UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS
GRANITÓIDES DA REGIÃO DE PIEDADE, SP**

Renato Jordan Leite

Orientador: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO
1997

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA
DOS GRANITÓIDES DA REGIÃO DE PIEDADE,
SP**

RENATO JORDAN LEITE

Orientador: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

Valdecir de Assis Janasi

Examinadores: Prof. Dr. Antonio Carlos Artur

Antonio Carlos Artur

Prof. Dr. Ian McReath

Ian McReath

SÃO PAULO
1997

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900005088

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DOS
GRANITÓIDES DA REGIÃO DE PIEDADE, SP**

Renato Jordan Leite

Orientador: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO

1997

Ao amor, paciência, compreensão e incentivo de minha esposa Renata e aos meus pais Antonio e Carmen, pelo amor, apoio, conselhos e experiência de vida, a quem devo o legado “que o destino de cada um, embora imprevisível, seja ao menos alcançado com dignidade”

ÍNDICE DE TEMAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	1
1.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	2
1.3. METODOLOGIA	2
1.3.1. Levantamento Geológico	2
1.3.2. Análises petrográficas	4
1.3.3. Análises químicas de rochas	5
1.3.4. Geoquímica isotópica	7
 CAPÍTULO 2 - SITUAÇÃO GEOLÓGICA	 10
2.1. ARCABOUÇO TECTÔNICO	10
2.2. OS PACOTES METAMÓRFICOS	11
2.3. OS GRANITÓIDES DA REGIÃO DE PIEDADE	12
2.4. GEOLOGIA ESTRUTURAL	20
2.5. GEOCRONOLOGIA	21
 CAPÍTULO 3 - GEOLOGIA LOCAL	 25
3.1. APRESENTAÇÃO DO MAPA GEOLÓGICO	25
3.1.1. Aspectos litológicos	25
3.1.2. Aspectos estruturais	28
3.1.3. Falhamento de Taxaquara	32
3.2. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES LITOLÓGICAS	32
3.2.1. Rochas metamórficas encaixantes	32
3.2.2. Maciço Granítico Piedade	33
3.2.2.1. Modas	33
3.2.2.2. Muscovita - Biotita Granitos Porfíricos Marginais (MBgd e MBmg)	37
3.2.2.3. Hornblenda - Biotita Granodioritos Equigranulares (Hbgde)	41
3.2.2.4. Biotita Granitos Inequigranulares Róseos (Bmgr)	41

3.2.2.5. Biotita Monzogranitos Porfiríticos com Titanita (BmgT)	42
3.2.2.6. Biotita Monzogranitos Inequigranulares Médios a Finos (Bmgf) e Biotita Monzogranitos Porfiróides Grossos (Bmgg)	44
3.2.2.7. Enclaves	46
3.2.3. Granitóides vizinhos ao maciço Piedade	50
3.2.3.1. Hornblenda - Biotita Granodioritos a Quartzo Monzonitos Porfiríticos (HBgd)	50
3.2.3.2. Muscovita - Biotita Monzogranitos Equigranulares (MBmge)	51
3.2.3.3. Granitos tipo Serra dos Lopes (MBmgi)	52
3.2.3.4. Granitos tipo Serra da Bateia (Bsg) e rochas associadas (Bsgf e HBqmz)	53
3.2.4. O Corpo Alcalino de Piedade (Kα1c)	54
3.3. RELAÇÕES DE CONTATO	55
3.3.1. Critérios para o estabelecimento de relações de contato	55
3.3.2. Contatos entre granitóides e rochas encaixantes	56
3.3.3. Relações de contato entre as unidades do maciço Piedade	57
3.3.4. Contatos entre o maciço Piedade e outras unidades granitóides	59
 CAPÍTULO 4 - PETROGRAFIA MICROSCÓPICA	 62
4.1. XISTOS E GNAISSES MIGMATÍTICOS	62
4.2. O MACIÇO PIEDADE	63
4.2.1. Muscovita - Biotita Granitos Porfiríticos Marginais (MBgd e MBmg)	63
4.2.2. Hornblenda - Biotita Granodioritos Equigranulares (HBgde)	67
4.2.3. Biotita Granitos Inequigranulares Róseos (Bmgr)	68
4.2.4. Biotita Monzogranitos Porfiríticos com Titanita (BmgT)	71
4.2.5. Biotita Monzogranitos Inequigranulares Médios a Finos (Bmgf)	74
4.2.6. Biotita Monzogranitos Porfiróides Grossos (Bmgg)	75
4.2.7. Enclaves	76
4.2.8. Ordem de cristalização	78
4.3. OUTRAS UNIDADES GRANITÓIDES	81

4.3.1. Hornblenda - Biotita Granodioritos a Quartzo Monzonitos Porfiríticos (HBgd)	81
4.3.2. Muscovita - Biotita Monzogranitos Equigranulares (MBmge)	83
4.3.3. Granitos tipo Serra dos Lopes (MBmgi)	84
4.3.4. Granitos tipo Serra da Bateia (Bsg) e rochas associadas (Bsgf e HBqmz)	86
4.3.4.1. Biotita sienogranitos (Bsg)	86
4.3.4.2. Biotita sienogranitos a monzogranitos inequigranulares foliados (Bsgf)	88
4.3.4.3. Hornblenda - biotita quartzo monzonitos equigranulares maciços (HBqmz)	89
 CAPÍTULO 5 - QUÍMICA DE ROCHAS	91
5.1. A DIVERSIDADE QUÍMICA DO MACIÇO PIEDADE	91
5.1.1. Elementos maiores	91
5.1.2. Elementos menores e traços	97
5.1.3. Elementos Terras Raras	101
5.1.4. Aranhogramas	101
5.2. AFINIDADES GENÉTICAS	104
5.3. COMPARAÇÃO COM GRANITÓIDES REGIONAIS	110
5.4. POSSÍVEIS AFINIDADES TECTÔNICAS	116
 CAPÍTULO 6 - GEOCRONOLOGIA	119
6.1. SISTEMA Rb-Sr	119
6.2. SISTEMA Sm-Nd	121
 CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE E EVOLUÇÃO DO MACIÇO PIEDADE	123
7.1. SITUAÇÃO DO MACIÇO PIEDADE NO CONTEXTO REGIONAL	123
7.2. A ESTRUTURAÇÃO DO MACIÇO PIEDADE: CONSIDERAÇÕES	

SOBRE MECANISMOS DE ALOJAMENTO.	124
7.3. A EVOLUÇÃO DO MACIÇO PIEDADE: CONSIDERAÇÕES PETROLÓGICAS	125
7.3.1. A identificação de linhagens petrológicas	125
7.3.2. A origem dos enclaves	127
7.3.3. Processos de fracionamento nas linhagens petrográficas	128
ANEXO 1 - Mapa Geológico	encarte
ANEXO 2 - Mapa de Localização de Afloramentos	encarte
ANEXO 3 - Análises químicas de padrões internacionais de granitos e brancos	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização e acessos.	3
Figura 2 - Principais manifestações magmáticas da região a W da cidade de São Paulo (Hasui, 1973).	14
Figura 3 - Mapa das faciologias granitóides entre as cidades de São Paulo e Pilar do Sul (Janasi <i>et al.</i> , 1990).	17
Figura 4 - Mapa das principais unidades granitóides presentes na região de Piedade.	26
Figura 5 - Diagrama Q A P e índice M'.	36
Figura 6 - Ordem de cristalização mineral.	80
Figura 7 - Diagrama com a variação do Mg# ($\text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO})$) em relação a SiO_2 para as rochas granitóides do maciço Piedade.	95
Figura 8 - Diagramas de variação para elementos maiores, utilizando SiO_2 como índice de diferenciação, para as rochas granitóides do maciço Piedade.	96
Figura 9 - Diagramas de variação para elementos menores e traços, utilizando SiO_2 como índice de diferenciação, para rochas granitóides do maciço Piedade.	98
Figura 10 - Diagramas de correlações entre elementos traços, suas razões e variações com SiO_2 , para os granitóides do maciço Piedade.	100
Figura 11 - Padrões de distribuição de ETR, normalizados para condrito (Boynton, 1984), e diagrama La/Yb x A/CNK para o maciço Piedade.	102
Figura 12 - Padrões de distribuição de elementos incompatíveis, normalizados para a composição média da crosta continental (segundo Weaver & Tarney).	103
Figura 13 - Diagrama $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ x SiO_2 com os campos Alcalino e Subalcalino definidos por Irvine & Baragar (1971).	105
Figura 14 - Diagrama AFM com a separação entre as séries toleíticas e cálcio-alcalinas (Irvine & Baragar, 1971).	105
Figura 15 - Diagrama K_2O x SiO_2 para os granitóides do maciço Piedade, com o campos das séries cálcio-alcalinas definidos por Peccerillo & Taylor (1976).	107
Figura 16 - Diagrama de Peacock (1931) com os trends definidos pelos teores de	

