo modal de minerais maficos de 3,5 %, até rochas leucocráticas com um máximo de maficos próximo a 18 %. Os dados modais revelam variações dos minerais maficos no intervalo entre 3,5 e 18 A seqüência de cristalização foi

realizada da mesma forma já descrita no Modas e sequências de cristalização, para rochas gábricas, sendo que nas rochas sieníticas temos índices de minerais máficos baixos, com variação entre 3,4 e 18,8.

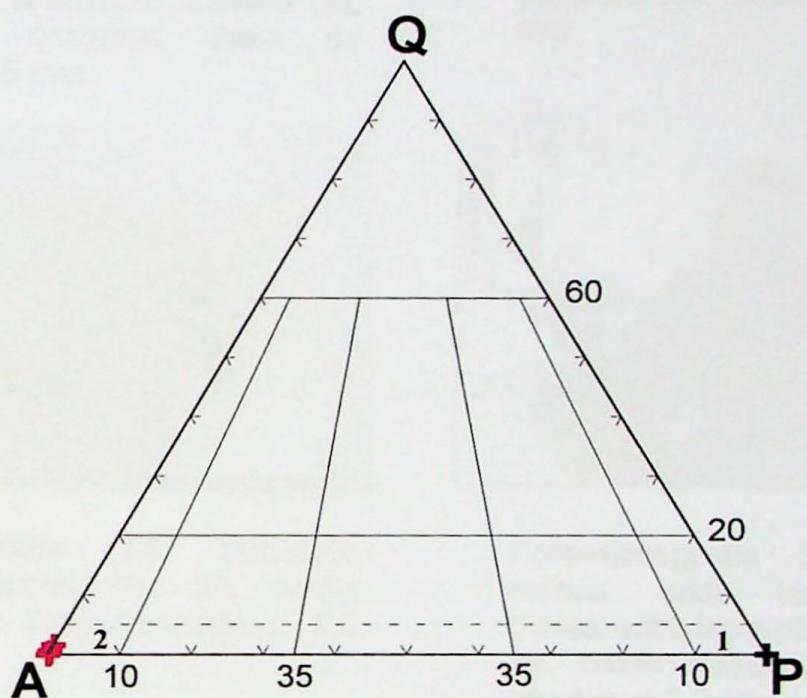
✓ A seqüência de cristalização interpretada para o conjunto destas rochas é apresentada na Figura 3.2, que destaca uma seqüência de tipo "agpaítico", isto é a fase félssica dominante (feldspato alcalino) é, a menos dos acessórios menores, a fase de *liquidus*.

**Tabela 3.2:** Dados modais para as rochas sieníticas estudadas. \* Outros: apatita, zircão, chevkinita, produtos tardíos a pós-magmáticos.

Lâmina	Mineral								
	Feldspato alcalino	Quartzo	Clinopiroxênio	Anfibólio	Biotita	Opacos	Olivina	Outros *	φMáficos
IBL-01	92.1	0.3	3.7	0.1	0.9	1.7	1.2	0.0	7.5
IBL-05A	85.4	1.4	5.5	1.7	1.3	2.1	0.2	2.5	13.2
IBL- 05A(1)	82.9	0.3	7.8	1.9	1.5	2.1	0.5	2.9	16.7
IBL-05B	81.2	0.0	15.4	0.1	0.2	2.9	0.0	0.2	18.8
IBL-14	95.8	0.5	2.3	0.1	0.3	0.8	0.1	0.1	3.7
IBL-15	96.6	0.0	2.1	0.3	0.2	0.8	0.0	0.1	3.4
IBL-25	82.3	0.0	9.8	2.6	1.3	3.0	0.1	0.9	17.7



**Figura 3.2:** Ordem de cristalização mineral sugerida das rochas sieníticas do Sul da Ilha de São Sebastião. Sendo: <sup>(1)</sup>: biotita primária, pleocroísmo em tons de incolor-amarelado a vermelho; <sup>(2)</sup>: biotita com zonamento concêntrico, pleocroísmo em tons de verde a vermelho.



**Figura 3.3:** Diagrama QAP da I.U.G.S. (Streckeisen 1976) para os dados modais obtidos no Maciço de São Sebastião (Sul da Ilha de São Sebastião). Legenda: 1- gabros / dioritos e 2- álcali-feldspato sienito.



**Fotomicrografia 3.7.** Feldspato alcalino, onde podemos observar lamellas de exsolução. Lâmina IBL 15, nicóis cruzados. Base da imagem = 2,5 mm.



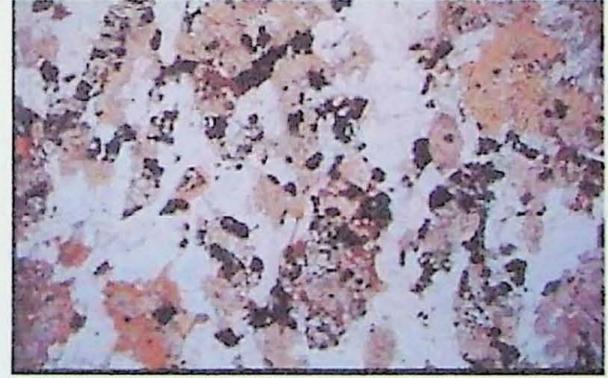
**Fotomicrografia 3.8.** Cristal de chevkinita. Lâmina IBL 25, nicóis descruzados. Base da imagem = 1 mm.



**Fotomicrografia 3.9.** Piroxênio zonado. Lâmina IBL 25, nicóis descruzados. Base da imagem = 2,5 mm.



**Fotomicrografia 3.10.** Agregado máfico, onde temos piroxênio, biotita, anfibólio e olivina. Lâmina IBL 25, nicóis descruzados. Base da imagem = 2,5 mm.



**Fotomicrografia 3.11.** Visão geral da textura da rocha. Lâmina 14, nicóis descruzados. Base da imagem = 8 mm.



**Fotomicrografia 3.12.** Anfibólio, com zoneamento em tons de verde a marron. Lâmina IBL 25, nicóis descruzados. Base da imagem = 2,5 mm.

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados químicos quantitativos obtidos com microssonda eletrônica para esta monografia. Por claridade estes são apresentados por grupo mineral para cada grupo de rochas em que ocorrem. Os dados analíticos, proporções catiônicas e fórmulas estruturais calculadas são apresentadas nos Anexos 1.A. a 1.I. A simbologia utilizada nos diagramas representados para os grupos das rochas gábricas e sieníticas são indicados na Tabela 4.1.

Símbolo	Gabros	Sienitos
○	IBL 04a	IBL 01
□	IBL 03	IBL 25
△	IBL 04b	IBL 05a
◊	IBL 10	IBL 15
✗	IBL 04c	IBL 14
+	IBL 90M	

Tabela 4.1: Simbologia utilizada nos diagramas representados para os grupos das rochas gábricas e sieníticas da Ilha de São Sebastião.

#### 4.1. Rochas gábricas

Foram obtidos resultados analíticos para minerais dos grupos da olívina, dos piroxênios, anfibólios, micas, e dos plagioclásios, os quais são sintetizados a seguir.

##### *Olivina*

A olívina está entre os minerais máficos mais precoce na seqüência de cristalização destas rochas. Corresponde a uma forsterita com valores mg# relativamente constantes, entre 0,67 e 0,70 (Figuras 4.1. e 4.2.). As quantidades medidas de MnO se situam entre 0,40 e 0,56 e os teores em CaO são sempre inferiores a 0,1 (% em peso).

De maneira geral os resultados obtidos parecem indicar uma leve diminuição dos números mg# em direção às bordas dos cristais analisados, tal como esperado para uma tendência normal de cristalização magmática.

Entre as amostras analisadas, a amostra IBL 03, representativa do afloramento 03 apresenta valores mg# superiores aos das demais amostras. É interessante observar que esta amostra corresponde a mais félscica entre as amostras estudadas de rochas gábricas, contendo os maiores teores modais de plagioclásio (cf. Tabela 3.1.).

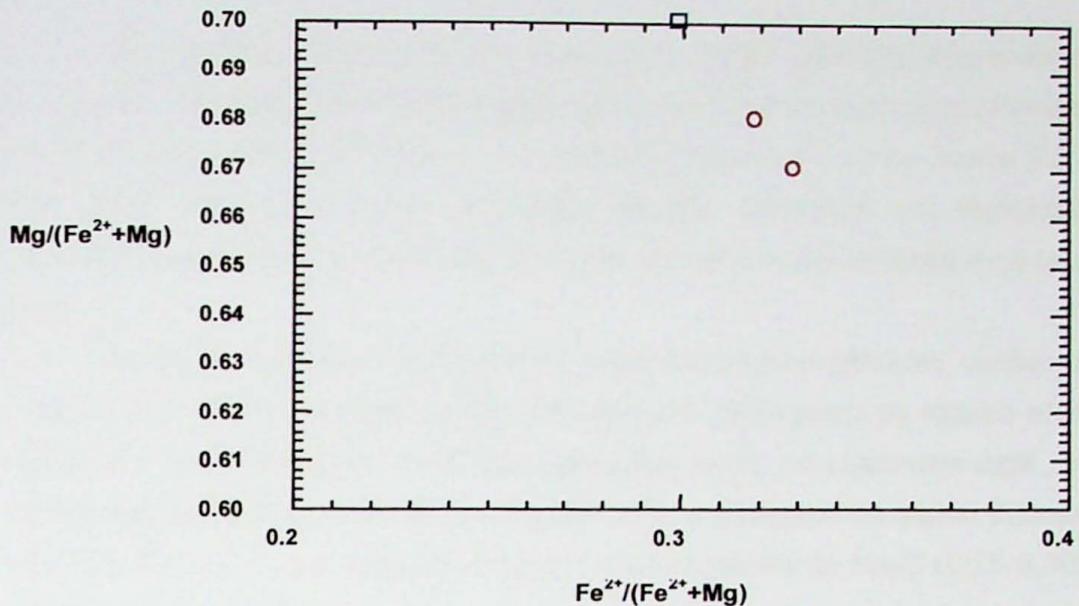


Figura 4.1: Diagrama ilustrando as variações dos parâmetros  $Mg/(Fe^{2+}+Mg)$  e  $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ , em proporções catiônicas, para olivina presente nas rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

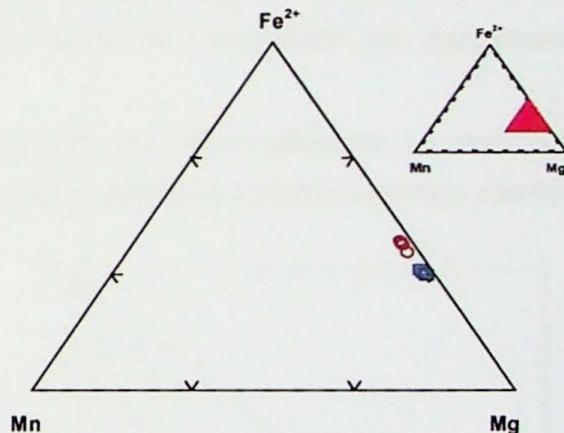


Figura 4.2: Diagrama ilustrando as variações das proporções catiônicas de Mg,  $Fe^{2+}$  e Mn para olivina presente nas rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião, mostrando o caráter mais magnesiano da olivina presente na amostra IBL-03. Símbolos conforme Tabela 4.1.

É o mineral máfico mais abundante nas rochas gábricas principais e no dique de micro-gabro do afloramento 10. Corresponde quimicamente a um clinopiroxênio de Ca, Mg e Fe (Quad), mais especificamente um diopsídio (Figuras 4.3., 4.4., Anexo 1.B.) com valores mg# entre 0,78 e 0,99. Os resultados obtidos ressaltam um significativo contraste composicional entre os piroxênios presentes nos gabros por um lado e no micro-gabro pelo outro.

Os teores em  $TiO_2$  e  $Al_2O_3$  (% em peso) nas rochas gábricas, variam entre 0,2 e 2,0 e entre 1,2 e 4,5, respectivamente, enquanto no microgabro se situam entre 0,3 e 0,8 e entre 2,3 e 3,9. Os maiores constrates entretanto estão no parâmetro mg#, bem superior e contrastado (0,93-0,99, ver também Figura 4.5.), e também nos teores tipicamente maiores de  $Cr_2O_3$  (0,2-0,6 % em peso, cf. Anexo 1.B.) e menores de  $Na_2O$  (0,25-0,30) do piroxênio presente no micro-gabro.

O zonamento composicional mais irregular observado em cristais de piroxênio dos gabros está relacionado principalmente a CaO, MgO,  $TiO_2$  e FeO, enquanto que o zonamento marcante do tipo núcleo-borda observado na maioria dos fenocristais do micro-gabro (cf. Fotomicrografia 6) refletem variações nos teores de  $TiO_2$  e  $Al_2O_3$ .

Os dados obtidos sugerem que o piroxênio que aparece como fenocristais no micro-gabro é relativamente mais “primitivo” quando comparado ao das rochas gábricas, sendo que as bordas dos fenocristais no microgabro se aproximam das composições dos piroxênios nos gabros.

No conjunto das amostras de rochas gábricas, os parâmetros mg# do clinopiroxênio são sempre significativamente superiores aos equivalentes medidos em olivina.

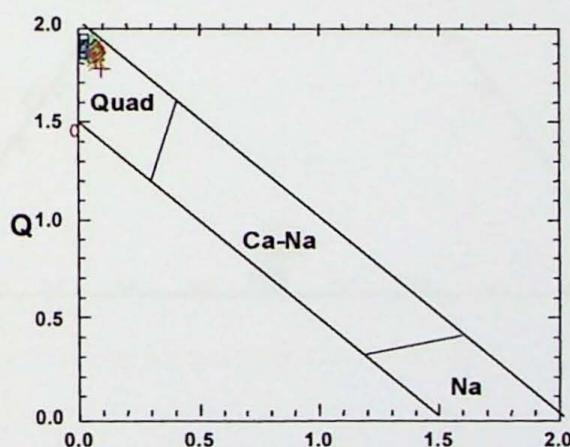


Figura 4.3: Diagrama de classificação para os piroxênios presentes nas rochas gábricas e no dique de micro-gabro da região sul da Ilha de São Sebastião, em função dos parâmetros  $Q = Ca+Mg+Fe^{2+}$  e  $J = 2Na$  (em proporções catiônicas), de acordo com Morimoto (1990).

Símbolos conforme Tabela 4.1.