cálcio e álcalis do maciço Piedade.	107
Figura 17 - Diagrama com os índices A e B de Debon & Le Fort (1983) para as unidades granitóides do maciço Piedade.	108
Figura 18 - Diagrama com as variações dos índices A/CNK e A/NK para os granitóides do maciço Piedade.	108
Figura 19 - Diagramas de variação para elementos maiores dos granitóides do maciço Piedade e adjacentes, utilizando SiO ₂ como índice de diferenciação.	112
Figura 20 - Diagrama de variação entre Mg#, com SiO ₂ como índice de diferenciação, para as rochas do maciço Piedade e granitóides adjacentes.	114
Figura 21 - Diagrama com os índices A/CNK x A/NK para os granitóides do maciço Piedade e de áreas vizinhas.	114
Figura 22 - Diagrama correlacionando Ba x Sr para os granitóides do maciço Piedade e de áreas circunvizinhas.	114
Figura 23 - Padrões de ETR para granitos do maciço Piedade e maciços vizinhos.	115
Figura 24 - Situação dos granitóides do maciço Piedade e de áreas vizinhas no diagrama R1-R2 para discriminação tectônica (Batchelor & Bowden, 1985).	118
Figura 25 - Diagrama Rb x Yb + Ta (Pearce <i>et al.</i> , 1984) para discriminação tectônica dos maciços Piedade e Serra dos Lopes.	118
Figura 26 - Diagrama Rb - Hf - Ta (Harris <i>et al.</i> , 1986) para discriminação tectônica dos maciços Piedade e Serra dos Lopes.	118
Figura 27 - Diagramas isocrônicos Rb-Sr em rocha total para o maciço Piedade.	122

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Modas das principais unidades granitóides do Maciço Piedade	35
Tabela 2 - Síntese petrográfica para as unidades granitóides do maciço Piedade.	64
Tabela 3 - Composição química dos granitóides da região de Piedade.	92
Composição química dos granitóides da região de Piedade. Continuação	93
Composição química dos granitóides da região de Piedade. Continuação	94
Tabela 4 - Composição química dos granitóides vizinhos ao maciço Piedade.	111
Tabela 5 - Dados isotópicos para os granitóides BmgT do maciço Piedade.	122

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1 - Xistos migmatíticos como teto pendente sobre granitóides leucocráticos.	34
Foto 2 - Porfiroblastos de prováveis <u>sillimanitas</u> alteradas em rochas xistosas migmatizadas.	34
Foto 3 - Aspecto textural típico de rocha da unidade Muscovita - Biotita Granodioritos a Monzogranitos Porfiríticos (MBgd).	39
Foto 4 - Granitóide pertencente à unidade MBgd, composto exclusivamente por feldspatos brancos.	39
Foto 5 - Muscovita - biotita monzogranito porfirítico (MBmg) portando um enclave microgranular.	40
Foto 6 - Muscovita - biotita monzogranito (MBmg) marcado por foliação dada pela orientação de biotitas e megacristais de feldspato alcalino.	40
Foto 7 - Aspecto textural típico de rocha da unidade Biotita Granitos Inequigranulares Róseos (Bmgr).	43
Foto 8 - Aspecto textural de rocha da subunidade Bmgr ^b .	43
Foto 9 - Aspecto textural de rocha da unidade Biotita Monzogranitos Porfiríticos com Titanita (BmgT).	45
Foto 10 - Afloramento constituinte da faixa da unidade Biotita Monzogranitos Inequigranulares Médios a Finos (Bmgf).	45
Foto 11 - Bloco de granito porfiróide de granulação grossa (unidade Bmgg)	47
Foto 12 - Enclave microgranular elíptico, quartzo monzodiorítico, dentro da unidade MBmg.	47
Foto 13 - Afloramento com alta densidade de enclaves elípticos microgranulares (“enxame de diques”) junto a granitos da unidade Bmgr.	49
Foto 14 - Paredão constituído por rocha de aspecto bandado	49
Foto 15 - Lajedo com agregados de megacristais de feldspato alcalino em faixas alongadas dentro da unidade MBgd.	60
Foto 16 - Dique de granito equigranular (MBmge) sobre granitóide porfirítico da unidade MBgd.	60

ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 1 - Muscovitas placóides incluídas por agregados de biotitas.	66
Fotomicrografia 2 - Monazita subarredondada junto a muscovitas placóides incluídas em biotita.	66
Fotomicrografia 3 - Epidoto prismático incluído em biotita.	69
Fotomicrografia 4 - Biotitas com inclusões de epidotos prismáticos com núcleos de allanitas.	69
Fotomicrografia 5 - Agregados de titanitas idiomórficas com inclusões de grãos subarredondados de apatita.	73
Fotomicrografia 6 - Cristal prismático metamítico de allanita incluído por biotita	73
Fotomicrografia 7 - Muscovitas placóides incluídas em biotitas ao lado de apatitas aciculares incluídas em biotita, plagioclásio e quartzo.	79
Fotomicrografia 8 - Titanitas xenomórficas ao lado de apatitas aciculares incluídas em quartzo e plagioclásio	79

RESUMO

As rochas granitóides que ocorrem na região de Piedade (SP), agrupadas na literatura como parte de um extenso batólito alongado que recebeu designação variada (Complexo Piedade, Batólito Ibiúna, Batólito Agudos Grandes), foram estudadas através de mapeamento faciológico, petrografia, geoquímica e isotopia Rb-Sr.

O presente trabalho define nesta área o *maciço granítico Piedade*, como um corpo subcircular zonado, com cerca de 100 km², formado por uma seqüência de pulsos magmáticos de composição essencialmente granítica s.s. As rochas exibem foliação de origem magmática (alinhamento de megacristais tabulares de feldspato) que continuou a se desenvolver no estado sólido, e se dispõe de modo paralelo ao contato dos corpos e se intensifica nas porções de borda; a foliação dos xistos e gnaisses encaixantes acompanha esses contatos. O maciço parece, assim, constituir uma intrusão forçada, embora estudos específicos sejam necessários para distinguir o mecanismo de alojamento (diapirismo x “ballooning”). O caráter sin-orogênico do maciço é confirmado pela idade isocrônica Rb-Sr aqui obtida (654 ± 24 Ma; r.i. = 0,7099).

Com base em estudos petrográficos, foram discriminadas duas associações petrográficas distintas, uma *peraluminosa*, formada por muscovita-biotita granodioritos a monzogranitos porfiríticos portadores de monazita, e a outra *metaluminosa*, formada por biotita monzogranitos porfiríticos com titanita e allanita como acessórios importantes. Esses contrastes, também refletidos pela geoquímica, especialmente através do índice A/CNK, do Mg# e dos padrões de ETR, podem refletir a origem dos magmas a partir de fontes crustais distintas. A linhagem metaluminosa apresenta afinidades com granitos tipo I, enquanto a peraluminosa guarda, sob alguns aspectos, semelhanças com os de tipo S, dos quais contudo difere em alguns aspectos

petrográficos (e.g., ausência de cordierita) e químicos (e.g., A/CNK nunca superior a 1,1). Por outro lado, granitos típicos das duas linhagens apresentam similaridades petrográficas (IC ~ 8 - 10, caráter porfirítico) e químicas (principalmente em relação aos teores de CaO, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, TiO₂ e P₂O₅, além de Ba e Sr), o que aponta para a possibilidade de que as diferenças observadas sejam devidas a processos de contaminação de magmas originais metaluminosos, álcali-cálcicos, por metassedimentos pelíticos relativamente redutores.

Enclaves microgranulares máficos a intermediários são relativamente comuns nas várias unidades do maciço, e devem corresponder a manifestações de magmatismo mais máfico invadiu os magmas graníticos e com eles interagiu em graus variados.

O fracionamento magmático interno às duas linhagens principais envolveu a extração de plagioclásio, biotita e (na linhagem peraluminosa) muscovita, além de acessórios (apatita, zircão e óxido de Fe-Ti em ambas as linhagens; monazita na linhagem peraluminosa; titanita e allanita, ao menos no final da diferenciação da linhagem metaluminosa). Os diferenciados finais das duas linhagens tendem a convergir composicionalmente, de modo que a unidade mais félsica mapeada (biotita monzogranitos róseos) pode incluir termos derivados de ambas. Por outro lado, outros maciços da região reconhecidos como tardi-orogênicos (Serra dos Lopes, Pilar do Sul) são constituídos por granitos félsicos que têm semelhanças petrográficas (IC = 6-7; caráter equi-inequigranular) e químicas (índices A/CNK, Mg#, teores de Rb) com esta última unidade, o que não permite descartar a possibilidade de ela também inclua manifestações mais jovens.

ABSTRACT

The granitoid rocks occurring in the Piedade region, included in the local literature as part of an extensive elongated batholith that has received various designations (Piedade Complex; Ibiúna Batholith; Agudos Grandes Batholith), were the subject of faciological mapping, petrographic, geochemical and Rb-Sr isotopic studies.

The present work defines in this area the *Piedade granitic massif* as a zoned subcircular body with about 100 sq. km, formed by a sequence of magmatic pulses with granitic *s.s.* compositions. These rocks exhibit a magmatic foliation (defined by the alignment of tabular feldspar megacrysts) that continued to develop in the solid state, and is mostly parallel to the contacts of the massif, getting more intense along its borders; the foliation of country schists and gneisses follow these contacts. The massif seems, therefore, to constitute a forceful intrusion, although additional studies would be necessary to define the exact emplacement mechanism (diapirism x ballooning). The syn-orogenic character of the massif is confirmed by the Rb-Sr isocronic age here obtained (654 ± 24 Ma; i.r. = 0.7099).

Two different petrographic associations were discriminated. One is *peraluminous*, formed by monazite-bearing porphyritic muscovite-biotite granodiorites to monzogranites, and the other is *metaluminous*, and formed by titanite and allanite-bearing porphyritic biotite monzogranites. These contrasts, also reflected in their geochemistry, especially in the A/CNK, Mg# and REE patterns, could be a reflection of these magmas being derived from different crustal sources. The metaluminous lineage has affinities with the I-type granites while the peraluminous has some similarities with the S-types, differing from the latter, though, in some important petrographic and chemical aspects (absence of cordierite, A/CNK always lower than 1.1 etc). On the other hand, typical granites from both lineages present several similarities, e.g. petrographic (color indices = 8-10; porphyritic structures) and

chemical (similar contents of CaO, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, Ba and Sr), pointing to the possibility that the observed differences are due to the contamination of originally metaluminous, alkali-calcic magmas, by reduced pelitic metasediments.

Mafic to intermediate microgranular enclaves are relatively common in all the mapped units of the Piedade massif, and must correspond to manifestations of contemporaneous mafic magmatism which interacted with the granitic magmas to varied degrees.

The magmatic fractionation within the two main lineages involve the withdrawal of plagioclase, biotite and (in the peraluminous lineage) muscovite, besides accessories (apatite, zircon and Fe-Ti oxide in both lineages; monazite in the peraluminous lineage; titanite and allanite at least towards the end of differentiation of the metaluminous lineage). The last differentiates from both lineages converge in composition, and thus the more felsic unit mapped in the massif (pink biotite monzogranites) may include rocks derived from both. On the other hand, some nearby granitic massifs thought as tardi-orogenic (Serra do Lopes, Pilar do Sul) are formed by fractionated granites showing some similarities with the latter unit (equivalent textures and color indices; similar A/CNK, Mg# and Rb contents), raising the possibility that it includes some rocks younger than the main portion of the Piedade massif.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer às pessoas que direta ou indiretamente colaboraram para o andamento e a conclusão deste trabalho.

A Valdecir de Assis Janasi, orientador, professor, amigo, pelo apoio constante e sua inestimável dedicação na busca de soluções e recursos para que esta meta fosse concretizada. A ele devo meus profundos agradecimentos.

A Horstpeter H. G. J. Ulbrich pela orientação, apoio e incentivos durante os anos da Bolsa de Iniciação Científica.

A Mário C. H. Figueiredo (in memoriam) a quem sou grato pela base adquirida com a química de rochas durante os anos de graduação e pós-graduação.

A Sandra Andrade e integrantes do corpo técnico do Laboratório de Química e ICP-AES do IG-USP, meus sinceros agradecimentos pela orientação nas realizações das análises químicas.

A Ivone e Helen Sonoki, Liliane Petronilho, Kei Sato e demais integrantes do corpo técnico do Centro de Pesquisas Geocronológicas do IG-USP, agradeço pelas análises isotópicas realizadas.

A Rita e Marcia do Laboratório de Informática, pelo apoio nos trabalhos de digitalização.

Ao colega Dionísio, pelas sugestões e discussões sempre oportunas e sinceras.

A Angélica do laboratório de Óptica, pelo apoio e sugestões na obtenção de fotomicrografias.

A Cláudio Hopp e todo corpo técnico do Laboratório de Laminação, pela paciência “eterna” que tiveram com a minha freqüente “aparição”, um assíduo freguês.

Ao Jaime agradeço pelos trabalhos fotográficos realizados.

A todo pessoal da gráfica, meus sinceros agradecimentos pelo trabalho de encadernação da TESE.

Finalmente, agradeço a CAPES pela bolsa de mestrado e a FAPESP (Proc. 93/3623-3) pelos financiamentos necessários à concretização desta obra.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Rochas granitóides ocorrem em grande abundância no embasamento cristalino do Estado de São Paulo, formando grandes batólitos ou mesmo como corpos menores que também não deixam de apresentar alguma complexidade faciológica. Na região de Piedade, trabalhos de mapeamento faciológico dos granitóides não haviam sido realizados até fins da década de 1980, sendo até então estas rochas agrupadas, em trabalhos de cunho regional (e.g. Hasui, 1973), como pertencentes a um corpo batolítico de grande porte. Em trabalho mais recente, com vistas à discriminação faciológica de granitóides a oeste da cidade de São Paulo, Janasi *et al.* (1990) apresentaram um esboço geológico regional, separando “tipos” distintos de granitóides, entre os quais encontra-se o tipo Piedade, considerado então como de posicionamento estratigráfico duvidoso. Por isso, foram iniciados trabalhos de maior detalhe nas redondezas da cidade de Piedade em projeto de Bolsa de Iniciação Científica, que teve como objetivo o estudo descritivo macro e microscópico de unidades granitóides e a apresentação de um esboço geológico. Como continuidade desta primeira etapa, o estudo desenvolvido ao longo da pós-graduação resultou de uma integração dos dados anteriormente obtidos com a adição de novas descrições e coletas de amostras, confecção de lâminas delgadas, análise química de rochas, dados isotópicos e o levantamento de um mapa geológico de maior detalhe, discriminando a variedade de unidades granitóides. A presente investigação procura, assim, identificar e caracterizar a variedade de granitóides presente na área e, em uma tentativa de alinhar logicamente os dados obtidos por várias metodologias, contribuir para o entendimento dos processos responsáveis por sua geração.

1.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área em foco encontra-se cerca de 100 km a W da cidade de São Paulo e envolve a região da cidade de Piedade, compreendida entre os paralelos 23° 40' 10" e 23° 51' 05" de latitude sul e os meridianos 47° 18' 58" e 47° 30' de longitude oeste (Fig. 1). O acesso dá-se, a partir de São Paulo, pela rodovia Raposo Tavares (SP - 270) até Vargem Grande seguindo-se, então, pela SP - 250 que passa por Ibiúna e, por fim, Piedade. Uma outra opção, também a partir de São Paulo, é seguir pela rodovia Castelo Branco (SP - 280) até o km 78, a partir de qual segue-se pela rodovia José Ermírio de Moraes até Sorocaba, com prosseguimento para Piedade através da rodovia SP - 79, que interliga-se com Votorantim.

1.3. METODOLOGIA

1.3.1. Levantamento Geológico

Os dados levantados em campo estão apresentados sobre uma base topográfica em escala 1:50.000 para o Mapa Geológico e 1:25.000 para o Mapa de Localização de Afloramentos (Anexos 1 e 2, respectivamente), obtidos através da redução das Folhas Topográficas, em escala 1:10.000, produzidas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico:

BAIRRO BOA VISTA DE BAIXO	SF-23-Y-C-V-1-SO-C
PIEDADE I	SF-23-Y-C-V-1-SO-D
BAIRRO PARURU	SF-23-Y-C-V-1-SE-C
BAIRRO DO FUNIL	SF-23-Y-C-V-1-SO-E
PIEDADE II	SF-23-Y-C-V-1-SO-F
BAIRRO PIRAPORINHA	SF-23-Y-C-V-1-SE-E
CAETEZAL DE BAIXO	SF-23-Y-C-V-3-NO-A
BAIRRO DOS PINTOS	SF-23-Y-C-V-3-NO-B
BAIRRO FURNAS	SF-23-Y-C-V-3-NE-A
MIGUEL RUSSO	SF-23-Y-C-V-3-NO-C
VILA ELVIO	SF-23-Y-C-V-3-NO-D
BAIRRO FAZENDINHA	SF-23-Y-C-V-3-NE-C
BAIRRO DA BATÉIA	SF-23-Y-C-V-3-NO-E
RIO TURVO	SF-23-Y-C-V-3-NO-F
RIBEIRÃO GRANDE	SF-23-Y-C-V-3-NE-E

Figura 1 - Localização e acessos.

O mapeamento geológico teve início a partir de um estudo bibliográfico sobre a geologia da região, sendo realizadas, a partir de então, viagens ao campo de reconhecimento regional. Para tanto foram utilizadas as Folhas Topográficas em escala 1:50.000 de Sorocaba (SF-23-Y-V-1) e Jurupará (SF-23-Y-C-IV-3), publicadas pelo IBGE. Numa primeira fase, foi possível verificar a presença de uma grande variedade faciológica de granitóides, incluindo-se algumas diferenças quanto ao conteúdo em minerais acessórios, monitoradas por petrografia microscópica. Após um primeiro esboço geral das unidades geológicas em mapa, o enfoque passou para um mapeamento de maior detalhe, em escala 1:10.000. Em seguida, foram sistematizadas incursões ao campo de acordo com a pré-definição de setores particulares da área. Diversos perfis visaram a discriminação da forma dos corpos granitóides e suas relações com as rochas encaixantes. A concentração de afloramentos descritos, entretanto, é heterogênea, devido à existência de algumas áreas com menor exposição de rochas. De fato, principalmente na porção central e meridional da área, o grau de intemperismo é muito avançado, dificultando o mapeamento.