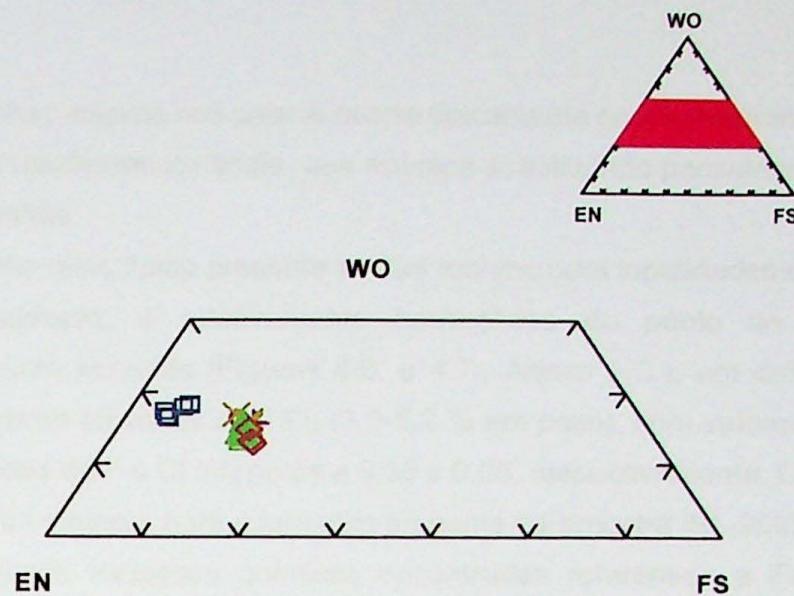


Figura 4.4. Diagrama ternário Wo-En-Fs (proporções moleculares) para os clinopiroxênios das rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião. Observar valores de Wo e especialmente En superiores para o piroxênio presente no micro-gabro.

Símbolos conforme Tabela 4.1.

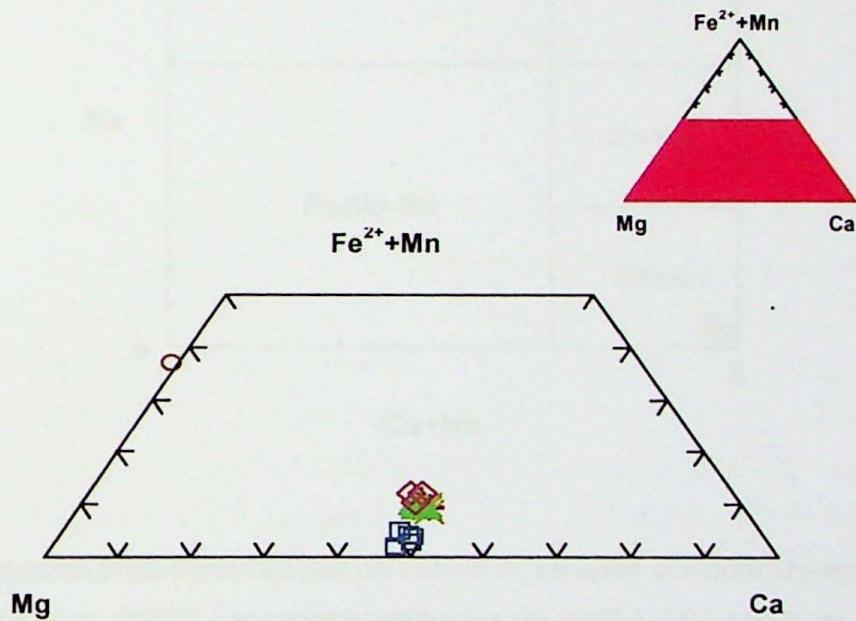


Figura 4.5. Diagrama ternário Mg-Ca-(Fe<sup>2+</sup>,Mn) em proporções catiônicas para os clinopiroxênios das rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião. Observar valores mais elevados de (Fe<sup>2+</sup>,Mn) no piroxênio do micro-gabro.

Símbolos conforme Tabela 4.1.

O anfibólio presente nos gabros ocorre tipicamente como fase mineral inter-cumulus, de cristalização relativamente tardia, que aparece substituindo parcialmente a olivina e, em especial, o diopsídio.

O anfibólio mais típico presente nestas rochas, com tonalidades de pleocroísmo em vermelho-acastanhado, é relativamente homogêneo do ponto de vista químico e corresponde a uma kersutita (Figuras 4.6. e 4.7., Anexo 1.C.), um anfibólio cálcico com teores relativamente elevados de  $\text{TiO}_2$  (3,3-5,2 % em peso), com valores mg# entre 0,65 e 0,76 e quantidades de F e Cl inferiores a 0,35 e 0,05, respectivamente. Os valores mg# são significativamente maiores para a kersutita presente na amostra IBL-90M (cf. Anexo 1.C.).

As principais variações químicas encontradas referem-se a  $\text{FeO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ . A variedade com pleocroísmo em tons de verde, aparentemente posterior a primeira, apresenta diminuição de  $\text{TiO}_2$ .

Os valores mg# da variedade mais típica são em média inferiores aos do clinopiroxênio associado (cf. item anterior).

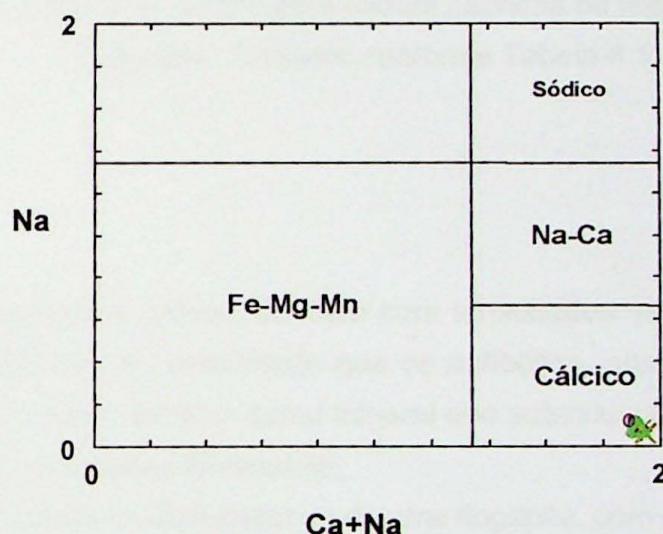


Figura 4.6: Diagrama para classificação de anfibólio, levando em consideração Na e Ca+Na, segundo Leake *et al.* (1997) para rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião.

Símbolos conforme Tabela 4.1.

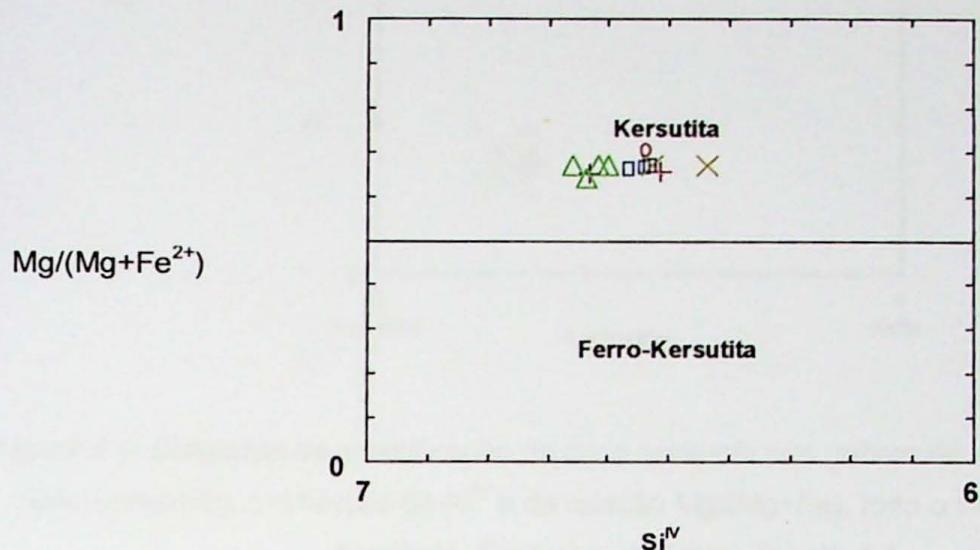


Figura 4.7: Diagrama para classificação de anfibólio cálcico, levando em consideração Na e Ca+Na, segundo Leake *et al.* (1997) para rochas gábricas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

### *Mica*

A mica presente nos gabros, também com tonalidades vermelho-acastanhadas, é mais tardia na seqüência de cristalização que os anfibólios, apresentando certo aspecto inter-cumulus e aparecendo também como mineral que substitui parcialmente o piroxênio e os minerais opacos, especialmente ilmenita.

As análises obtidas indicam tratar-se de uma flogopita, com valores mg# entre 0,69 e 0,82 (Figura 4.8., Anexo 1.D.), relativamente rica em  $TiO_2$  (3,7—6,4 % em peso), com teores de BaO e F inferiores a 0,55 e 0,50, respectivamente, com Al tetraédrico correspondendo a mais de 80 % do Al total. Os maiores valores de mg# foram encontrados na amostra IBL-90M e os menores nas amostras IBL-4A e IBL-4C (cf. Anexo 1.D.).

Os valores mg# são, em média, um pouco mais elevados que os valores correspondentes obtidos para o anfibólio associado. Convém lembrar que para o caso das micas considerou-se todo o Fe no estado bivalente, os resultados obtidos correspondem a estimativas mínimas para este parâmetro.

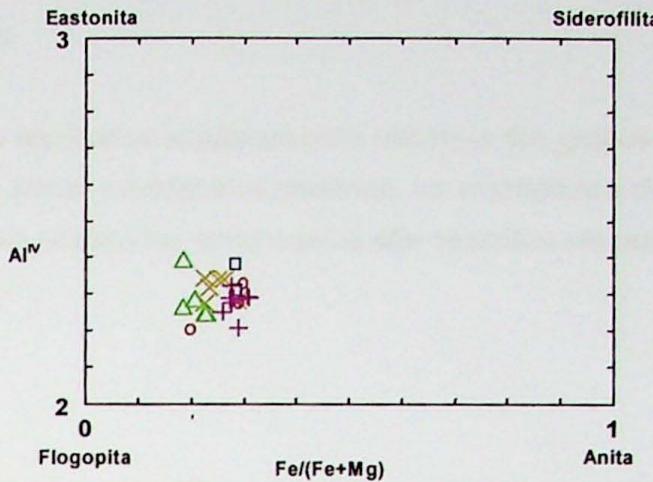


Figura 4.8: Diagrama de classificação da mica presente nos gabros da região sul da Ilha de São Sebastião, em função de  $Al^{IV}$  e da relação  $Mg/(Mg+Fe)$ , todo o Fe calculado como bivalente. Símbolos conforme Tabela 4.1.

### Plagioclásio

É o mineral mais abundante nas rochas gábris. Os resultados químicos indicam que a maioria dos cristais apresenta algum zonamento composicional, com predomínio de composições intermediárias entre andesina cállica e labradorita ( $Ab_{45}-Ab_{61}$ , Figura 4.9., Anexo 1.E.). As proporções moleculares de Or são inferiores a 2 % e os teores de  $SrO$  são inferiores a 0,4 % (% em peso). Entre as amostras analisadas, a amostra IBL-90M apresenta teores de An sempre inferiores, correspondentes a andesina cállica.

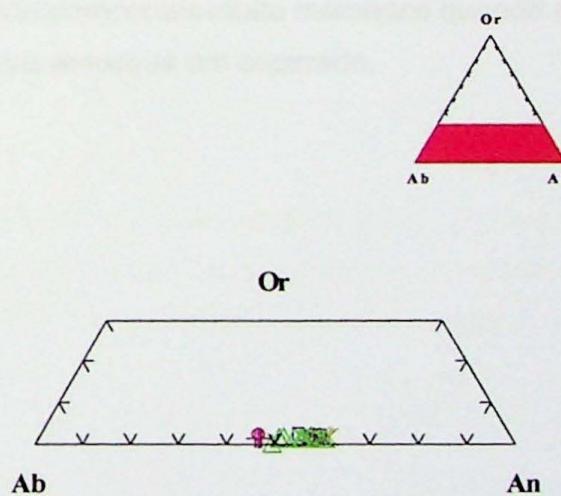


Figura 4.9: Diagrama ternário Ab-An-Or, em proporções moleculares, para os plagioclásios presentes nos gabros da região sul da Ilha de São Sebastião.

Símbolos conforme Tabela 4.1.

#### 4.2. Rochas sieníticas

Foram obtidos resultados analíticos para minerais dos grupos da olivina, dos piroxênios, anfibólidos, micas e feldspatos alcalinos, apresentados e discutidos brevemente a seguir. Alguns minerais acessórios encontrados são descritos em um item específico posterior.

##### *Olivina*

A olivina é o mineral mafico, exceção a alguns acessórios, mais precoce na seqüência de cristalização interpretada para as rochas sieníticas super-saturadas estudadas. Aparece tipicamente na maioria das amostras estudadas, em que se associa com os demais minerais maficos, com freqüência inclusa em piroxênio, eventualmente, em anfibólido. Em geral apresenta-se parcialmente alterada para agregados amarelo-alaranjados constituídos principalmente por filossilicatos.

Vale a pena ressaltar que este mineral é descrito pela primeira vez em rochas sieníticas da Ilha de São Sebastião. As análises obtidas indicam tratar-se de faialita, com  $\text{mg} \#$  entre 0,02 e 0,07 (Figuras 4.10., 4.11.) e quantidades de  $\text{MnO}$  entre 4,4. e 4,9 (% em peso). A comparação entre as composições das olivinas presentes nas duas amostras analisadas, IBL-01 e IBL-25 mostra que a olivina presente na primeira é significativamente mais rica em  $\text{MgO}$  e pobre em  $\text{CaO}$  (Figura 4.12., ver também Anexo 1.A.). É interessante notar que a amostra IBL-01 apresenta conteúdo de minerais maficos significativamente inferior ao da amostra IBL-25 (cf. Tabela 3.3.).

Apesar do número reduzido de análises obtidas, estas sugerem que este mineral não apresenta zonamentos compostionais muito marcados quando se comparam os resultados obtidos para cada uma das amostras em separado.