Foram também utilizadas fotografias aéreas (Projeto MacroMetrópole - TERRAFOTO S. A.), em escala 1:35.000 e publicados em 1978, para a verificação de possíveis feições estruturais no terreno que pudessem auxiliar no delineamento dos corpos granitóides.

1.3.2. Análises petrográficas

O estudo petrográfico foi obtido a partir de um total de cerca de 1200 pontos visitados, incluindo aqueles já realizados por Janasi *et al.* (1990). O total de amostras coletadas foi ao redor de 300, em 20 das quais foram obtidas fatias com ~ 70 - 100 cm² de área para contagem macroscópica dos minerais. As fatias foram previamente tingidas com solução de cobaltonitrito de sódio para se destacar o feldspato potássico, com coloração amarela que o distingue do plagioclásio (cf.

descrição do método em Sartori, 1978). A contagem dos minerais se deu com um contador de pontos a partir da leitura através de uma folha transparente sobre a amostra, composta por uma malha com distância de 4 mm entre os pontos em ambas as dimensões. Em algumas amostras de matriz relativamente mais fina foi realizada a contagem em lâmina delgada. Os minerais envolvidos na análise modal foram quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, e máficos que compõem o índice M' (Streckeisen, 1976).

Para a petrografia microscópica foram feitas no total 320 lâminas delgadas, as quais permitiram a realização das descrições mineralógicas e de ordem de cristalização. A petrografia microscópica teve também grande importância na identificação inicial da existência de linhagens petrográficas distintas, identificadas pelo tipo e conteúdo de minerais acessórios primários. Mesmo ao longo das extensas áreas em que estão ausentes os afloramentos frescos, principalmente na porção sul, a análise em lâmina delgada de pequenos blocos de rochas granitóides alteradas permitiu a identificação de minerais acessórios primários. Este aspecto teve a sua utilidade até mesmo na definição dos limites espaciais entre estas associações, sendo utilizado como uma ferramenta importante no mapeamento de áreas com intensa alteração intempérica.

1.3.3. Análises químicas de rochas

Foram obtidas 32 análises químicas de rochas granitóides do maciço Piedade, selecionadas de modo a cobrir a ampla variação faciológica presente na área, assim como caracterizar estas fácies e discriminá-las segundo suas afinidades petrogenéticas. A fim de comparar os resultados obtidos com os granitóides das áreas vizinhas, foram realizadas mais 10 análises químicas de amostras provenientes dos maciços adjacentes Ibiúna, Serra da Bateia e Serra dos Lopes, além de duas amostras de termos equigranulares (MBmge) interpretados como não associados ao maciço.

Foram realizadas análises de elementos maiores, menores e alguns traços (V, Zr, Y, La, Sr e Ba) através de espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma induzido no laboratório de ICP-AES do Departamento de Mineralogia e Petrologia - IGUSP. O procedimento utilizado em laboratório se deu primeiramente com a separação das amostras em lotes de 6, sendo para cada um destes adicionada uma amostra em branco, apenas com $0,7500 \pm 0,0003$ g de mistura de tetra e metaborato de lítio, além de uma amostra paralela escolhida aleatoriamente. A abertura da amostra é efetuada através de fusão alcalina a 1000° C em cadinhos de grafite a partir de $0,7500 \pm 0,0003$ g de mistura de tetra e metaborato de lítio adicionada a $0,2500 \pm 0,0001$ g de amostra previamente reduzida à granulação menor que 200 mesh. A massa fundida é então rapidamente resfriada em béquer com solução ácida constituída por 150 mL de água destilada e 25 mL de HNO_3 2N. O vidro formado é dissolvido em cerca de 30 minutos, com a utilização de bastão magnético, e a solução é transferida para balões volumétricos, onde é avolumada para 250 mL. A solução final é filtrada para a retirada de partículas de grafite residuais do cadinho e transferida para frascos de polipropileno. Uma alíquota de 50 mL é separada para análise de elementos traços; a ela são adicionadas 2 gotas (0,1 mL) de HF 48%, evitando-se assim a precipitação de certos elementos traços, principalmente Zr, estabilizado através da formação de complexos com F.

As análises químicas foram realizadas no equipamento modelo ARL-3410, primeiramente para os elementos maiores Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, além de Li, como controle, sendo então feitas para os elementos Ti, P, Mn, Ba, Sr, Zr, V, La e Y. Análises de materiais de referência internacionais e de brancos foram feitas para cada lote de amostras; os resultados obtidos para esses controladores de qualidade analítica aparecem no Anexo 3.

Maiores explicações sobre os cuidados na preparação das soluções, linhas analíticas utilizadas na calibração do espectrômetro de plasma,

controles de *drift* do sinal, correções de background, interferências e limites de detecção encontram-se detalhadas em Janasi *et al.* (1995).

Um subconjunto de 15 amostras foi também analisado para Cr, Cs, Hf, Sc, Ta, Th, U e Elementos Terras Raras, através de ativação neutrônica (INAA) no Activation Laboratories (ACTLABS, Canadá).

1.3.4. Geoquímica isotópica

O programa de análise isotópica Rb-Sr em rocha total, realizado no CEPEGEO (IGUSP), teve início com a seleção de 6 amostras, tomando-se como base o espalhamento das razões Rb/Sr necessário para a obtenção de isócrona, a partir da análise semi-quantitativa de 30 amostras, através de Fluorescência de RX em pó prensado (equipamento *Philips*, modelo PW-2184/00). Essas 6 amostras foram então dosadas quantitativamente para Rb e Sr por FRX e submetidas à diluição isotópica através de colunas de trocas catiônicas. As determinações isotópicas de Sr foram realizadas em espectrômetro de massa automatizado *VGI*, modelo VG-354, utilizando-se coletor simples.

A abertura da amostra ocorre com a adição de 1 mL de HNO_3 concentrado e destilado e 2 mL de ácido fluorídrico (HF) destilado a 0,1 g de amostra em béquer savilex, sendo este envolvido com papel alumínio para evitar problemas de estática. A solução é então colocada em ultrassom por cerca de 45 minutos, deixando-se em seguida por uma noite em evaporador, sob aquecimento de uma lâmpada ($\sim 60^\circ \text{C}$). O passo seguinte consiste em submeter a solução até a secura, em evaporador e sob lâmpada. Dissolve-se com HCl 6 N destilado e deixa-se por uma noite sob lâmpada ($\sim 60^\circ \text{C}$). Evapora-se, então, até a secura e dissolve-se com HCl 2,62 N. Deixa-se o béquer savilex por uma semana em repouso. O prosseguimento se dá com a retirada de três alíquotas desta solução, sendo uma para o Sr natural da amostra, enquanto nas

outras duas são adicionados *spikes* previamente calculados para Rb e para Sr. A seguir são realizados os procedimentos de passagem da solução em colunas de trocas catiônicas.

Procede-se, então, com a centrifugação, em tubos de ensaio, das 3 alíquotas de solução para cada amostra, duas delas com *spike*, até que o resíduo esteja totalmente depositado no fundo. Com uma trompa de vácuo e HCl 2,62 N faz-se o refluxo nas colunas com as resinas tipo AG-50 WX8, 200 - 400 mesh, para trocas catiônicas. Após o escoamento de todo o ácido inicia-se a deposição da amostra na coluna. Na calibração utiliza-se HCL 2,62 N em béquer savilex previamente descontaminado. Despreza-se os primeiros 13 mL de HCl adicionados à coluna, sendo coletados os 10 mL de HCl seguintes para Rb. A seguir, são desprezados mais 14 mL de HCl e coletados os 10 mL de HCl finais para Sr. Algumas gotas de ácido perclórico (HClO_4) a 50 % são adicionadas, eliminando alguma resina que tenha se desprendido da coluna, e então submete-se o material coletado até a secura total em evaporadores. A coluna é regenerada pela passagem de HCl 6N. Após a secagem, o resíduo é levado para análise em espectrômetro de massa.

A amostra PD481A, além de ser analisada para isótopos de Sr, foi também estudada pelo método Sm-Nd. Através da técnica de diluição isotópica, são adicionados 5 mL de HCL 2,62 N à coluna com a resina, a partir de uma extração prévia de Rb-Sr da solução (procedimentos acima descritos), que são desprezados, e então mais 7 mL de HCl para a coleta de Elementos Terras Raras. Após submeter até a secura total, o resíduo é levado para a coluna de pó de teflon. A dissolução do resíduo se dá com 0,2 mL de HCl 0,26 N. A seguir são realizadas as calibrações, segundo a sequência estabelecida por Sato *et al.* (1995):

1. Depositar a amostra com 0,2 mL de HCl 0,26 N;
2. Adicionar 0,2 mL de HCl 0,26 N;
3. Adicionar 0,2 mL de HCl 0,26 N;

4. Adicionar 0,2 mL de HCl 0,26 N;
5. Adicionar 3 mL de HCl 0,26 N (desprezar);
6. Adicionar 1 mL de HCl 0,26 N (coletar Nd);
7. Adicionar 2,2 mL de HCl 0,55 N (desprezar);
8. Adicionar 0,8 mL de HCl 0,55 N (coletar Sm);

Nas frações de Nd e Sm são adicionados, por fim, 10 µl de H₃PO₄ 0,1 N. Com a secagem, os resíduos são levados para a análise em espectrômetro de massa. Nos cálculos das razões isotópicas e do εNd foram utilizados as constantes:

$$\lambda_{\text{Sm}} = 0,654 \times 10^{-11} \text{ ano}^{-1}$$

$$(^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0,512638$$

$$(^{147}\text{Sm} / ^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR}} = 0,1967$$

Para o cálculo da idade-modelo Sm-Nd foram utilizadas as constantes de De Paolo (1988).

CAPÍTULO 2

SITUAÇÃO GEOLÓGICA

2.1. ARCABOUÇO TECTÔNICO

A região estudada situa-se no contexto geotectônico do Sistema de Dobramentos Ribeira (Hasui *et al.*, 1975). As rochas são localmente atribuídas aos Complexos Embu e Pilar (Hasui, 1973), cuja idade de deposição é ainda incerta (mesoproterozóica ?) e são invadidas por diversos corpos granitóides de idade brasileira.

Limitadas pelo falhamento de Taxaquara (Hennies *et al.*, 1967) a norte, estas rochas estão separadas de litologias pertencentes ao Grupo São Roque, compostas essencialmente por rochas metassedimentares com grau de metamorfismo relativamente mais baixo.

A sul, embora haja uma descontinuidade estrutural que é dada pelo falhamento de Caucaia (Hasui, 1973), rochas similares ainda têm continuidade, o que levou este último autor a agrupá-las sob a designação de Conjunto Paranapiacaba. Este conjunto encontra termo no falhamento de Cubatão (Almeida, 1953), que o separaria do Complexo Costeiro (Hasui *et al.* 1981).

2.2. OS PACOTES METAMÓRFICOS

Os xistos e gnaisses migmatíticos que ocorrem na região de Piedade, estudados por Hasui (1973), seriam integrantes do Bloco Cotia (Hasui *et al.*, 1969). A ausência de descontinuidades para rochas “ectiníticas” levou o autor à conclusão de que estas litologias seriam representantes de partes inferiores do Grupo Açungui, de idade brasileira, de maneira análoga ao que já havia sido sugerido por Melcher *et al.* (1973). A norte do falhamento de Taxaquara, foram descritas rochas de menor grau metamórfico, compostas por metacarbonatos, filitos metabásicas subordinadas, tidas como de idade relativamente mais jovem, constituindo o Bloco São Roque (Hasui *et al.*, 1969). Em Hasui (1975a, 1975b), foi feita uma distinção entre rochas do Bloco Cotia que teriam menor grau metamórfico, a W, e rochas com grau mais elevado, a E, um contraste entre pacotes metamórficos que o levou a uma definição em dois grupos distintos:

- Complexo Ectinítico Pilar, formado por rochas metasedimentares de baixo grau metamórfico que incluem filitos, quartzos filitos e quartzitos e alguns corpos de metabasitos. Ocorrem junto à cidade de Pilar do Sul com continuidade em direção ao Vale do Ribeira.

- Complexo Migmatítico Embu, constituído por xistos e gnaisses migmatíticos. Os migmatitos mostram-se com elevada porcentagem de leucossomas próximo à cidade de Piedade, gradativamente diminuída à medida que se avança em direção às rochas de menor grau metamórfico, na porção W da área.

Esta subdivisão é também adotada pelo Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981), em escala 1:500.000.

Hasui & Sadowski (1976) notaram, nas regiões de ocorrência do Complexo Embu, a presença de um decréscimo do grau de migmatização em direção às

porções centrais de estruturas sinformais, chegando mesmo a apresentar rochas ectiníticas, enquanto que em estruturas antiformais ocorria o inverso, com o aparecimento de migmatitos nas porções centrais. A presença de tais estruturas seria uma possível explicação encontrada por estes autores para a variação do grau metamórfico na área.

A partir de mapeamento geológico em escala 1:50.000 da Folha Pilar do Sul, Stein (1984) relacionou as rochas metamórficas abaixo do falhamento de Taxaquara em um “Complexo pré-Açungui”, desvinculando-se do contexto mantido por Hasui (1975a, 1975b), no qual estas rochas pertenceriam às porções inferiores do Grupo Açungui.

No mapeamento geológico em escala 1:50.000 da Folha Salto de Pirapora, Pires *et al.* (1990) mantiveram as denominações de Grupo São Roque e Grupo Açungui para as seqüências metassedimentares presentes na área, em acordo com Hasui *et al.* (1969), e sugeriram uma penecontemporaneidade devido às similaridades quanto à sedimentação, deformação e metamorfismo.

Campos Neto *et al.* (1990) apresentaram um mapa geológico, em escala 1:25.000, para a região próxima a Pilar do Sul, no qual o Grupo Açungui é representado por um Complexo Turbidítico, constituído por rochas metassedimentares e metabásicas com grau metamórfico relativamente baixo que seriam posteriores na cronoestratigrafia àquelas de grau metamórfico relativamente mais alto constituídas por uma seqüência basal formada pelo Domínio de Mica-Xistos Serra dos Lopes.

2.3. OS GRANITÓIDES DA REGIÃO DE PIEDADE

As rochas granitóides que ocorrem com maior freqüência no pré-Cambriano do Estado de São Paulo receberam no início deste século uma denominação

genérica de *Tipo Varejão*, como consta no trabalho pioneiro de Florence (1907, *apud* Hasui, 1975b). Seria este tipo constituído por rochas granitóides porfiríticas foliadas em que o destaque principal caberia à presença de grandes megacristais feldspáticos. Posteriormente, Moraes Rego e Souza Santos (1938), ao estudarem estes mesmos tipos de rochas na região da Serra da Cantareira adotaram o nome de *Tipo Pirituba*. Esta designação foi amplamente difundida a partir de então com a vinda de novos trabalhos, de tal forma que passou a ser tratada como uma sinonímia de granitóides sin-tectônicos.

Coutinho (1953, 1972) e Hasui *et al.* (1969) realizaram trabalhos de mapeamento a nível regional que envolviam granitóides da região de São Roque, a N e NE da área em estudo. Para aqueles presentes na região de Piedade deve-se a Hasui (1973) uma primeira tentativa de agrupamento segundo a denominação de *Complexo Piedade*, que seria um extenso batólito granitóide de caráter sin-tectônico à orogênese brasileira (Fig. 2). Identificados como de *Tipo Pirituba*, foram incluídos sob esta designação três tipos texturais distintos de granitóides “porfiríticos, inequigranulares e finos”. Esta importante observação reside no fato de ser notada a presença de uma variedade faciológica na área, que não foi porém discriminada em mapa geológico. O autor reconheceu ainda um outro grupo de granitóides, representados pelos maciços Turvo, Pilar do Sul e Serra do Lopes, que seriam de caráter pós-tectônico.

Em projeto de mapeamento regional em escala 1:250.000, Algarte *et al.* (1974) reconheceram a extensão do “Complexo Piedade” para sudoeste, perfazendo um batólito bastante extenso e alongado, que foi redenominado “Batólito Ibiúna”, designação seguida por Hasui & Sadowski (1976). Em trabalho de síntese regional sobre a granitogênese brasileira dos Estados de São Paulo e Paraná, contudo, Hasui *et al.* (1978) optaram pelo nome “Batólito Agudos Grandes” (já empregado em Bettencourt *et al.*, 1971) também adotado no Mapa Geológico do Estado de São Paulo em escala 1:500.000 (IPT, 1981).

Figura 2 - Principais manifestações magmáticas discriminadas por Hasui (1973) na região das Folhas São Roque e Pilar do Sul.

Stein (1984) realizou uma subdivisão dos granitóides da região entre as cidades de Pilar do Sul e Piedade, separando três suítes distintas que admitiu serem pós-tectônicas: Suíte Granitóide Piedade, onde são individualizados os maciços designados Serra da Bateia e Sarapuí; Suíte Granitóide Tapiraí, representada pelos maciços denominados de Tapiraí e Córrego do Gázeo; Suíte Granitóide Pilar do Sul, de caráter posterior às demais suítes, que seria constituída pelos "stocks" Pilar do Sul e Serra do Lopes de Hasui (1973).

Uma estruturação polifacial de granitóides foi proposta por Wernick *et al.* (1989) no "Complexo Granitóide Ibiúna", a partir de levantamentos geológicos em perfis regionais entre as cidades de Piedade, Pilar do Sul, Juquiá, São Miguel do Arcanjo e Sete Barras. Associaram espacial e temporalmente uma sucessão, de sul para norte, de rochas porfiróides, porfiríticas e equigranulares; baseados na tipologia do zircão, definiram ainda as temperaturas de cristalização como sendo de 795 - 775, 775 - 725 e 745 - 700° C, respectivamente, além de sugerir, com base na tipologia do zircão, que estas rochas tiveram uma origem a partir de magmas pouco hidratados. Como conclusão, propuseram "um complexo de estruturação polidiapírica, longa história evolutiva e uma gênese onde o "progressive up melting" teve papel de destaque dada pela intrusão de impulsos magmáticos cada vez mais "frios" e cada vez mais ricos em contribuição de material crustal".