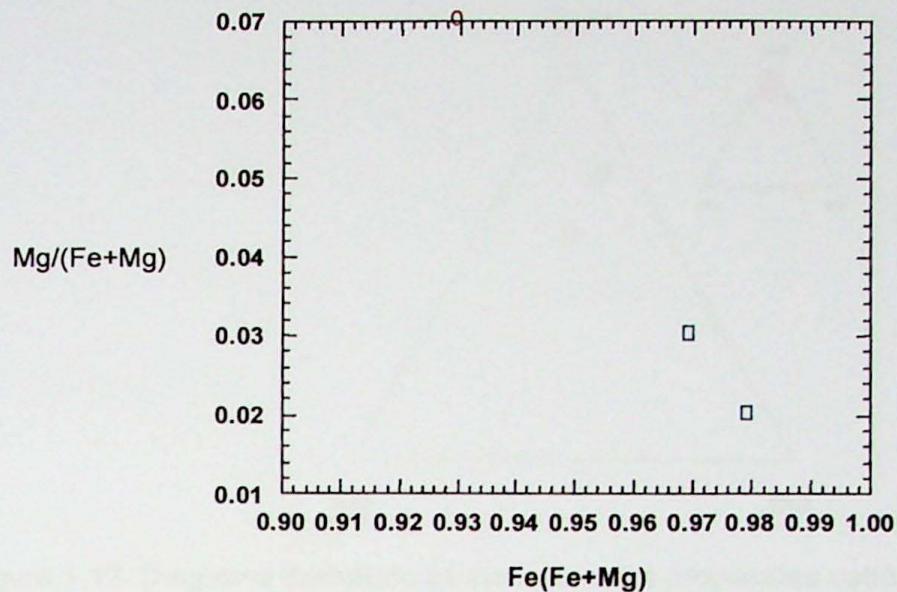


Figura 4.10: Diagrama ilustrando as variações dos parâmetros  $Mg/(Fe+Mg)$  e  $Fe/(Fe+Mg)$ , em proporções catiônicas, para olivina presente nas rochas sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

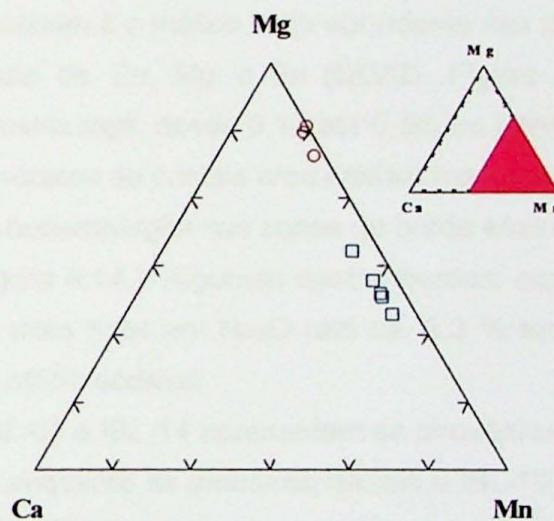


Figura 4.11. Diagrama ilustrando as variações das proporções catiônicas de Mg, Mn e Ca para olivina presente nas rochas sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1

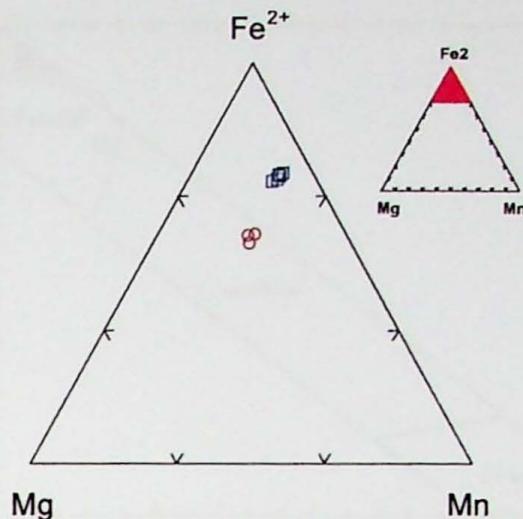


Figura 4.12. Diagrama ilustrando as variações das proporções catiônicas de Mg,  $Fe^{2+}$  e Mn para olivina presente nas rochas nas rochas sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1

### *Piroxênio*

Este mineral também é o mafico mais abundante nas rochas sieníticas. O piroxênio típico é uma variedade de Ca, Mg e Fe (QUAD, Figura 4.13.), mostrando variações significativas no parâmetro  $mg\#$ , desde 0,12 até 0,56, no intervalo do diopsídio rico em Fe, correspondentes aos núcleos de cristais e/ou cristais rosados, com pleocroísmo ausente ou muito incipiente, até a hedembergita nas zonas de borda e/ou cristais com leve pleocroísmo em tons de verde (Figura 4.14.). Algumas destas bordas, com tonalidades de verde mais acentuadas, são algo mais ricas em  $Na_2O$  (até ca. 2,3 % em peso), quase alcançando o campo dos piroxênios cálcio-sódicos.

As amostras IBL-01 e IBL-14 apresentam os piroxênios mais magnesianos no grupo das rochas sieníticas, enquanto as amostras IBL-5A e IBL-15 representam os termos mais ferrosos (cf. Anexo 1.B.). De forma geral, os teores medidos de  $TiO_2$  são inferiores a 0,6 e os de  $MnO$  se situam entre 1,1 e 1,6 (% em peso).

No conjunto das amostras analisadas, a principal tendência de variação composicional observada para o piroxênio nas rochas sieníticas corresponde ao enriquecimento em Fe em um patamar praticamente constante de Na (Figura 4.15.). Este diagrama sugere, a exceção de uma análise isolada, um sutil enriquecimento em Na apenas nos termos muito ricos em  $Fe^{2+}$  (e Mn).

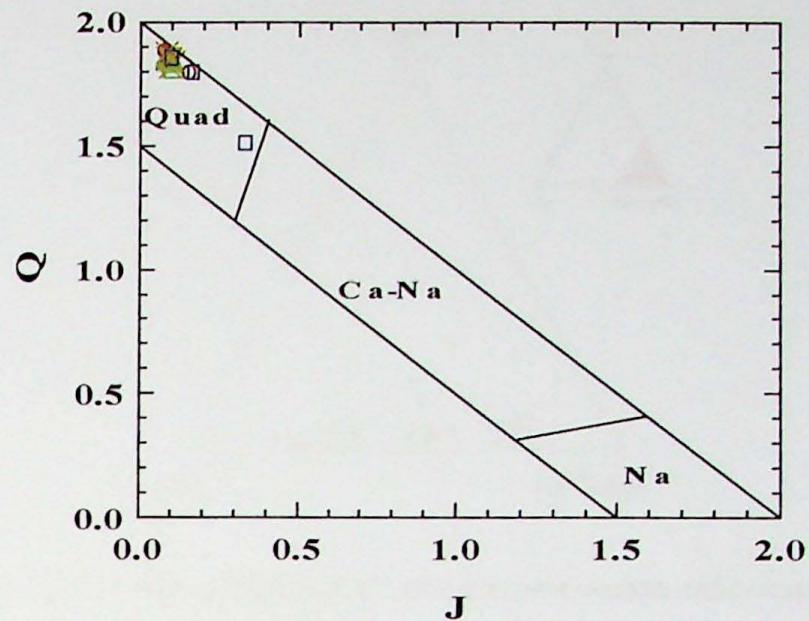


Figura 4.13. Diagrama de classificação para os piroxênios presente nas rochas sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São Sebastião., em função dos parâmetros  $Q = Ca + Mg + Fe^{2+}$  e  $J = 2Na$  (em proporções catiônicas), de acordo com Morimoto (1990).

Símbolos conforme Tabela 4.1.

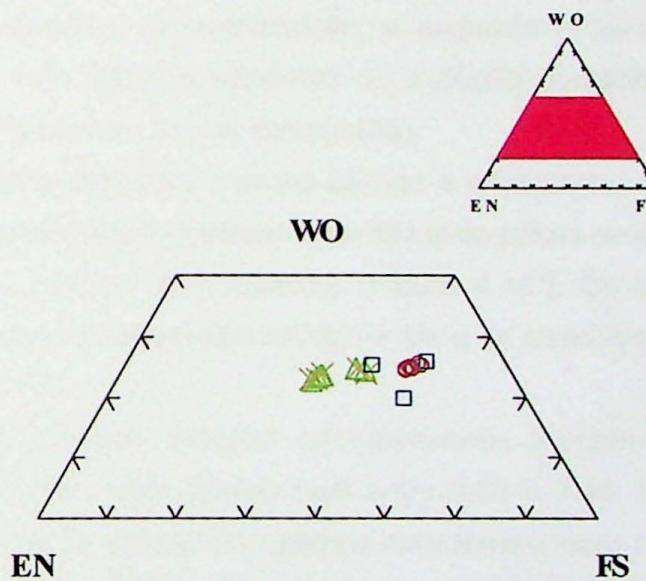


Figura 4.14. Diagrama ternário Wo-En-Fs (proporções moleculares) para o piroxênio presente nas rochas sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

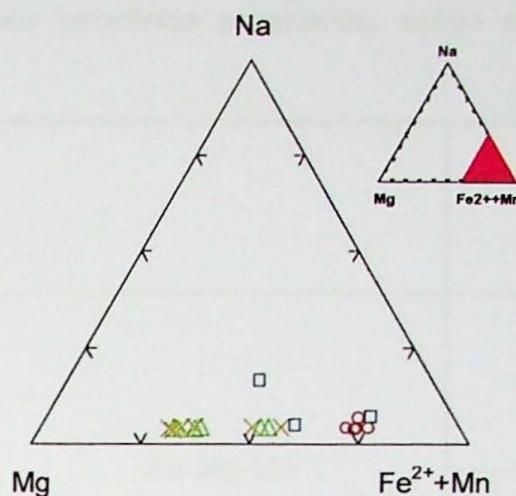


Figura 4.15. Diagrama ternário Mg-Na-( $\text{Fe}^{2+}$ ,Mn) em proporções catiônicas para o piroxênio presente nas rochas sieníticas do Maciço São Sebastião, região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

### Anfibólio

Anfibólio aparece nas rochas sieníticas em duas gerações muito contrastadas. A primeira geração, primária, inicia a cristalização após o piroxênio, com o qual apresenta uma relação de reação magmática de substituição; a segunda é tardia- a pós-magmática e aparece tipicamente como sobrecrescimentos no anfibólio primário e nos agregados de minerais máficos intersticiais (v. item de petrografia).

Entre os anfibólios primários o grupo cálcico é dominante; uma variedade sódico-cálcica, subordinada, aparece principalmente na forma de zonas de borda com pleocroísmo em tons verde-azulados pouco mais intensos (Figura 4.16.). Os anfibólios tardia- a pós-magmáticos correspondem a variedades de Mg-Fe-Mn e se classificam como antofilita e/ou antofilita-Fe (Figura 4.17.).

As variedades cálcicas incluem principalmente hornblenda-Fe e hornblenda actinolítica-Fe (Figura 4.18.), com valores mg# entre 0,05 e 0,45. Em geral o zonamento observado ao microscópio se reflete na mudança para termos mais ricos em Fe em direção as bordas dos cristais. O anfibólio sódico-cálcico corresponde a um barroisita-Fe, com valores mg# entre 0,9 e 0,22.

Os anfibólios primários das rochas sieníticas apresentam quantidades mensuráveis de  $\text{ZnO}$ , com máximo em 0,21 (% em peso),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  entre 1,2 e 3,5, e  $\text{MnO}$  entre 1,0 e 3,0, respectivamente. Os teores em F chegam a 1,6, enquanto Cl se mantém inferior a 0,2 %.

Os valores mg# das variedades cárnicas praticamente cobrem o intervalo de variação equivalente observado nos piroxênios associados, sendo em média um pouco mais ferrosos.

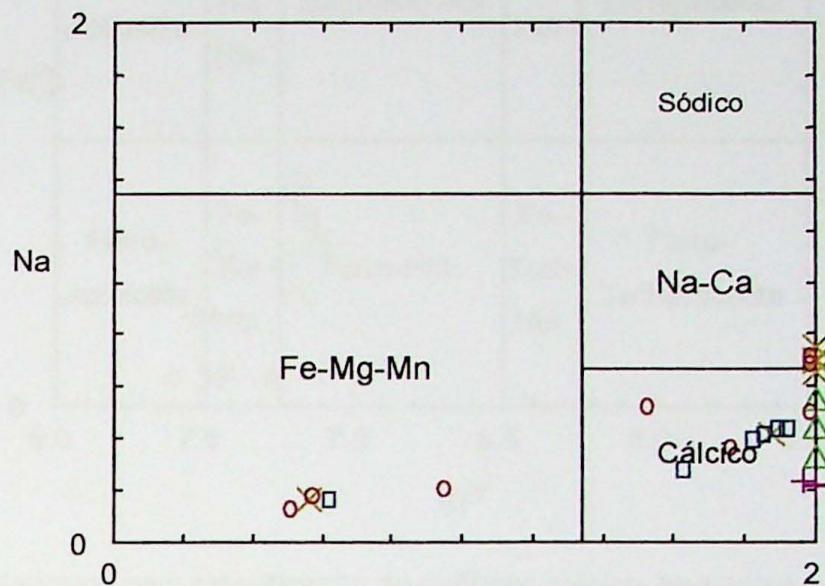


Figura 4.16: Diagrama para classificação de anfibólio, levando em consideração Na e Ca+Na, segundo Leake *et al.* (1997) para rochas sieníticas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

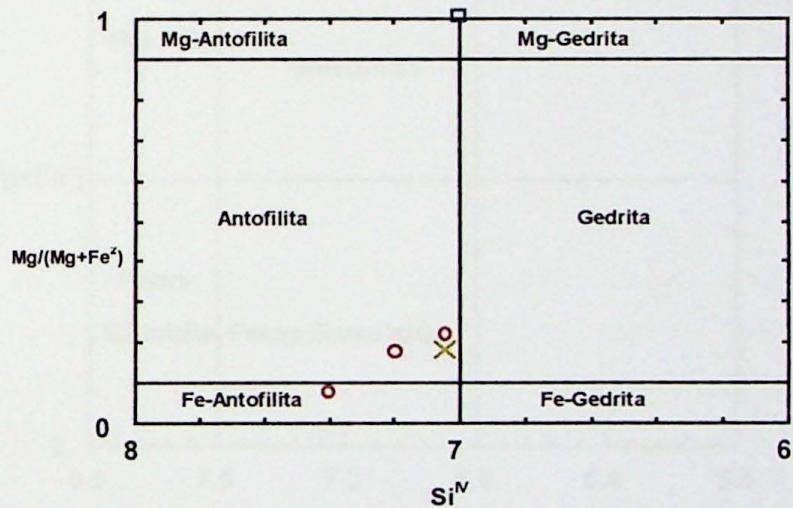


Figura 4.17: Diagrama para classificação de anfibólio Fe-Mg-Mn, levando em consideração Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) e Si<sup>IV</sup>, segundo Leake *et al.* (1997) para rochas sieníticas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