Pires *et al.* (1990) reconheceram três tipos distintos de granitóides na região a NW da cidade de Piedade. Uma " fácies inequigranular rósea-acinzentada" como a mais abundante, uma porfirítica, hololeucocrática, correlacionada ao Maciço Sarapuí (Stein, 1984) e a última chamada de " fácies esbranquiçada", com enclaves de rochas cálciossilicáticas. Admitiram este último tipo como gerado a partir de anatexia crustal com fusão parcial de metassedimentos.

→ Janasi *et al.* (1990), como parte de um mapeamento faciológico de reconhecimento de granitóides da porção oriental do batólito Agudos Grandes,

reconheceram, a W da cidade de São Paulo, diversos "tipos" graníticos que reúnem conjuntos de fácies com afinidades distintas (Fig. 3). Procuraram ainda organizá-las segundo uma seqüência intrusiva durante a orogênese brasileira, agrupando-as segundo corpos intrusivos que invadem os dois distintos pacotes metamórficos definidos por Hasui (1975a, b):

- Granitóides que invadem as rochas de baixo grau metamórfico do *Complexo Pilar do Sul*: com texturas magmáticas, sendo representados pelo "tipo Pilar do Sul" (maciço), e pelo "tipo Serra da Bateia" (com marcante foliação por fluxo magmático). São considerados tardi a pós-orogênicos ao ciclo brasileiro;

- Granitóides que invadem os terrenos com alto grau metamórfico do *Complexo Embu*: com marcante foliação tectônica, agrupados em uma associação cálcio-alcálica (representada pelos tipos Itapevi, Tapiraí e Ibiúna) e uma peraluminosa (representada pelo tipo Turvo). São admitidos como sin-orogênicos ao ciclo brasileiro.

Estes autores ainda reconheceram um tipo adicional, designado Piedade, de caráter tardi-orogênico, com significativa variedade faciológica, que se associaria sistematicamente com as rochas encaixantes, sugerindo a existência de corpos granitóides laminares e/ou lenticulares pouco espessos. Entretanto, não mapearam contatos ou definiram relação petrográfica e estrutural com os demais tipos, obviamente devido à carência de estudos de maior detalhe.

Campos Neto *et al.* (1990) associaram em único "complexo granitóide" as rochas do maciço Pilar do Sul e as ocorrências de granitos tipo Piedade próximas a Pilar do Sul, denominada fácies Serra do Pinhal por Janasi *et al.* (1990), relacionando ainda a foliação destes ao metamorfismo regional do Grupo Açungui.

Figura 3 - Mapa das faciológicas granitóides entre as cidades de São Paulo e Pilar do Sul (segundo Janasi *et al.*, 1990).

O estudo da avaliação da potencialidade mineral realizada pelo IPT (1990) na área de Pilar do Sul não distingue tipos distintos de granitos nesta região, embora relate a presença de diferentes “domínios texturais”.

A partir de levantamentos aerogeofísicos, Ferreira *et al.* (1991) obtiveram dados de comportamento aerogamaespectrométrico e aeromagnetométrico para os granitóides dos Domínios São Roque e Embu. Neste último, os maciços granitóides Serra da Bateia e Pilar do Sul, que aparecem como tardi- a pós-orogênicos, apresentam teores de Th e U elevados que os diferenciam dos maciços Ibiúna, Tapiraí e Jurupará, tidos como sin-orogênicos, que não apresentam anomalias para estes elementos. De um modo geral, os granitóides presentes no domínio Embu mostram uma susceptibilidade magnética maior quando comparados àquela presente em granitos similares do Domínio São Roque, sugerindo os autores que a cristalização se deu sob fO_2 relativamente mais elevada.

Em trabalho de mapeamento geológico da Folha São Roque, Oliveira e Godoy (1992) destacaram a presença de muitas intercalações metassedimentares dentro do maciço Ibiúna, em contatos essencialmente tectônicos. Foram discriminados termos porfiróides de composição monzogranítica, além de fácies equigranulares, melagranitos, monzogranitos a sienogranitos róseos e leucogranitos finos.

Godoy *et al.* (1992) realizaram na Folha São Roque uma discriminação faciológica sobre os maciços São Roque, Caucaia e Ibiúna, caracterizando este último como constituído por granitóides heterogêneos, que foram reunidos em sete fácies. A predominante, entretanto, foi definida como “monzogranito porfiróide serial a hiatal grosseiro, róseo, com biotita e hornblenda, contendo de 20 a 40 % de megacristais com 5 cm em média e localmente atingindo até 10 cm”. Baseados em estudos geoquímicos, estes autores revelaram, ainda, que os granitóides mostraram-se “metaluminosos, por vezes peraluminosos, potássicos com pequena tendência a alto

potássio”; dados de tipologia do zircão mostraram presença de “ fácies desde rasa até profunda” para o maciço Ibiúna.

Janasi & Ulbrich (1992), em trabalho de compilação sobre os granitóides do Estado de São Paulo, produziram um fichário das ocorrências e mostram a sua distribuição em mapa na escala 1:500.000. Nesse mapa, o nome "Piedade" designa somente os biotita granitóides porfiríticos aflorantes na região, atribuindo a este maciço uma extensão aproximada de 38 km² segundo ENE e largura variável de 5 - 10 km. Deve ser notado que, embora publicado em 1992, o trabalho reúne informações disponíveis até 1988, portanto anteriores ao trabalho de Janasi *et al.* (1990). Nesse sentido, na concepção aí apresentada o nome "Piedade" agrupa rochas que posteriormente seriam separadas nos "tipos" Piedade e Tapiraí.

Em Janasi *et al.* (1994) são apresentadas características geoquímicas e petrográficas dos granitóides presentes na região de Piedade, supostamente tardi-orogênicos, apresentando aspectos que os distinguem dos demais maciços que constituem o cinturão granítico Itu (Vlach *et al.*, 1990). Segundo os autores, a contribuição significativa de material de origem sedimentar atestada pela presença de muscovita primária $\pm$ monazita, que denotam um caráter peraluminoso para os magmas originais, seria uma feição incomum do magmatismo granítico tardi-brasileiro do Estado de São Paulo.

No estudo geoquímico das rochas granitóides da Folha São Roque, Godoy *et al.* (1996) realizaram uma discriminação química e caracterização, sob um ponto de vista tectônico, das rochas dos maciços São Roque e Caucaia como tardi-orogênicos, enquanto que aquelas presentes no maciço Ibiúna mostraram-se mais complexas, com tendências pré-colisionais, pós-colisionais e tardi-orogênicas.

2.4. GEOLOGIA ESTRUTURAL

Estudos sobre a geologia estrutural envolvendo a região de Piedade ganharam significado a partir dos trabalhos de Hasui (1973, 1975), que reconheceu a presença de uma seqüência de 4 fases deformacionais na área coberta pelas Folhas São Roque e Pilar do Sul, em escala 1:100.000. Uma primeira fase de deformação (F1) foi identificada para as rochas do Complexo Embu, que associou à geração de dobras recumbentes e isoclinais, com foliação plano-paralela. Segundo o mesmo autor, estas estruturas não ocorreriam na região a norte do falhamento de Taxaquara, onde se encontram as rochas do Grupo São Roque, no qual existem dobras cerradas e de planos axiais subverticalizados correspondentes à fase de deformação F2 do Complexo Embu, neste caso superimposta coaxialmente aos dobramentos da fase F1. Ramsay (1967, apud Hasui, 1975) atentou para o fato de ser difícil a detecção dos ápices das dobras de primeira geração quando o dobramento e o redobramento são coaxiais. O magmatismo granítico sin-tectônico gerador do *Granito Pirituba* seria contemporâneo a F2. A fase F3 estaria relacionada a processos de crenulação e transposição, sendo associada pelo autor ao “advento de condições de rigidez nas rochas”. Por fim, uma fase de deformação F4 seria manifestada através dos grandes falhamentos transcorrentes.

Stein (1984) constatou a presença das 4 fases de deformação na região de Pilar do Sul, originalmente definidas por Hasui (1973, 1975a), associando à fase de deformação F3 a presença de uma megadobra que, segundo o autor, foi “responsável pela grande feição estrutural em arco da área, a Sinforma de Pilar do Sul”.

Também na região de Pilar do Sul, Campos Neto *et al.* (1990) revelaram complexidade ainda maior para o Complexo Embu, tal como já constatado por Campos Neto (1983) e Campos Neto & Basei (1983) na continuidade destas seqüências rochas a nordeste da cidade de São Paulo, concluindo pela presença de 5

fases de dobramentos superpostos sobre rochas tanto de baixo grau metamórfico, definidas como “Complexo Turbidítico”, como nas de grau metamórfico relativamente mais alto, denominadas “Domínio dos Mica-Xistos Serra dos Lopes”.

Hackspacher *et al.* (1992) sugeriram um quadro evolutivo para a geologia da região de São Roque a partir de uma fase inicial D_{n-1}/D_n , relacionada ao ciclo Transamazônico, com desenvolvimento de uma foliação S_n/S_{n-1} , gerada em fácies anfibolito. Durante o ciclo Brasileiro haveria, então, o desenvolvimento da fase D_{n+1} , paralela a S_0 , que chegaria a atingir as isógradas da biotita e da granada. Uma fase D_{n+2} ocorreria a seguir, desenvolvendo uma foliação S_{n+2} em condições metamórficas de fácies xisto-verde alto a anfibolito baixo, na isógrada da biotita. A fase D_{n+3} se daria em fácies xisto-verde alto a anfibolito baixo, representada por uma gradativa passagem de dobras normais, de eixo subhorizontal NE, para zonas transcorrentes. Segundo o autor, “a feição principal no arcabouço regional é a tectônica rúptil-dúctil do final do ciclo Brasileiro, mostrando uma evolução partir da Fase D_{n+3} , associada com os granitóides brasileiros” e conclui “tanto a colocação dos corpos granitóides como o desenvolvimento de D_{n+3} estão relacionados a esta tectônica direcional”.

2.5. GEOCRONOLOGIA

Os trabalhos de cunho geocronológico existentes para as rochas granitóides e migmatíticas do Complexo Embu foram realizados principalmente a E da cidade de São Paulo, onde se encontram as melhores exposições para estas rochas.

Como trabalho pioneiro, Vandomos & Franco (1966) obtiveram, segundo a análise Rb-Sr para rocha total, uma idade convencional em torno de 620 Ma para os granitos de Mogi das Cruzes. A análise de muscovita através do método K/Ar revelou uma idade de 460 Ma, representando um evento termal posterior.

As análises K/Ar realizadas por Cordani & Bittencourt (1967) concentraram-se no intervalo entre 450 - 650 Ma para rochas metassedimentares e gnaisses migmatíticos agrupados no grupo Açungui, além de um valor de 1,4 Ga, denunciando a existência de núcleos mais antigos.

Minioli (1971) realizou análises K/Ar em feldspatos e micas de granitos e migmatitos na região de São José dos Campos, obtendo valores em torno de 480 Ma.

Cordani & Kawashita (1971) determinaram uma idade Rb-Sr convencional de 670 ± 180 Ma para os granitos de Mauá e 600 ± 90 Ma para granitos de Itaquera.

Kinoshita (1976) estudou dioritos próximos a São Paulo e através do método Ar/Ar realizado em plagioclásios obteve uma idade de 1200 Ma. Em anfibólios a idade resultante foi 545 Ma, enquanto em biotitas, 515 Ma.

Os granitóides de textura blastomilonítica da região de Santa Isabel foram datados por Wernick *et al.* (1976), que definiram uma idade isocrônica Rb-Sr em rocha total de 560 ± 13 Ma, com razão $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ inicial de $0,708 \pm 0,002$.

Cordani & Teixeira (1979) a partir de dados de Rb-Sr já obtidos por Kawashita (1969) em rochas granito-gnáissicas e migmatitos da região da Serra da Mantiqueira, definiram uma isócrona com idade em torno de 640 Ma e razão inicial de 0,716, idade interpretada como retrabalhamento crustal.

Para os migmatitos que ocorrem entre as cidades de São José dos Campos e Paraibuna, Babinski (1989) obteve razões isotópicas de Pb em rocha total, definindo para rochas tomadas como paleossoma uma idade de 2335 ± 85 Ma em diagrama isocrônico, com $\mu 1 = 8,33$. Segundo a autora, dado que o valor de $\mu 1$ é típico

de crosta continental superior, a idade poderia representar um retrabalhamento sobre rochas possivelmente arqueanas. Os leucossomas apresentaram uma idade de 1388 ± 290 Ma, $\mu 1 = 8,15$, interpretada como a idade da migmatização.

Estudos geocronológicos obtidos em rochas do Complexo Embu a W da cidade de São Paulo tiveram expressão somente a partir do final da década de 80 com os trabalhos de Vieira & Tassinari (1988) e Tassinari (1988); todas as amostras datadas nestes trabalhos foram obtidas através de furos de sondagem, já que afloramentos frescos de rochas metamórficas não são observados nesta área.

Para xistos, Vieira & Tassinari (1988) obtiveram uma idade Rb-Sr de 750 ± 20 Ma, com razão $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ inicial de $0,7277 \pm 0,0009$, interpretada como o pico de metamorfismo destas rochas. No maciço granítico Embu-Guaçu a idade Rb-Sr foi de 612 ± 83 Ma e razão $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ inicial de $0,707 \pm 0,007$, datando a colocação do corpo granitóide em níveis superiores da crosta.

Visando um posicionamento geocronológico para as diversas litologias e eventos metamórficos do pré-Cambriano do Estado de São Paulo, Tassinari (1988) obteve uma idade para os melanossomas de migmatitos do Domínio Embu, a sul de São José dos Campos, de 2473 ± 46 Ma pelo método Rb-Sr, com razão inicial $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ de $0,7003 \pm 0,0005$, posicionando a adição crustal do protolito destas rochas no Proterozóico Inferior. A idade obtida para os leucossomas em diagrama isocrônico Rb-Sr foi de 1497 ± 46 Ma, com razão inicial $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ de $0,735 \pm 0,001$, enquanto pela isocróna Pb-Pb foi de 1275 ± 240 Ma, situando a migmatização no Proterozóico Médio. As análises K-Ar e Ar/Ar anteriores, com idades de 1300 - 1200 Ma e 560 - 500 Ma, mostrariam épocas de resfriamento regional em dois eventos metamórficos de idades distintas. A datação dos granitóides da região de Santa Isabel através do método U-Pb revelou uma idade de 660 ± 13 Ma, interpretada como de cristalização

Campos Neto *et al.* (1990) realizaram análises geocronológicas K-Ar em diferentes litologias da região de Pilar do Sul. Em anfibólitos de rochas anfibolíticas, intercaladas aos metassedimentos de baixo grau metamórfico, obtiveram uma idade de 1180 ± 150 Ma, indicando a atuação de um evento tectôno-termal no final do Proterozóico Médio; um dado adicional acusou 594 ± 24 Ma. Já em biotitas desses metamorfitos, a idade média obtida foi em torno de 540 Ma, associada a um aquecimento generalizado durante o ciclo brasileiro, mostrando que o intervalo entre a retenção do argônio pela hornblenda e pela biotita se deu em um intervalo de resfriamento de 40-50 Ma. Nos granitóides Pilar do Sul e Serra da Bateia, idades K-Ar em biotitas revelaram 570 ± 15 Ma e 544 ± 13 Ma, respectivamente. Segundo os autores, estes dados sugerem que o resfriamento do magmatismo relacionado ao Maciço Serra da Bateia deve estar relacionado “às fases mais tardias do ciclo brasileiro”. Uma análise em rocha total de dique básico ainda revelou uma idade de 145 ± 16 Ma, caracterizando atividades juro-cretássicas na região.

Hackspacher *et al.* (1997) apresentaram um estudo isotópico Sm-Nd para o Granito Cindacta, a SE de São Roque, e Granito Pilar do Sul. Para o primeiro, obtiveram uma idade T_{DM} variável entre 1,93 e 2,01 Ga, com ϵNd para 600 Ma de - 14,7 e -17,17, respectivamente. Já no Granito Pilar do Sul, a idade T_{DM} obtida foi de 1,95 Ga, com ϵNd para 600 Ma de - 14,9. Com base nestes dados, sugeriram uma fonte comum para estes corpos graníticos a partir de retrabalhamento de crosta Paleoproterozóica.

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA LOCAL

3.1. APRESENTAÇÃO DO MAPA GEOLÓGICO

3.1.1. Aspectos litológicos

O Mapa Geológico da região de Piedade, em escala 1:50.000, é apresentado no Anexo 1. O Mapa de Localização de Afloramentos, em escala 1:25.000, encontra-se no Anexo 2. Uma versão simplificada do Mapa Geológico é apresentada na Fig. 4.

O enfoque deste trabalho é dado às rochas granitóides que constituem o “maciço Piedade”, conforme definido abaixo. Outros tipos de granitóides, possivelmente de idades diferentes, ocorrem na área mapeada, e são descritos separadamente. Menor ênfase foi dada às rochas encaixantes, haja visto que representam menos de 10 % da área mapeada e, principalmente, pelo fato de se encontrarem em estado de alteração muito avançado.