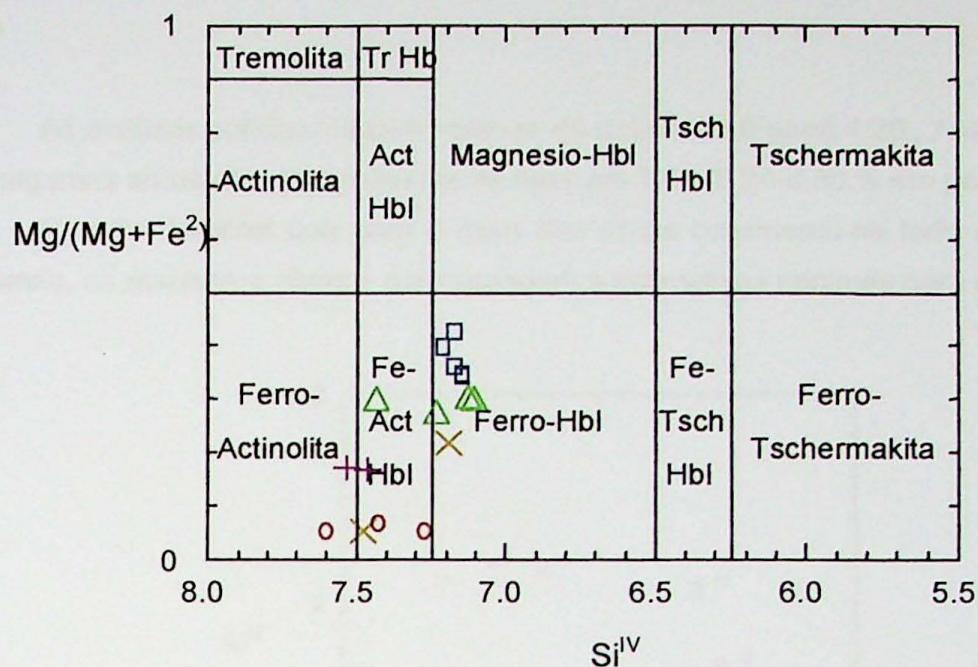


Figura 4.18: Diagrama para classificação de anfibólio cálcico, levando em consideração  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  e  $Si^{IV}$ , segundo Leake *et al.* (1997) para rochas sieníticas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

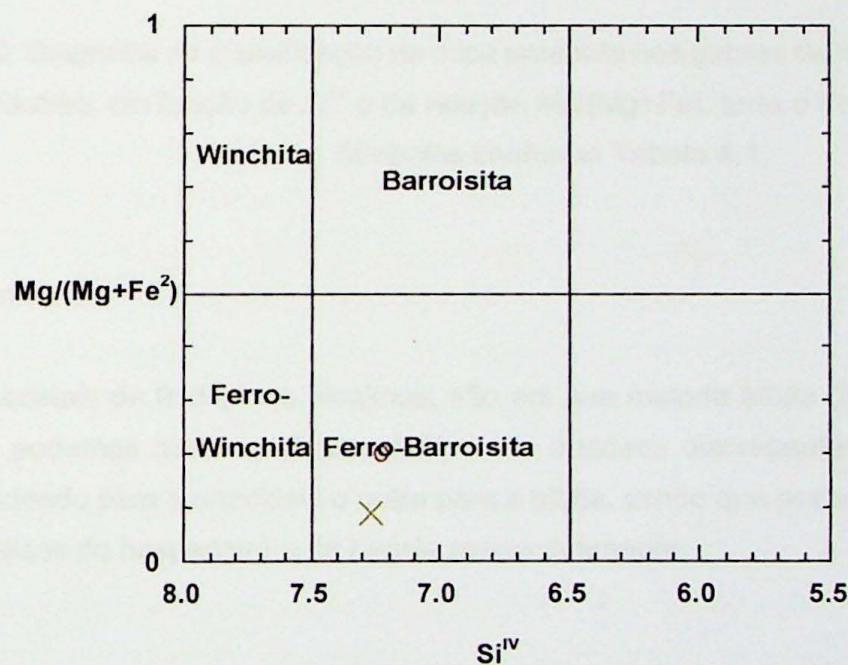


Figura 4.18: Diagrama para classificação de anfibólio sódico-cálcico, levando em consideração  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  e  $Si^{IV}$ , segundo Leake *et al.* (1997) para rochas sieníticas da região sul da Ilha de São Sebastião. Símbolos conforme Tabela 4.1.

### *Mica*

As análises obtidas indicam tratar-se de uma anita (Figura 4.20., Anexo 1.D.), sendo que algumas amostras são relativamente ricas em  $\text{TiO}_2$  (0,24-6,50 % em peso).

Convém lembrar que para o caso das micas considerou-se todo o Fe no estado bivalente, os resultados obtidos correspondem a estimativas mínimas para este parâmetro.

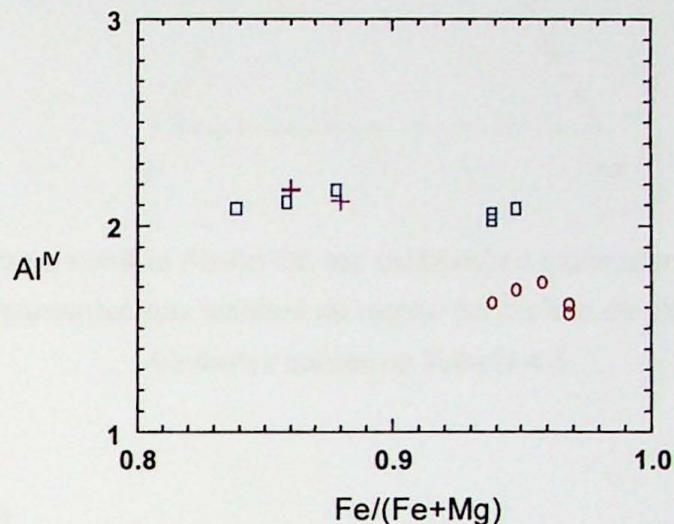


Figura 4.20: Diagrama de classificação da mica presente nos gabros da região sul da Ilha de São Sebastião, em função de  $\text{Al}^{\text{IV}}$  e da relação  $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ , todo o Fe calculado como bivalente. Símbolos conforme Tabela 4.1.

### *Feldspato alcalino*

Os cristais de feldspatos alcalinos, são em sua maioria albita (Figura 4.21., Anexo 1.E.), mas podemos notar na Figura 4.21. duas análises discrepantes, que seriam uma análise tendendo para o ortoclásio e outra para a albita, sendo que poderíamos concluir que seriam análises do hospedeiro e da lamela respectivamente.

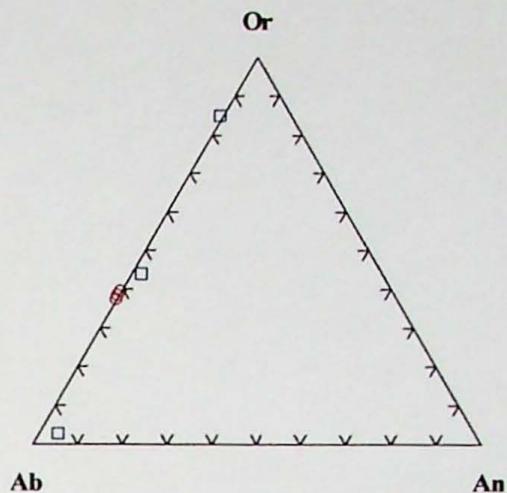


Figura 4.21: Diagrama ternário Ab-An-Or, em proporções moleculares, para os feldspatos alcalinos presentes nos sienitos da região sul da Ilha de São Sebastião.

Símbolos conforme Tabela 4.1.

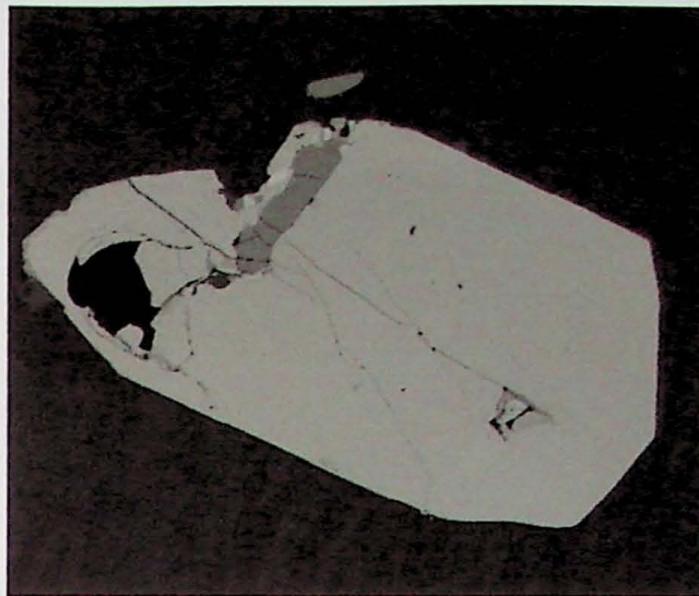
#### *Grupo da chevkinita*

O denominado grupo da chevkinita reúne minerais raros entre os quais a chevkinita propriamente dito e seu dimorfo perrierita são os mais comuns. São titanissilicatos de elementos terras raras com fórmula geral representada por  $A_4BC_2D_2Si_4O_{22}$ , em que A é preenchido por cations em coordenação 10, eventualmente 9 (REE, Ca, Th, Sr, Na, K), B, C, e D por cations em coordenação 6 (em geral com  $Fe^{2+}$ , Mg, Mn, Ca, em B; Ti, Al,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ , Mg, Mn, em C, e essencialmente Ti em D).

Ocorrem tipicamente em rochas de natureza alcalina-peralcalina: sienitos, granitos, pegmatitos associados, e rochas intermediárias e ácidas vulcânicas (e.g., Vlach, 1999) e a sua distinção pode ser feita apenas com informações de difratometria de raios X. Por simplicidade, utilizaremos a denominação chevkinita.

Este mineral é muito relevante em mineralogia, petrologia e geoquímica isotópica porque concentram a quase totalidade dos ETRL das rochas hospedeiras e, portanto, controlam a sua distribuição em processos de diferenciação de magmas intermediários e ácidos em que cristalizam e de fusão de rochas da crosta continental que os contêm.

A chevkinita presente nas amostras estudadas têm composição relativamente constante, como também evidenciado em imagens (BEI), que ressaltam contrastes de número atômico médio nos minerais (Fotomicrografia 4.1).



Fotomicrografia 4.1: Imagem BEI de chevkinita, da lâmina IBL 25, rocha sienítica da Ilha de São Sebastião. Base da imagem = 900 Micrômetros.

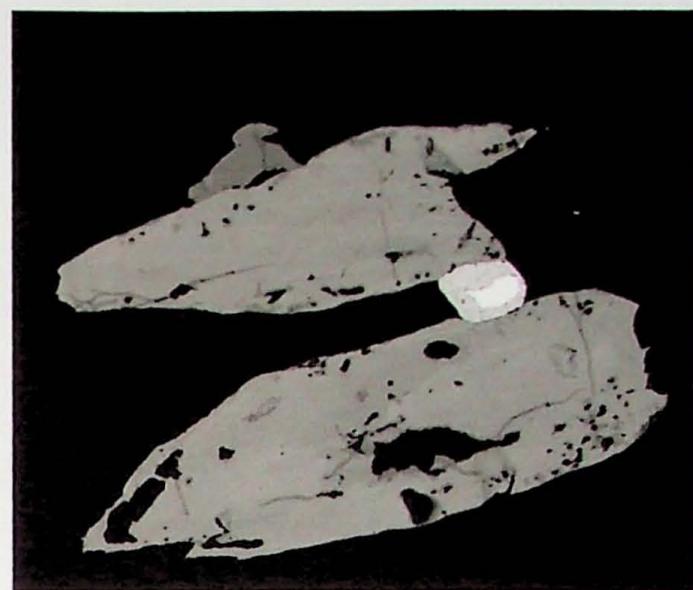
#### *Grupo do pirocloro*

O grupo do pirocloro é importante petrológica e economicamente porque reúne fases minerais que estão entre as mais importantes concentradoras de Nb e Ta na crosta terrestre. Minerais deste grupo ocorrem em sienitos insaturados, particularmente os de caráter agpaítico, sienitos e granitos peralcalinos e especialmente em carbonatitos (e.g., Möller et al. 1986).

A fórmula geral para este grupo mineral é dada por  $A_{2-m}M_2O_6(O,OH,F)_{1-n}.pH_2O$ , em que m varia entre 0 e 2, n entre 0 e 1 e p entre 0 e indeterminado. A estrutura cúbica, muito simples, permite a acomodação de cátions com raios muito variados; em geral M é constituído essencialmente por Ti, Nb e Ta, enquanto o sítio A aceita uma grande diversidade de cátions mono-, bi-, tri-, tetra- ou mesmo pentavalentes.

O mineral da amostra IBL-05A possui proporções catiônicas que mostram que se trata de um pirocloro s.s., pois apresenta  $Nb+Ta > 2Ti$ ,  $Nb > Ta$  e Ca é o cátion dominante no sítio A.

O mineral da amostra IBL-25 apresenta,  $Nb+Ta > 2Ti$ ,  $Nb > Ta$ , mas Y e ETRP (Gd-Lu), ocupam bem mais do que 20% dos sítios A. Trata-se portanto de um Ytropirocloro.



Fotomicrografia 4.2: Imagem BEI de pirocloro, da lâmina IBL 25, rocha sienítica da Ilha de São Sebastião. Base da imagem = 700 micrômetros.

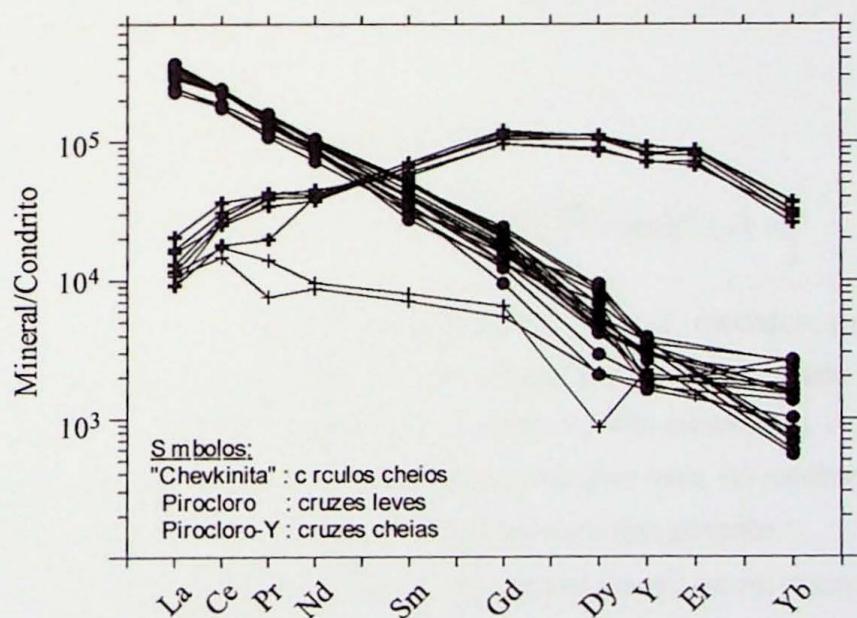


Figura 4.22: Padrão de distribuição de elementos terras raras para chevkinita e pirocloro para rochas sieníticas da Ilha de São Sebastião.

## Torita

Torita ( $\text{ThSiO}_4$ ) apresenta estrutura isomorfa com o zircão ocorre em alguns granitos, particularmente peraluminosos e peralcalinos, sienitos e carbonatitos. Em geral é uma fase de reconhecimento muito dificultado em rochas mais antigas em que aparece totalmente metamictizada.

Entre as rochas estudadas, foi encontrada torita na amostra IBL-25, associada ao Ytropirocloro (Fotomicrografia 4.2), facilmente reconhecida pelo forte sinal decorrente dos eletrons retro-espalhados. Nesta imagem nota-se claramente que o núcleo do cristal está relativamente preservado, mas a borda, com resposta mais fraca, possivelmente já está bem transformada.

As análises obtidas para o núcleo do cristal mostram que a torita nesta amostra é relativamente pura contendo quantidades apreciáveis de U. Os totais analíticos relativamente baixos sugerem que, assim como para zircão, o mineral contém alguma  $\text{H}_2\text{O}$  estrutural nos sítios tetraédricos.

As análises foram efetuadas com rotinas analíticas normais e não foram calibradas tendo em vista a obtenção de idades químicas em minerais de Th e U com microssonda eletrônica (e.g., Vlach & Gualda, 2000), de forma que os erros nas determinações de Pb são relativamente altos (300-400 ppm), mas ainda assim, assumindo que a torita não continha nenhum Pb inicial quando da sua cristalização, podem ser calculadas idades químicas utilizando a equação básica:

$$\begin{aligned} \text{Pb}_T = \text{Pb}_0 + \text{Th}_T \times \frac{A_b(^{232}\text{Th}) \times A_r(^{208}\text{Pb})}{A_r(\text{Th})} \times (\exp(-^{232}\lambda_{\text{Th}}t) - 1) + \\ + \text{U}_T \times \left[ \frac{A_b(^{238}\text{U}) \times A_r(^{206}\text{Pb})}{A_r(\text{U})} \times (\exp(-^{238}\lambda_{\text{U}}t) - 1) + \frac{A_b(^{235}\text{U}) \times A_r(^{207}\text{Pb})}{A_r(\text{U})} \times (\exp(-^{235}\lambda_{\text{U}}t) - 1) \right] \end{aligned}$$

em que  $\text{Pb}_T$ ,  $\text{Th}_T$  e  $\text{U}_T$  são os teores totais de Pb, Th e U, medidos, em porcentagem em peso (ou ppm) após decorrido o tempo  $t$  (em anos) e  $\text{Pb}_0$  a quantidade existente de Pb no sistema quando do seu isolamento (Pb comum ou Pb inicial).  $A_b$  e  $A_r$  representam as abundâncias relativas dos isótopos radioativos (*isótopos pais, ou melhor avós*) e as massas atômicas elementais e  $\lambda$  as respectivas constantes de decaimento.

Os resultados para as três análises efetuadas situam-se no intervalo entre 75 e 85 ( $\pm$  18 Ma), perfeitamente compatíveis apesar dos erros elevados com os resultados obtidos através dos métodos K/Ar e Rb/Sr para as rochas sieníticas da Ilha de São Sebastião.

## 5. Síntese e considerações finais

A monografia apresenta um estudo petrográfico e de químico-mineral de amostras selecionadas de rochas gábricas e sieníticas que afloram na região sul da Ilha de São Sebastião, no litoral norte do Estado de São Paulo, intrusivos em rochas gnáissicas e migmatíticas neoproterozóicas.

As rochas gábricas constituem um corpo plutônico com estratificação magmática bem definida por bandas mais máficas, em que predominam olivina, clinopiroxênio, magnetita, ilmenita, anfibólio e biotita e bandas mais férreas em que predomina o plagioclásio labradorítico. Estas estruturas têm atitudes N30W30SE, sugerindo que esta intrusão possivelmente mergulhe sob o Maciço Sienítico de São Sebastião. Adicionalmente foi estudado um micro-gabro que aparece como um dique sub-vertical N40E que corta as rochas do embasamento neoproterozóico.

Os gabros estudados apresentam em geral texturas traquitóides dominadas por plagioclásio e clinopiroxênio, com aspecto de certa forma cumulático. Anfibólio e biotita são as fases *intercumulus* mais típicas. O plagioclásio é a única fase férrea presente nestas rochas. As composições químicas obtidas mostram que corresponde essencialmente a uma labradorita (An45-An60). A olivina é forsterítica (mg# entre 0,67 e 0,70), o clinopiroxênio corresponde a um diopsídio com mg# entre 0,78 e 0,93 com quantidades importantes de TiO<sub>2</sub> (até 2,0 % em peso). Vale a pena destacar que o diopsídio presente na amostra do micro-gabro é bem mais primitivo, com valores mg# entre 0,93 e 0,99. Os valores mg# dos clinopiroxênios dos gabros são sempre superiores aos da olivina, um possível reflexo da cristalização em quantidades modais importantes de magnetita e ilmenita mais ou menos contemporaneamente à olivina.

O anfibólio, presente em geral como fase *intercumulus* e como fase de substituição parcial do clinopiroxênio, corresponde a uma típica kersutita, com teores de TiO<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>O que chegam a 5,2 e 1,5 % em peso, respectivamente, e números mg# entre 0,65 e 0,76, em média inferiores aos do clinopiroxênio. A mica, derradeira fase máfica a iniciar a cristalização nestas rochas, é uma flogopita rica em TiO<sub>2</sub> (até 6,4 %) e pobre em BaO (< 0,55 %), com mg# [Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>)] entre 0,69 e 0,82.

A presença de clinopiroxênio como único piroxênio nestes gabros, aliada a presença de flogopita rica em Ti e especialmente do anfibólio kersutita indicam sem dúvida uma filiação alcalina para estas rochas.

As rochas sieníticas estudadas correspondem a variedades de álcali-feldspato sienitos e um álcali-feldspato traquito. Os afloramentos amostrados, embora não se possa assegurar que estejam *in situ*, são representativos sem dúvida do Maciço São Sebastião. São rochas com feldspato alcalino pertítico a mesopertítico como única fase feldspática, acompanhada ou não por quartzo, no primeiro caso sem feldspatóide. São, portanto, rochas

saturadas e super-saturadas. São rochas com estruturas em geral maciças, hololeucocráticas a leucocráticas, cuja trama textural é determinada principalmente por feldspatos alcalinos tabulares, intersticialmente aos quais se distribuem os minerais maficos.

A mineralogia mafica primária inclui olivina, clinopiroxênios, clinoanfibólios e biotita, além de magnetita e ilmenita. Os acessórios típicos são zircão, apatita; algumas amostras apresentam adicionalmente chevkinita e pirocloro. Anfibólio e mica também aparecem como fases pós-magmáticas intersticiais, junto com alguma albita.

As composições químicas mostram que o feldspato alcalino teria uma composição inicial estimada próxima a  $Ab_{60}Or_{40}$ . A olivina é faialítica (mg# entre 0,02 e 0,07), o clinopiroxênio é tipicamente zonado, variando de diopsídio, nos núcleos mais incolores dos cristais (mg# até 0,56) a hedembergita nas bordas com pleocroísmo mais evidente em tons de verde (com mínimo mg# de 0,12). Algumas bordas mais externas, com tons de verde mais fortes quase chegam a composições cálcio-sódicas correspondentes a egirina-augitas. Os anfibólios incluem variedades cálcicas predominantes, em especial hornblenda-Fe, com valores mg# desde 0,45 nas fases mais precoces, até 0,05 nas fases mais tardias, as quais, em alguns casos correspondem já a anfibólios sódico-cálcicos (barroisita-Fe). As micas correspondem a biotitas ricas na molécula de anita (mg# inferior a 0,2) com quantidades significativas de Al tetraédrico (1,6 a 2,1 cpfu).

Os anfibólios pós-magmáticos são anfibólios de Fe e Mg, que se classificam como antofilita e antofilita-Fe; as micas deste estágio são similares as primárias, mostrando entretanto, valores mg# inferiores e menores quantidades de Al tetraédrico.

Entre os minerais acessórios, foram obtidas análises para minerais dos grupos da chevkinita, que corresponde provavelmente a uma chevkinita-Ce, e do pirocloro, sendo caracterizadas, neste último caso duas variedades: uma de pirocloro propriamente dito e outra de ítrio-pirocloro. Adicionalmente foi encontrada e analisada um silicato simples de Th. Os valores medidos de Th, U e Pb para este mineral resultam em idades químicas entre 75 e 85 Ma, compatíveis com dados isotópicos disponíveis em literatura (e.g., Sonoki & Garda, 1988). Vale a pena salientar que estes acessórios primários, ao lado da olivina, são minerais descritos pela primeira vez em sienitos da Ilha de São Sebastião.

A evolução mineral das rochas sieníticas se deu provavelmente através de reações contínuas e descontínuas de cristalização. As contínuas se caracterizam pelas variações compostionais dentro de cada grupo mineral, bem evidenciadas pela evolução dos piroxênios e anfibólios, com os termos relativamente mais tardios sendo progressivamente mais ricos em Fe e/ou Na, enquanto as descontínuas se caracterizam pela substituição de piroxênios por anfibólios e destes por micas.

## 6. Referências bibliográficas

- ALMEIDA, F.F.M. 1983. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma Sul-Americana. *Rev. Bras. Geociências*, **13**(3):139-158.
- AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. 1967. Potassium-argom ages of alkaline rocks from Southern Brazil. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **31**: 117-142.
- BELLIENI, G.; MONTES-LAUAR, C.R.; DE MIN, A.; PICCIRILLO, E.M.; CAVAZZINI, G.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G. 1990. Early and late cretaceous magmatism from São Sebastião Island (SE – Brazil): Geochemistry and Petrology. *Geoch. Brasil.*, **4**(1): 59-83.
- COUTINHO, J.M.V. & ENS, H.H. 1992. Diques lamprofiríticos e diferenciados carbonatíticos da região de São Sebastião e Itanhaém – São Paulo (resultados preliminares). In: CONG. BRAS. GEOL., 37. São Paulo, 1992. *Bol. Resumos Exp.* São Paulo, SBG. v.1, p. 512-513.
- DROOP 1987. A general equation for estimating Fe <sup>3+</sup> in ferromagnesian silicates and oxides from micropore analysis, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, **51**, p. 431-437.
- FREITAS, R.O. 1944. Geomorfogênese da Ilha de São Sebastião. Boletim da Associação dos Geógrafos Brasileiros. p.16-30. (Boletim 4).
- FREITAS, R.O. 1947. Geologia e petrologia da Ilha de São Sebastião. FFCL (Fac. Fil., Ci. E Letras), USP, São Paulo. 244 p., 1 mapa (Geologia 3). (Boletim 85).
- GARDA, G.M. 1995. *Os Diques Básicos e Ultrabásicos entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba, Estado de São Paulo*. Tese de Doutorado, Vol. 1 (texto): 156p., Vol. 2 (anexos): 24 tabelas, IG-USP, São Paulo.
- GARDA, G.M.; SCHORSCHER, H.D.; ESPERANÇA, S.; CARLSON, R.W. 1995. The petrology and geochemistry of coastal dikes from São Paulo State, Brazil: implications for variable lithospheric contributions to alkaline magmas from the western margin of the South Atlantic. *An. Acad. Bras. Ci.*, **67** (Supl. 2, vol. ISUM): 191-216.
- GARDA, G.M. & SCHORSCHER, H.D. 1996. Os diques costeiros básicos e ultrabásicos adjacentes ao canal de São Sebastião (litoral Norte do Estado de São Paulo). *Rev. IG São Paulo*, **17**(1/2): 7-31.
- GARDA, G.M. & SCHORSCHER, H.D. 1997. Os álcali basaltos das porções adjacentes ao canal de São Sebastião (litoral Norte do Estado de São Paulo). In: CONG. BRAS. GEOQUÍMICA, 6. Salvador, 1997. *Anais...* Salvador, SBGq. v.2, p.831-835.

- HALL, A. 1987. *Igneous petrology*. 1 ed. New York, Longman Scientific & Technical. 573p.
- HENNIES, W.T. & HASUI, Y. 1968. Geocronologia das rochas eruptivas da ilha de São Sebastião, SP. In: CONG. BRAS. GEOL., 22. Belo Horizonte, 1968. *Atas*, SBG. p.145-148.
- HENNIES, W.T. & HASUI, Y. 1977. Contribuição ao reconhecimento da geologia da ilha de São Sebastião, SP. In: SIMP. GEOL. REG., São Paulo, SBG. v.1, p.199-209.
- LEAKE, B.E. et al. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names. *Canadian Mineralogist*, **35**, p.219–245.
- LIMA, G.A. & SCHORSCHER, J.H.D. 1999. Complexo gábrico estratiforme da Ponta da Pacuíba – Ilha de São Sebastião. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 6. São Pedro - São Paulo, 1999. *Boletim de Resumos*. p.65.
- LIMA, G.A. 2001. *Gabros estratiformes da região norte da Ilha de São Sebastião, SP*. Tese de Mestrado, 170p., IG-USP, São Paulo.
- MONTES-LAUAR, C.R. 1993. *Paleomagnetismo de rochas magmáticas mesozóico-cenozóicas da plataforma Sul-Americana: estudos etc.* Tese de Doutorado, 206p., apêndice, IAG-USP, São Paulo.
- MONTES-LAUAR, C.R.; PACCA, I.G.; MELFI, A.J.; KAWASHITA, K. 1995. Late Cretaceous alkaline complexes, southeastern Brazil: Paleomagnetism and geochronology. *Earth and Planetary Sci. Lett*, **134**: 425-440.
- MORBIDELLI, L.; GOMES, C.B.; BECCALUVA, L.; BROTZU, P.; CONTE, A.M.; RUBERTI, E.; TRAVERSA, G. 1995. Mineralogical, petrological and geochemical aspects of alkaline and alkaline-carbonatite associations from Brazil. *Earth Science*, **39**(3-4):135-168.
- MORIMOTO, N. 1990. Nomenclatura de piroxênios. Tradução do original em inglês "Nomenclature of pyroxenes", realizada com a premissão do IMA por GARDA, M.G. & ATENCIO, D. *Rev. Bras. Geoc.*, **20**(1-4), p.318-328.
- RICHARD, L.R. 1996. "MinPet 2.02".
- SONOKI, I.K. & GARDA, G.M. 1988. Idades K-Ar de Rochas Alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: Compilação e Adaptação às novas constantes de decaimento. p.63-85. (Bol. IG-USP, Ser. Cient., 19).
- STRECKEISEN, A. 1976. To each rock its proper name. *Earth Science*, **12**: 1-33.
- TUNER, F.J. & WERHOOGEN, J. 1960. *Igneous and metamorphic petrology*. 2 ed. New York, McGraw Hill. 694p.
- ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. 1981. Alkaline rocks from Continental Brazil. *Earth Science Reviews*, **17**: 135-154.

- VLACH, S.R.F. 1999. Ocorrências e variações compositionais de chevkinita-Ce e allanita (Fe) em quartzo-sienitos do Maciço Corupá (SC), Província Serra do Mar. *Anais do V Cong. Geoq. Dos Países de Língua Portuguesa*, p.627-630.
- VLACH, S.R.F. & GUALDA, G.A.R. inédito. MinCalc.
- VLACH, S.R.F. & GUALDA, G.A.R. 2000. Microprobe monazite dating and the ages of some granitic and metamorphic rocks from Southeastern Brazil: *Rev. Bras. Geoc.*, **30** (1), p.214-218..

## **ANEXOS**

Apêndice 1A: Análises químicas por microscopia eletrônica (WDS), formadas estruturais e parâmetros químicos para olivinas de rochas gabéricas e sieníticas (n = núcleo do cristal, l = zona intermédia, b = borda, mgf =  $(Mg/Mg+Fe)^{+1}$  em proporções cationicas).

Anexo 1A: Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para olivinas de rochas gálicas e silílicas ( $n =$  núcleo do cristal,  $i =$  zona intermédia,  $b =$  borda,  $mg^{\#} = (Mg/Mg+Fe^{2+})$  em proporções cationicas)

Rocha	Sienitos		
	$IBL/0.3$	$IBL/0.1$	$IBL/25$
Amostra	$2,/_i$	$3,/_i$	$2,/_i$
Cristal ponto	37.68	37.71	30.13
SiO <sub>2</sub>	0.01	0.02	0.05
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.05	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.98	27.01	62.34
FeO	0.48	0.50	4.88
MnO	34.77	33.78	4.91
MgO	0.09	0.04	2.43
CaO	99.95	99.02	0.90
Total	99.87	100.29	99.77
Fórmula estrutural com base em 4.0			
Si	1.003	1.013	1.004
Sítio T	1.003	1.013	1.004
Ti	0.000	0.000	0.000
Al	0.001	0.001	0.002
Fe <sup>2+</sup>	0.598	0.605	1.754
Mn	0.011	0.012	0.137
Mg	1.380	1.353	1.374
Ca	0.003	0.001	0.002
Sítio M	1.993	1.972	1.991
mg <sup>#</sup>	0.697	0.695	0.695

Anexo 1B. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para próximos de rochas ígneas e silicáticas ( $n$  = núcleo do cristal,  $i$  = zona intermédia,  $b$  = borda,  $mg\#$  =  $(Mg/(Mg+Fe2+))$  em proporções caionicas).

Rocha	Gabros	90M
Amostra	IBL 04c	4.b
Cristal/Ponto	1.n	3.n
SiO <sub>2</sub>	52.53	51.59
TiO <sub>2</sub>	0.43	0.99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.38	1.23
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.03
FeO	7.83	7.83
MnO	0.23	0.20
MgO	15.13	14.60
CaO	21.81	21.79
Na <sub>2</sub> O	0.43	0.40
Total	99.80	99.18
	99.21	99.28
		99.46
		99.29
		99.57
		100.00
Fórmula estrutural com base em 4 Cátions e 6 O		
Si	1.946	1.940
Al <sup>V</sup>	0.054	0.046
Si <sub>lo</sub> T	2.000	2.000
Al <sup>V</sup>	0.006	0.002
Ti	0.012	0.012
Cr	0.001	0.000
FeII	0.055	0.032
Fe	0.187	0.210
Mn	0.007	0.008
Mg	0.835	0.830
Ca	0.896	0.866
Na	0.031	0.027
Silos M	2.000	2.000
mg <sup>#</sup> (x 100)	81.68	79.77
	82.26	82.01
		80.10
		83.33
		81.54
		82.27
		80.79
		82.33
		82.89
		82.63
		79.24

Anexo 1B: Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para próxenos de rochas gálicas e sieníticas ( $n$  = núcleo do cristal,  $i$  = zona intermédia,  $b$  = borda,  $mgf\# = (Mg/(Mg+Fe2+))$  em proporções caibáticas).

Rocha	Amostra				Cristal/Ponto				I/BL 10b				I/BL 04b			
	4.i	4.n	52.02	52.58	1.i	1.i	52.64	52.22	1.i	2.i	51.40	51.07	2.i	3.b	4.n	52.20
Amostra																
Cristal/Ponto																
SiO <sub>2</sub>	51.34	51.34	0.97	0.97	0.27	0.44	0.40	0.56	0.78	0.67	0.65	0.65	0.67	1.52	1.62	0.49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.88	0.88	1.91	1.91	2.36	2.27	2.38	2.67	3.88	3.84	3.49	3.49	3.20	3.82	1.96	3.00
Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>																
Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>5</sub>																
FeO	0.00	0.00	0.54	0.60	0.61	0.44	0.44	0.27	0.24	0.22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
MnO	0.38	0.38	8.16	8.16	2.78	3.05	3.22	4.03	3.98	3.73	7.96	7.96	7.73	7.73	7.01	7.01
MgO	14.80	14.80	0.30	0.02	0.05	0.08	0.08	0.06	0.10	0.10	0.29	0.29	0.20	0.20	0.19	0.19
CaO	21.21	21.21	14.38	17.85	17.70	17.70	17.80	18.17	18.17	18.17	18.43	18.43	14.08	14.08	14.74	14.74
Na <sub>2</sub> O	0.51	0.51	21.67	23.16	23.17	23.05	23.05	23.28	23.44	23.44	22.95	22.95	22.11	22.11	23.00	23.00
Total	99.81	99.99	99.92	99.93	100.30	100.10	99.83	99.99	99.99	99.88	100.16	100.16	99.87	99.87	99.99	99.99
Fórmula estrutural com base em 4 Cátions e 6 O																
Si <sub>4</sub>	1.907	1.930	1.909	1.904	1.893	1.866	1.866	1.876	1.887	1.882	1.887	1.887	1.887	1.928	1.928	
Al <sub>4</sub> <sup>V</sup>	0.084	0.070	0.091	0.095	0.096	0.107	0.134	0.124	0.113	0.138	0.153	0.153	0.153	0.072	0.072	
SiO <sub>4</sub> T	1.991	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	
Al <sub>4</sub> <sup>W</sup>	0.000	0.018	0.010	0.002	0.005	0.007	0.033	0.041	0.037	0.001	0.014	0.014	0.014	0.013	0.013	
Ti	0.025	0.027	0.007	0.012	0.011	0.015	0.022	0.018	0.018	0.042	0.045	0.045	0.045	0.014	0.014	
Cr	0.000	0.000	0.015	0.017	0.017	0.013	0.008	0.008	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Fe <sup>II</sup>	0.090	0.033	0.069	0.071	0.072	0.076	0.057	0.051	0.051	0.088	0.088	0.088	0.088	0.061	0.061	
Fe <sup>III</sup>	0.182	0.220	0.025	0.014	0.020	0.022	0.053	0.064	0.063	0.159	0.159	0.159	0.159	0.156	0.156	
Mn	0.012	0.009	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.009	0.009	0.009	0.006	0.006	
Mg	0.820	0.795	0.955	0.950	0.954	0.951	0.881	0.876	0.883	0.791	0.778	0.778	0.778	0.811	0.811	
Ca	0.844	0.861	0.901	0.913	0.898	0.895	0.912	0.916	0.911	0.874	0.874	0.874	0.874	0.910	0.910	
Na	0.037	0.036	0.018	0.019	0.020	0.019	0.020	0.020	0.017	0.018	0.038	0.038	0.038	0.029	0.029	
Sítios M	2.009	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	
mgf# (x 100)	81.82	78.32	97.49	98.55	97.96	97.76	94.30	93.22	93.46	83.27	83.46	83.46	83.46	83.91	83.91	

Anexo 1B. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para piroxénos de rochas gálicas e sianíticas ( $n$  = núcleo do cristal,  $i$  = zona intermédia,  $b$  = borda,  $mg\#$  =  $(Mg/(Mg+Fe^{2+}))$  em proporções catiônicas).

Rocha	Amostra	IBL	04a	3.b	4.b	5.b	6.b	6.i	6.n	7.b	7.i
Cristal/fundo	4.b	3.n	48.89	49.64	50.51	49.31	49.34	49.24	49.21	49.40	49.41
SiO <sub>2</sub>	50.17	48.17	48.89	48.89	48.89	48.79	48.79	48.79	48.79	48.79	48.79
TiO <sub>2</sub>	1.47	2.01	1.83	1.61	0.30	0.45	0.51	0.40	0.31	0.39	0.44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.39	4.54	4.05	3.55	0.34	0.42	0.41	0.39	0.24	0.39	0.38
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
FeO	8.00	8.20	8.07	7.92	23.86	22.72	22.75	22.75	22.75	22.45	22.80
MnO	0.19	0.22	0.21	0.23	1.35	1.26	1.37	1.41	1.41	1.30	1.22
MgO	14.16	13.71	13.97	14.31	3.74	4.36	4.32	4.29	2.79	4.65	3.89
CaO	21.76	21.46	21.67	21.45	19.72	19.83	19.56	19.56	19.17	19.71	19.78
Na <sub>2</sub> O	0.50	0.65	0.50	0.47	1.00	0.58	0.64	0.58	1.65	0.67	1.37
Total	99.64	99.67	99.95	100.05	99.95	98.90	98.90	98.90	98.90	99.50	99.24
Fórmula estrutural com base em 4 Cátions e 6 O											
Si	1.867	1.820	1.843	1.872	1.968	1.991	1.993	1.999	1.986	1.977	1.979
Al <sup>V</sup>	0.133	0.180	0.157	0.128	0.016	0.009	0.007	0.001	0.011	0.012	0.018
Sítio T	2.000	2.000	2.000	1.984	2.000	2.000	2.000	1.997	2.000	1.994	1.997
Al <sup>VI</sup>	0.015	0.019	0.020	0.027	0.000	0.010	0.012	0.019	0.000	0.007	0.000
Tl	0.041	0.056	0.051	0.045	0.009	0.014	0.015	0.012	0.010	0.012	0.011
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
FeII	0.072	0.095	0.070	0.046	0.107	0.017	0.014	0.003	0.026	0.034	0.028
Fe	0.177	0.160	0.180	0.200	0.698	0.750	0.754	0.757	0.691	0.722	0.693
Mn	0.008	0.007	0.007	0.007	0.048	0.043	0.047	0.044	0.048	0.044	0.042
Mg	0.760	0.785	0.773	0.790	0.225	0.263	0.260	0.268	0.279	0.231	0.232
Ca	0.867	0.856	0.862	0.852	0.858	0.847	0.851	0.829	0.850	0.845	0.849
Na	0.036	0.047	0.036	0.034	0.078	0.045	0.050	0.046	0.129	0.052	0.106
Sítios M	2.000	2.000	2.000	2.000	2.016	2.000	2.000	2.000	2.003	2.000	2.003
mg# (x 100)	81.60	82.64	81.08	79.82	24.34	25.92	26.15	19.56	27.86	24.98	26.14

Anexo 1B: Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para piroxénios de rochas gálicas e sieníticas ( $n$  = núcleo do cristal,  $i$  = zona intermediária,  $b$  = borda,  $mg\#$  =  $(Mg/(Mg+Fe2+))$  em proporções cationicas).

Rocha	Amostra	IBL 15	2.i	2.b	4.i	4.b	4.b	3.i	3.b	4.n	4.n	IBL 14	2.n	2.i
Cristal/Ponto														
SiO <sub>2</sub>	50.27	50.05	49.92	49.31	49.24	49.30	49.19	49.22	49.90	51.17	50.88			
TiO <sub>2</sub>	0.23	0.14	0.07	0.03	0.38	0.10	0.26	0.17	0.34	0.57	0.42			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.29	0.15	0.14	0.43	0.06	0.09	0.34	0.20	0.52	0.67	0.70			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
FeO	20.75	19.83	20.09	23.25	21.98	24.90	25.15	24.96	21.75	15.56	15.66			
MnO	1.33	1.31	1.35	1.31	1.39	1.59	1.59	1.38	1.47	1.34	1.30			
MgO	5.84	6.15	5.39	3.40	4.47	1.73	1.70	3.08	2.41	5.33	9.74			
CaO	19.91	20.35	20.91	19.94	20.17	19.27	18.58	19.21	19.24	20.06	20.14			
Na <sub>2</sub> O	0.79	0.71	0.98	1.18	0.84	1.84	2.34	1.11	1.58	0.57	0.54			
Total	99.16	98.12	99.00	99.17	98.95	98.75	99.01	98.22	99.81	99.36				
Fórmula estrutural com base em 4 Cátions e 6 O														
Si <sub>i</sub>	1.989	1.994	1.990	2.009	1.981	2.002	1.993	1.980	1.983	1.976	1.969			
Al <sup>IV</sup> <sub>i</sub>	0.011	0.006	0.007	0.000	0.019	0.000	0.004	0.015	0.010	0.024	0.031			
Sítio T	2.000	2.000	1.997	2.009	2.000	2.002	1.997	2.000	2.000	2.000	2.000			
Al <sup>VI</sup> <sub>i</sub>	0.003	0.011	0.000	0.006	0.002	0.003	0.000	0.001	0.000	0.006	0.001			
Ti <sub>i</sub>	0.007	0.004	0.002	0.001	0.011	0.003	0.008	0.007	0.005	0.017	0.012			
Cr <sub>i</sub>	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
Fe <sup>III</sup> <sub>i</sub>	0.056	0.041	0.083	0.065	0.060	0.131	0.124	0.086	0.124	0.025	0.049			
Fe <sub>i</sub>	0.634	0.617	0.585	0.717	0.678	0.716	0.673	0.756	0.719	0.691	0.458			
Mn <sub>i</sub>	0.045	0.044	0.045	0.044	0.047	0.055	0.054	0.046	0.050	0.045	0.043			
Mg <sub>i</sub>	0.346	0.384	0.320	0.204	0.268	0.105	0.102	0.185	0.145	0.316	0.562			
Ca <sub>i</sub>	0.848	0.885	0.891	0.868	0.860	0.840	0.830	0.833	0.833	0.833	0.833			
Na <sub>i</sub>	0.061	0.054	0.076	0.092	0.145	0.184	0.087	0.124	0.044	0.040	0.042			
Sítios M	2.000	2.000	2.003	1.891	2.000	1.998	2.003	2.000	2.001	2.000	2.000			
mg# (x 100)	35.32	37.98	35.34	22.12	28.29	12.78	13.22	19.69	16.79	31.37	54.14			

anexo 1B. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para piroxénios de rochas gálicas e silílicas ( $n$  = núcleo do cristal,  $b$  = borda,  $mg\#$  =  $(Mg/(Mg+Fe^{2+}))$  em proporções cationínicas).

Apêndice 1C: Análises químicas por rmc (os sonda eletrostática (WDS), formadas estruturais e parâmetros químicos para anfíbólitos de rochas gálicas e silicáticas (n = núcleo do cristal),  $b$  = borda,  $mg^{\#}$  =  $Mg/(Mg+Fe2+)$  em proporções catiônicas).



Apêndice 1C. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), formadas e futurais e parâmetros químicos para amfibolios de rochas gárgicas e silicáticas ( $n =$  núcleo do cristal),  $b =$  zona intermédia,  $b =$  borda,  $mg^{\#} = (Mg/(Mg+Fe^2+))$  em proporções cationicas.

Apêndice 1C. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para anfíbólitos de rochas gáfricas e sieníticas ( $n =$  núcleo do cristal,  $i =$  zona intermédia,  $b =$  borda,  $m\# = (Mg/(Mg+Fe2+))$  em proporções catônicas).

Rocha	Amostra	Crstal/Ponto	IBL 15	2,j	2,n	1,n	1,b	1,i	2,j	2,n	1,b	2,j
	SO <sub>2</sub>	2,b	45.21	46.19	47.37	45.26	46.31	46.74	46.28	46.14	45.47	2,b
	TO <sub>2</sub>	45.85	1.36	0.84	0.88	0.84	0.11	0.16	1.53	1.41	1.22	3,b
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.40	4.15	3.94	4.12	3.01	3.29	2.20	3.21	3.21	3.60	5.86
	FeO	27.48	28.19	27.67	26.20	33.04	34.73	41.80	29.48	29.18	30.03	32.02
	MnO	0.98	1.09	0.93	1.04	1.13	1.37	2.50	1.01	1.01	0.93	1.26
	MgO	5.15	4.83	4.91	5.61	1.48	0.85	0.58	4.01	4.22	3.71	1.74
	ZnO	0.05	0.07	0.14	0.10	0.18	0.13	0.16	0.09	0.03	0.07	0.03
	CaO	Na <sub>2</sub> O	8.56	9.85	9.15	7.19	8.35	2.46	7.64	7.67	10.05	
	K <sub>2</sub> O	2.38	1.94	1.56	2.44	3.14	1.33	0.56	3.42	3.40	2.91	1.52
	F	0.88	0.82	0.79	0.77	1.03	0.39	0.03	0.98	0.93	1.23	
	Cl	0.91	0.63	0.50	1.04	0.82	0.08	1.35	1.32	0.95		
	Total	(O=F,Cl)	97.68	96.81	97.59	97.07	97.90	95.93	96.38	98.94	97.82	97.26
	Total		0.40	0.29	0.23	0.45	0.36	0.06	0.10	0.59	0.57	0.41
	Fórmula estrutural com base em Schumacker (max)											
	Si <sub>x</sub>	7.226	7.255	7.239	7.443	7.369	7.576	7.787	7.394	7.395	7.318	6.862
	Al <sub>y</sub>	0.774	0.745	0.761	0.557	0.631	0.424	0.213	0.606	0.605	0.682	1.138
	Si <sub>z</sub> T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
	Al <sub>z</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000
	Ti	0.164	0.164	0.098	0.104	0.158	0.014	0.020	0.184	0.169	0.148	0.041
	Fe	0.313	0.182	0.603	0.349	0.216	0.613	0.300	0.000	0.000	0.137	0.635
	Mg	1.215	1.155	1.147	1.314	0.380	0.207	0.144	0.958	1.005	0.889	0.427
	Zn	0.005	0.008	0.016	0.012	0.021	0.015	0.020	0.010	0.003	0.008	0.004
	Fe	3.300	3.490	3.024	3.094	4.246	4.138	4.469	3.848	3.823	3.781	
	Fe	0.000	0.000	0.000	0.000	0.127	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.113
	Mn	5.000	6.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
	Sitio C	0.025	0.110	0.000	0.038	0.000	1.028	0.103	0.078	0.087		
	Fe	0.132	0.149	0.012	0.111	0.158	0.177	0.353	0.137	0.127	0.083	
	Mn	1.453	1.463	1.654	1.540	1.254	1.464	0.439	1.311	1.313	1.357	1.775
	Ca	0.391	0.279	0.335	0.450	0.552	0.356	0.180	0.449	0.472	0.429	0.162
	Na	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	Sitio B	0.341	0.326	0.283	0.439	0.062	0.000	0.614	0.580	0.481	0.325	
	Na	0.178	0.188	0.158	0.214	0.081	0.008	0.189	0.201	0.198	0.259	
	K	0.519	0.513	0.286	0.448	0.653	0.143	0.816	0.770	0.677	0.584	
	Sitio A	26.77	24.29	27.50	7.76	4.76	2.54	19.51	18.54	10.14		



ANEXO 1C. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para amfibolos de rochas gáfricas e silicáticas (n = núcleo do cristal, i = zona intermédia, b = borda, mg# =  $(Mg/(Mg+Fe))_{22}$  em proporções cationicas).

Anexo 1D. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para biotitas de rochas gábeicas e sieníticas.

Rocha	Amostra	Gabros						IBL 04c					
		IBL 04b	1	2	1	1	2	1	2	3	1	2	3
Cristal/ponto													
SiO <sub>2</sub>	36.26	36.39	37.95	35.41	36.11	35.95	36.24	35.28	36.16	36.13	36.72	36.31	36.40
TiO <sub>2</sub>	5.58	5.38	4.19	5.74	5.36	5.96	5.42	6.15	4.99	5.46	5.77	5.93	5.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.43	14.15	14.57	14.43	14.27	13.79	13.32	13.60	14.01	14.01	14.70	14.20	14.37
FeO	12.41	12.04	8.91	11.54	11.89	12.27	11.60	11.90	10.54	11.14	11.84	11.24	11.31
MnO	0.05	0.02	0.04	0.08	0.04	0.08	0.00	0.03	0.06	0.05	0.07	0.05	0.07
MgO	15.78	15.95	19.24	15.79	16.18	15.42	15.94	15.06	16.77	16.38	16.12	16.60	16.40
CaO	0.03	0.00	0.03	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.42	0.44	0.69	0.70	0.65	0.84	0.66	0.60	0.65	0.61	0.40	0.58	0.59
K <sub>2</sub> O	9.23	8.98	8.57	8.92	8.36	8.76	8.77	8.41	8.82	8.46	8.00	8.69	8.65
F	0.13	0.36	0.49	0.30	0.11	0.40	0.27	0.37	0.43	0.27	0.37	0.24	0.41
CL	0.03	0.33	0.02	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
BaO	0.45	0.41	0.31	0.54	0.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.58	0.44	0.43
Total	94.80	94.45	95.01	93.46	93.55	93.29	92.26	91.43	92.46	92.84	94.60	94.32	94.10
O_F(CL	0.06	0.23	0.21	0.13	0.05	0.17	0.12	0.16	0.19	0.12	0.16	0.11	0.17
CTotal	94.86	94.68	95.22	93.59	93.60	93.46	92.38	91.59	92.65	92.96	94.76	94.43	94.27
Fórmula estrutural com base em 22 O													
Si	5.68	5.73	5.80	5.62	5.70	5.71	5.79	5.70	5.75	5.73	5.71	5.68	5.71
Al/V	2.32	2.27	2.20	2.38	2.31	2.29	2.21	2.30	2.25	2.28	2.29	2.32	2.29
Al/V	0.34	0.36	0.43	0.32	0.35	0.29	0.30	0.29	0.37	0.34	0.41	0.29	0.36
Ti	0.66	0.64	0.48	0.68	0.64	0.71	0.65	0.75	0.60	0.65	0.68	0.70	0.64
Fe <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>2</sup>	1.63	1.59	1.14	1.53	1.57	1.63	1.55	1.61	1.40	1.48	1.54	1.47	1.48
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	3.69	3.74	4.39	3.74	3.81	3.65	3.80	3.63	3.97	3.87	3.74	3.87	3.84
Ba	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.03	0.03
Ca	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.13	0.13	0.20	0.22	0.20	0.20	0.21	0.19	0.20	0.19	0.12	0.18	0.18
K	1.84	1.80	1.67	1.81	1.86	1.78	1.79	1.74	1.79	1.71	1.59	1.73	1.73
Cátions	16.32	16.29	16.34	16.35	16.28	16.27	16.30	16.21	16.34	16.26	16.12	16.27	16.27

Anexo 1D. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para biotitas de rochas gálicas e científicas.

Amostra	IBL 03			IBL 90M		
	1	2	3	1	2	3
Cristal/ponto						
SiO <sub>2</sub>	36.45	36.76	36.36	35.81	36.98	36.81
TiO <sub>2</sub>	5.68	5.29	5.35	5.81	6.09	6.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.12	14.97	15.05	14.55	14.73	14.58
FeO	11.08	8.98	11.37	10.43	10.01	9.39
MnO	0.09	0.02	0.03	0.06	0.05	0.04
MgO	16.59	17.41	15.83	16.48	16.87	17.31
CaO	0.01	0.09	0.08	0.11	0.08	0.04
Na <sub>2</sub> O	0.62	0.26	0.24	0.31	0.33	0.25
K <sub>2</sub> O	8.67	9.28	8.57	8.85	9.33	9.71
F	0.26	0.07	0.18	0.18	0.19	0.07
Cl	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.03
BaO	0.44	0.00	0.24	0.12	0.17	0.24
Total	94.05	93.16	93.09	92.64	94.38	95.02
O_F_Cl	0.12	0.04	0.08	0.08	0.04	0.05
CTotal	94.17	93.20	93.17	92.72	94.46	95.08
Fórmula estrutural com base em 22 O						
Si	5.71	5.72	5.66	5.68	5.68	5.68
Al/V	2.29	2.28	2.29	2.34	2.32	2.34
Al/V	0.32	0.47	0.50	0.37	0.35	0.32
Ti	0.67	0.62	0.63	0.69	0.71	0.75
Fe <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>2</sup>	1.45	1.17	1.49	1.38	1.30	1.21
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	3.87	4.04	3.71	3.88	3.91	3.98
Ba	0.03	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01
Ca	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00
Na	0.19	0.08	0.07	0.10	0.07	0.06
K	1.73	1.84	1.72	1.78	1.85	1.90
Cations	16.27	16.24	16.15	16.25	16.24	16.25
	2	1	1	1	2	3
	38.10	38.09	38.09	37.45	37.45	37.45
	4.12	3.71	4.41	4.48	4.48	4.48
	14.54	15.31	15.31	15.59	15.59	15.59
	8.27	8.27	8.27	8.25	8.25	8.25
	16.42	16.33	16.33	16.34	16.34	16.34

Anexo 1D. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para biotitas de rochas gabriáticas e sieníticas.

Rocha	Amostra	Stenitos	/BL 05a	/BL 14	/BL 01
Cristaloponto			2	3	1
SiO <sub>2</sub>	34.28	34.91	34.67	34.79	34.73
TiO <sub>2</sub>	1.44	1.63	1.30	1.73	1.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.44	8.57	8.10	8.74	8.26
FeO	37.23	37.58	38.71	37.59	33.49
MnO	0.68	0.69	0.81	0.78	0.83
MgO	1.23	1.13	0.64	0.79	1.136
CaO	0.05	0.01	0.07	0.08	0.04
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
K <sub>2</sub> O	8.50	8.60	8.30	8.20	8.75
F	0.27	0.45	0.26	0.34	0.26
Cl	0.37	0.33	0.28	0.25	1.66
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00
BaO	0.02	0.02	0.04	0.02	0.00
Total	92.55	94.00	93.23	93.38	95.00
O_F_Cl	0.20	0.26	0.17	0.20	0.66
C_Total	92.75	94.26	93.40	93.58	95.66
Fórmula estrutural com base em 22 O					
Si	5.56	5.79	5.82	5.78	5.55
AlIV	1.61	1.67	1.60	1.71	5.62
Ti	0.18	0.20	0.16	0.22	2.18
Fe <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.07	2.12
Fe <sup>2</sup>	5.05	5.21	5.44	5.23	0.00
Cr	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Mn	0.09	0.10	0.12	0.11	4.56
Mg	0.30	0.28	0.18	0.20	0.00
Ca	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00
Na	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00
K	1.76	1.82	1.78	1.77	0.02
Cátions	14.58	15.09	15.11	15.10	0.02
CF	0.28	0.47	0.27	0.36	1.82
CCl	0.20	0.18	0.16	0.14	0.92

Anexo 1E: Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para plagioclásio de rochas gáfricas (n = núcleo do cristal; i = zona intermédia; b = borda).

Roche	Amostra	Gáfras		/BL 04a		/BL 04b		/BL 04c	
		7.i	7.b	1.i	1.b	7.i	7.b	7.i	7.b
Cristal/Ponto	SiO <sub>2</sub>	53.86	56.03	53.39	53.00	54.27	55.52	53.15	53.58
TO <sub>2</sub>	0.05	0.07	0.08	0.12	0.10	0.05	0.05	0.14	0.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.17	28.85	27.08	28.66	29.17	28.10	27.34	28.73	28.57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.27	0.24	0.28	0.38	0.28	0.24	0.24	0.38	0.38
MnO	0.01	0.01	0.00	0.05	0.02	0.03	0.03	0.01	0.03
MgO	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02
CaO	11.52	11.32	9.61	12.09	12.02	11.10	10.17	12.00	11.97
SiO	0.29	0.31	0.33	0.43	0.35	0.30	0.40	0.42	0.37
Na <sub>2</sub> O	4.62	4.69	5.81	4.55	4.35	4.87	5.33	4.42	4.30
K <sub>2</sub> O	0.12	0.15	0.29	0.27	0.25	0.28	0.26	0.22	0.29
Total	99.34	99.51	99.64	99.97	99.55	99.36	99.31	99.37	99.50
Fórmula estrutural com base em 32 O									
Si	9.709	9.788	10.140	9.712	9.682	9.885	10.084	9.709	9.764
Ti	0.007	0.010	0.011	0.016	0.014	0.007	0.007	0.019	0.012
Al	6.266	6.180	5.776	6.144	6.267	6.032	5.852	6.186	6.137
Faill	0.037	0.032	0.038	0.052	0.038	0.050	0.033	0.040	0.045
Sktio T	16.018	16.010	15.986	15.924	15.981	15.974	15.975	15.985	15.984
Mn	0.002	0.002	0.000	0.008	0.002	0.004	0.000	0.004	0.005
Mg	0.003	0.004	0.008	0.007	0.006	0.000	0.001	0.000	0.006
Ca	2.249	2.205	1.862	2.347	2.356	2.165	1.979	2.348	2.338
Sr	0.030	0.033	0.035	0.046	0.037	0.032	0.042	0.044	0.039
Na	1.632	1.651	2.074	1.604	1.538	1.718	1.878	1.567	1.520
K	0.029	0.034	0.067	0.062	0.059	0.065	0.059	0.047	0.052
Sktio M	3.945	3.928	4.046	4.082	3.969	3.986	3.960	4.010	3.952
An	57.53	56.69	46.52	58.58	59.52	54.83	50.55	59.27	59.80
Ab	41.74	42.45	51.80	39.87	38.99	43.51	47.95	39.55	38.87
Or	0.74	0.86	1.68	1.49	1.55	1.65	1.51	1.18	1.33

Roche	Amostra	/BL 04a		/BL 04b		/BL 04c	
		7.i	7.b	7.i	7.b	7.i	7.b
Cristal/Ponto	SiO <sub>2</sub>	53.00	53.86	53.39	53.00	54.27	55.52
TO <sub>2</sub>	0.05	0.07	0.08	0.12	0.10	0.05	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.17	28.85	27.08	28.66	29.17	28.10	27.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.27	0.24	0.28	0.38	0.28	0.24	0.24
MnO	0.01	0.01	0.00	0.05	0.02	0.03	0.03
MgO	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00	0.01
CaO	11.52	11.32	9.61	12.09	12.02	11.10	10.17
SiO	0.29	0.31	0.33	0.43	0.35	0.30	0.40
Na <sub>2</sub> O	4.62	4.69	5.81	4.55	4.35	4.87	5.33
K <sub>2</sub> O	0.12	0.15	0.29	0.27	0.25	0.28	0.26
Total	99.34	99.51	99.64	99.97	99.55	99.36	99.31

Anexo 1E: Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para plagioclásio de rochas gálicas (n = núcleo do cristal, i = zona intermediária, b = borda).

Rocha	Amostra	6,j	6,n	5,b	5,n	5,i	5,b	5,i	1,j	1,n
Cristal/Ponto		53.80	53.84	55.25	54.72	54.12	54.07	53.81	53.18	53.18
SiO <sub>2</sub>		0.17	0.07	0.00	0.04	0.08	0.09	0.11	0.10	0.09
TO <sub>2</sub>		28.03	28.51	27.79	27.49	28.53	28.44	28.47	28.50	28.74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.30	0.34	0.13	0.63	0.34	0.28	0.35	0.35	0.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00
MnO		0.02	0.01	0.00	0.20	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02
MgO		11.32	11.67	10.14	10.22	10.76	10.91	11.10	10.96	12.09
CaO		0.38	0.32	0.02	0.36	0.32	0.32	0.28	0.40	0.27
ScO		4.95	4.54	5.96	5.42	5.00	4.84	4.79	4.92	4.28
Na <sub>2</sub> O		0.30	0.21	0.03	0.29	0.28	0.23	0.25	0.24	0.32
K <sub>2</sub> O		99.28	99.34	99.31	99.38	99.46	99.21	99.18	99.19	99.63
Total										
Fórmula estrutural com base em 32 O										
Si		9.831	9.784	10.021	9.985	9.843	9.852	9.817	9.827	9.697
Ti		0.023	0.010	0.000	0.005	0.010	0.012	0.015	0.013	0.012
Al		6.036	6.130	5.939	5.901	6.115	6.107	6.122	6.119	6.176
Fell		0.041	0.047	0.018	0.087	0.046	0.039	0.048	0.041	0.052
Sitio T		15.830	15.970	15.978	15.958	16.014	16.010	16.001	15.992	15.938
Mn		0.003	0.003	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000
Mg		0.006	0.003	0.000	0.053	0.008	0.007	0.008	0.004	0.005
Ca		2.216	2.280	1.971	1.994	2.130	2.096	2.170	2.139	2.359
Sr		0.040	0.034	0.002	0.036	0.034	0.034	0.042	0.034	0.027
Na		1.754	1.606	2.094	1.914	1.764	1.710	1.694	1.739	1.689
K		0.070	0.049	0.006	0.067	0.066	0.054	0.052	0.075	0.064
Sitio M		4.089	3.975	4.073	4.069	3.968	3.935	3.959	3.979	3.959
An		54.86	57.94	48.41	50.17	53.39	54.71	55.33	54.43	59.95
Ab		43.41	40.81	51.45	48.15	44.94	43.91	43.19	44.25	43.05
Or		1.73	1.25	0.14	1.68	1.38	1.48	1.38	1.32	1.91

Anexo 1E. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para plagioclásio de rochas gábris (n = núcleo do cristal, i = zona intermédia, b = borda).

Rocha	Amostra	Cristal/Ponto	1.i	4.b	2.b	2.i	4.b	4.j
		SiO <sub>2</sub>	53.28	52.71	53.52	56.78	55.94	56.65
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18	0.18	0.09	0.12	0.07	0.10
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.13	29.19	28.71	27.31	27.00	27.12
		MnO	0.35	0.37	0.36	0.24	0.25	0.23
		MgO	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
		CaO	0.02	0.03	0.03	0.00	0.02	0.01
		SiO	11.99	12.19	11.53	9.59	9.48	9.33
		Na <sub>2</sub> O	0.28	0.33	0.34	0.38	0.35	0.35
		K <sub>2</sub> O	4.30	4.20	4.62	5.93	6.01	6.07
		Total	0.27	0.27	0.35	0.26	0.21	0.26
Fórmula estrutural com base em 32 O								
		Si	9.625	9.751	10.136	10.183	10.160	10.189
		Ti	0.024	0.012	0.001	0.016	0.009	0.014
		Al	0.239	0.283	6.163	5.809	5.751	5.749
		FeII	0.048	0.051	0.049	0.032	0.036	0.030
		Sítio T	15.984	15.976	15.979	15.983	15.986	15.982
		Mn	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
		Mg	0.007	0.009	0.000	0.005	0.004	0.003
		Ca	2.334	2.385	2.251	1.853	1.841	1.799
		Sr	0.028	0.035	0.036	0.040	0.037	0.038
		Na	1.514	1.633	1.633	2.076	2.110	2.113
		K	0.063	0.063	0.082	0.059	0.048	0.059
		Sítio M	3.945	3.976	4.011	4.031	4.039	4.060
		An	59.69	60.63	56.77	46.47	46.04	45.29
		Ab	38.70	37.76	41.18	52.05	52.76	53.20
		Or	1.61	1.60	2.06	1.48	1.20	1.51

Anexo 1F: Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS), fórmulas estruturais e parâmetros químicos para feldspato alcalino de rochas silicáticas (n = núcleo do cristal, i = zona intermédiaria, b = borda)

Roche	Amostra	Sistemas		IBL 01	IBL 05a	IBL 14	
		1, i	1, b				
Cristal/Ponto		67.56	65.22	64.07	66.88	67.07	
SiO <sub>2</sub>		0.04	0.00	0.05	0.03	0.03	
TO <sub>2</sub>		19.97	18.97	18.25	18.53	18.46	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.12	0.31	0.07	0.22	0.24	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.03	0.01	0.04	0.03	0.00	
MnO		0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	
MgO		1.13	0.64	0.03	0.13	0.10	
CaO		0.26	0.86	1.13	0.14	0.00	
BaO		10.91	6.16	1.72	7.15	6.97	
Na <sub>2</sub> O		0.38	7.60	13.96	6.65	6.83	
K <sub>2</sub> O		99.76	99.31	99.02	100.07	99.81	
Total		100.39				99.92	
Fórmulas estruturais com base em 32 O							
Si		11.825	11.835	11.931	11.984	12.019	
Ti		0.005	0.000	0.007	0.004	0.003	
Al		4.119	4.057	4.004	3.925	3.933	
FeII		0.016	0.043	0.010	0.029	0.034	
Sítio T		15.985	15.936	15.987	15.975	15.972	
Mn		0.004	0.001	0.006	0.004	0.003	
Mg		0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	
Ca		0.213	0.125	0.006	0.024	0.020	
Ba		0.027	0.090	0.122	0.014	0.000	
Na		3.702	2.168	0.620	2.492	2.445	
K		0.085	1.758	3.315	1.472	1.576	
Sítio M		4.031	4.141	4.071	4.025	4.044	
An		5.32	3.09	0.14	0.61	0.73	
Ab		92.55	53.49	15.72	62.48	61.59	
Or		2.13	43.42	84.13	36.90	37.67	

Anexo 1G. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS) e proporções cationícas para "chevkinita" de rochas silílicas ( $n$  = núcleo do cristal,  $i$  = zona intermediária,  $b$  = borda).

Rocha	Amostra	Sienito	IBL- $\bar{b}$ /IBL- $i$		IBL- $i$ /IBL- $b$		IBL- $b$	
			1	2	1	2	1	2
Pontio	1,1		2,1	3,1	1,1	2,7	3,1	2,1
SiO <sub>2</sub>	0,23	0,0/	0,1/	0,0/	0,09	0,15	0,21	0,04
CaO	0,35	0,31	0,36	0,2	0,08	0,01	0,13	0,0/
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,54	2,01	2,48	1,77	9,81	9,75	13,6/	6,85
FeO	9,63	7,9/	9,08	1,82	1,83	1,9/	1,6/	2,12
UO <sub>2</sub>	10,78	9,22	10,14	0,82	0,98	1,22	1,20	1,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,42	0,32	0,39	0,42	0,58	0,61	0,75	0,33
UO <sub>2</sub>	1,64	1,19	1,39	2,45	2,44	2,3/	3,46	1,70
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20	0,15	0,11	0,55	0,57	0,49	0,61	0,28
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,67	0,50	0,61	2,85	2,74	2,62	3,10	2,81
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	0,09	0,16	1,47	1,48	1,36	1,28	1,59
Ge <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,19	0,06	0,16	3,2/	3,29	3,46	2,8/	3,58
UO <sub>2</sub>	0,03	0,02	0,08	3,82	4,13	4,0/	3,30	4,03
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,00	0,04	2,05	2,05	1,72	1,59	2,11
YD <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,04	0,02	0,87	0,75	0,61	0,71	0,88
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,54	0,43	0,43	22,22	19,90	19,72	17,12	17,35
Eu	1,23	0,3/	0,51	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
MnO	1,07	0,11	0,16	0,04	0,01	0,02	0,03	0,00
MgO	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	9,00	1,69	1,34	1,36	1,39	1,71	1,81	1,10
SiO <sub>2</sub>	0,14	0,02	0,06	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
BaO	0,24	0,02	0,12	0,05	0,09	0,00	0,00	0,00
FeO	0,07	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K <sub>2</sub> O	0,06	0,05	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45,39	43,54	42,72	45,9/	44,49	45,01	43,25	43,99
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,43	7,77	7,07	0,88	0,86	0,65	0,77	0,62
La	0,1	1,59	1,03	0,06	0,13	0,07	0,13	0,02
Total	91,81	96,19	91,96	98,81	97,32	97,51	97,10	95,96
U=1	0,30	0,6/	0,43	0,03	0,01	0,05	0,03	0,01
Total	91,51	96,52	91,63	97,78	97,31	97,46	97,07	97,28
Proporções catiônicas (com base em Ti+Nb+Ta = 2)								
Si	0,015	0,005	0,012	0,00/	0,011	0,008	0,015	0,020
Al	0,011	0,011	0,012	0,001	0,004	0,004	0,004	0,013
La	0,038	0,032	0,039	0,163	0,210	0,209	0,300	0,033
U	0,141	0,123	0,140	0,03/	0,038	0,03/	0,038	0,224
Eu	0,534	0,482	0,528	0,05/	0,087	0,069	0,096	0,056
La	0,001	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ce	0,039	0,030	0,035	0,014	0,012	0,022	0,026	0,016
Pr	0,004	0,005	0,003	0,019	0,084	0,082	0,103	0,053
Nd	0,016	0,012	0,015	0,094	0,092	0,088	0,107	0,021
Sm	0,004	0,002	0,004	0,04/	0,048	0,048	0,045	0,058
Eu	0,004	0,001	0,004	0,103	0,108	0,092	0,091	0,057
U	0,001	0,000	0,002	0,114	0,125	0,123	0,102	0,115
Er	0,000	0,000	0,001	0,059	0,061	0,061	0,052	0,116
Yb	0,000	0,001	0,000	0,024	0,022	0,022	0,018	0,064
Y	0,019	0,016	0,016	0,093	0,093	0,085	0,081	0,058
Fe	0,067	0,022	0,030	0,000	0,000	0,000	0,001	0,020
Mn	0,060	0,007	0,009	0,003	0,001	0,002	0,003	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Ca	0,635	1,7,1	0,986	0,132	0,138	0,140	0,182	0,114
Sr	0,005	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,046
Ba	0,006	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Po	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Nb	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,005	0,004	0,008	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Na	1,351	1,310	1,338	1,921	1,884	1,914	1,889	1,855
Ca	0,115	0,14/	0,022	0,017	0,017	0,022	0,017	0,020

Anexo 11. Análises químicas por microsonda eletrônica (WDS) e proporções catiônicas para lona de rochas sieníticas (n = núcleo do cristal, i = zona intermédia, b = borda).

Rocha	Amostra	Sienito	IBL-25
Grão	1	1	1
Ponto	1,0	2,0	3,0
SiO <sub>2</sub>	19,01	18,79	18,90
ZrO <sub>2</sub>	0,01	0,06	0,04
ThO <sub>2</sub>	69,36	67,59	68,48
UO <sub>2</sub>	4,67	4,83	4,75
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,13	0,10
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,06	0,03
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13	0,09	0,11
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,01	0,03
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,06	0,03
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	0,14	0,16
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15	0,14	0,14
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	0,11	0,11
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,67	0,80	0,74
FeO	1,12	1,02	1,07
MnO	0,14	0,19	0,17
MgO	0,02	0,00	0,01
CaO	0,97	1,04	1,01
PbO	0,27	0,28	0,28
F	0,13	0,25	0,19
Total	97,06	96,60	96,33
Proporções catiônicas (com base em 4 Si)			
Si	4,000	4,000	4,000
Zr	0,001	0,006	0,004
Th	3,321	3,275	3,298
U	0,218	0,229	0,224
Ce	0,006	0,010	0,008
Pr	0,000	0,005	0,002
Nd	0,010	0,007	0,008
Sm	0,003	0,001	0,002
Gd	0,000	0,004	0,002
Dy	0,012	0,010	0,011
Er	0,010	0,010	0,010
Yb	0,007	0,007	0,007
Y	0,075	0,091	0,083
Fe	0,197	0,181	0,189
Mn	0,025	0,034	0,030
Mg	0,006	0,000	0,003
Ca	0,219	0,237	0,229
Pb	0,015	0,016	0,016
<b>Soma</b>	<b>8,126</b>	<b>8,122</b>	<b>8,126</b>