O maciço Piedade tem forma subcircular, com um leve alongamento na direção N45E, perfazendo uma área aproximada de 100 km² com zoneamento concêntrico marcado por importante variedade faciológica. As faixas de borda foram denominadas como unidades MBgd e MBmg (cf. significado das abreviações na legenda da Fig. 4; notar que, nessas abreviações, os nomes de minerais estão em maiúsculas e os nomes de rochas e seus adjetivos estão em minúsculas), compostas por muscovita - biotita granodioritos a monzogranitos porfiríticos, foliados, de matriz média, com índices de cor relativamente altos (8 - 14), e portadores de muscovita. São sucedidas para o interior do maciço pela unidade Bmgr, intrusiva nas

Figura 2 - Mapa das unidades granitóides presentes na região de Piedade - SP. **Maciço Piedade:** MBgd - muscovita-biotita granodioritos porfíricos; MBmg - muscovita-biotita monzogranitos porfíricos; BmgT - biotita monzogranitos porfíricos c/ titanita; Bmgr - biotita monzogranitos inequigranulares róseos; Bmgg - biotita monzogranitos porfíricos grossos; Bmgf - biotita monzogranitos inequigranulares médios a finos; **Maciço Ibiuna:** HBgd - hornblenda-biotita granodioritos a quartzos monzonitos porfíricos; **Granitos equi-inequigranulares róseos:** MBmge - muscovita-biotita monzogranitos equigranulares; MBmgi - muscovita-biotita monzogranitos inequigranulares; **Maciço Serra da Bateia:** Bsgf - biotita sienogranitos a monzogranitos inequigranulares foliados; HBqzmz - hornblenda-biotita quartzos monzonitos equigranulares maciços; Bsg - biotita sienogranitos porfíricos; **Corpo Alcalino de Piedade:** Kα1c - shonkinitos pórfiros (Knecht, 1960).

anteriores, composta por biotita monzogranitos a sienogranitos inequigranulares médios a grossos, róseos, com índice de cor relativamente mais baixo (3 - 7). A porção central do maciço é constituída pela unidade BmgT, que se dispõe como um corpo alongado, orientado segundo N45E, formado por biotita monzogranitos porfiríticos de matriz média a grossa, índice de cor em torno de 8 - 9, ricos em titanita, que apresentam uma foliação dada pela orientação de megacristais tabulares de feldspato alcalino que tendem a se paralelizar com a orientação do alongamento do corpo principal. Na porção NW do maciço encontra-se um pequeno corpo onde faixas da unidade MBmg são invadidas por uma lâmina externa de biotita monzogranitos inequigranulares médios a finos (Bmgf), com índice de cor ao redor de 6 - 7 e ocasional muscovita, e por um conjunto central heterogêneo (Bmgg), formado por biotita monzogranitos porfiróides grossos com índice de cor entre 6 e 8, nos quais muscovita é mais comum.

A unidade HBgde aparece no Mapa Geológico (Anexo 1) como ocorrências pontuais na extremidade NE do maciço. É constituída por hornblenda - biotita granodioritos equigranulares de granulação fina e índice de cor entre 8 e 10.

Externamente ao maciço Piedade, foi mapeada uma unidade constituída por hornblenda - biotita granodioritos a quartzo monzonitos (HBgd), com marcante foliação tectônica, que circundam a unidade MBmge, a SE, e os metamorfitos do Complexo Embu, a N e NE do maciço. Corresponde aos granitos “tipo Ibiúna” de Janasi *et al.* (1990).

A unidade MBmge é composta por muscovita - biotita monzogranitos equigranulares médios, subordinadamente inequigranulares médios a grossos, levemente foliados a maciços, com IC entre 3 e 7. Ocorre como corpos alongados ou concêntricos, ou mais tipicamente como diques e veios que invadem as rochas encaixantes migmatíticas e os granitóides do maciço Piedade.

A unidade MBmgi é formada por muscovita - biotita monzogranitos inequigranulares médios a grossos, com IC ~ 7 , e é admitida como constituinte do maciço Serra do Lopes, também zonado, com variedades porfiríticas marginais e inequigranulares centrais, representantes do magmatismo brasileiro tardio na região. Aparentemente, o caráter cada vez menos deformado dos granitóides da unidade no sentido W representa a exposição de níveis crustais progressivamente mais rasos. Isso é sustentado, também, pela diminuição do grau de metamorfismo das rochas encaixantes (migmatitos em Piedade até filitos em Pilar do Sul).

A unidade Bsg é constituída por rochas predominantemente sienograníticas, com IC em torno de 8, que constituem o corpo principal do maciço Serra da Bateia (Stein, 1984). É caracterizada pela presença de megacristais de feldspato alcalino notavelmente tabulares, alongados, que desenvolvem uma orientação por fluxo magmático e representam em torno de 40 % da rocha. Apresenta-se com relações de contato e foliações que truncam a região de “transição” entre as rochas de alto e de baixo grau metamórfico, próxima à cidade de Pilar do Sul, e foi caracterizada como “pós-tectônica” por Stein (1984). As unidades menores Bsgf e HBqmz parecem estar associadas à unidade Bsg como fácies de borda, a primeira composta por biotita sienogranitos a monzogranitos inequigranulares muito foliados, de granulação média a grossa e IC em torno de 7 - 8, e a segunda constituída por hornblenda - biotita quartzo monzonitos equigranulares, de aspecto mais maciço e IC mais elevado (entre 10 e 12).

3.1.2. Aspectos estruturais

Um aspecto comum que pode ser verificado nos esboços geológicos de Hasui (1973) e Janasi *et al.* (1990), respectivamente Figs. 2 e 3, é que a estruturação das litologias entre as cidades de Pilar do Sul e Ibiúna, delimitadas entre os falhamentos de Caucaia e Taxaquara, parecem desenvolver uma mudança de disposição dos corpos à medida que se dirige de sul para norte: orientação inicial NE-

SW que sofre uma inflexão com mudança progressiva para NW-SE. Este aspecto pode ser observado mais claramente na região de Pilar do Sul, onde há um contato aparentemente transicional entre as rochas metassedimentares de baixo e alto grau metamórfico. Neste contexto, o maciço Piedade se mostra concordante com esta estruturação regional, dispondo-se junto à região onde a inflexão das estruturas parecer ter condicionado fortemente a entrada dos corpos granitóides. Isto também é visto no caso dos maciços Serra dos Lopes e Pilar do Sul, mais a oeste, cujas formas contrastam com a dos granitóides que aparecem junto ao Falhamento de Caucaia, fortemente alongados segundo NE-SW (cf. Fig. 3).

A concordância, em escala regional, entre a disposição dos corpos granitóides e rochas encaixantes é claramente mostrada pelas foliações obtidas no maciço Piedade. No mapa geológico (Anexo 1), os xistos e gnaisses migmatíticos do Complexo Embu mostram foliações cuja disposição se paraleliza com os contatos dos corpos granitóides intrusivos adjacentes.

As foliações presentes nas rochas granitóides que compõem a estruturação interna do maciço Piedade apresentam-se, de um modo geral, em dois conjuntos com orientações características. O primeiro ocorre nas unidades de borda MBgd e MBmg e é composto por foliações que delineiam os formatos dos corpos e se paralelizam com os contatos. A unidade MBgd é a que parece ter um maior grau de interação com as rochas encaixantes, encontrando-se na forma de lâminas cujas extremidades parecem afunilar, permeando-as. Em suas ocorrências meridionais, as foliações apresentam ângulos de mergulho maiores que 45° , com caimento para o interior do maciço. Já nos corpos a norte, as foliações são mais heterogêneas, porém predominam aquelas de mais baixo ângulo ($\sim 30^\circ$) e com caimento em direção oposta ao maciço.

A unidade MBmg ocorre como duas faixas principais, mais espessas e mais contínuas que MBgd. Da mesma forma que MBgd, esta unidade

mostra-se com extremidades afinadas na ocorrência mais ao sul. O corpo maior a norte é de aspecto mais irregular e as suas foliações apresentam-se definidas segundo um predomínio de mergulhos com caimento para dentro do maciço; enquanto nas porções próximas à borda interna são normalmente de alto ângulo de mergulho, ou mesmo subverticais, na borda externa observam-se em alguns locais os mais baixos valores, chegando a 30°.

O segundo padrão de foliações é grosseiramente observado dentro de um corpo principal contínuo da unidade BmgT, onde há um predomínio nas atitudes com direção NE-SW, com um leve predomínio de caimento para NW, sendo um aspecto mais comum nas porções de borda, enquanto aquelas mais internas apresentam-se mais irregulares quanto à orientação. Geralmente ocorrem com alto ângulo de mergulho na extremidade a NE e relativamente mais baixos na extremidade a SW do corpo. Esta unidade apresenta ainda dois corpos satélites mapeáveis, sendo um no contato entre as unidades MBgd e MBmg, a NE, e outro dentro da unidade Bmgr, a sul. As atitudes foram obtidas principalmente nas extremidades do corpo devido à falta de afloramentos ou blocos “in situ” em sua porção central.

Por outro lado, face à presença de foliações de borda nas unidades MBgd e MBmg que se paralelizam com os corpos granitóides e foliações em BmgT que mostram uma tendência a se orientar segundo NE-SW, a unidade Bmgr tende a desenvolver um caráter intermediário, nos dois corpos principais da unidade mapeados. O primeiro, de maior extensão, se dispõe na porção centro-sul da área, em arranjo semi-anelar, com alongamento que acompanha, em sua borda externa, o formato de MBmg. As foliações apresentam-se, de um modo geral, com ângulos de mergulho sempre maiores que 45° e são convergentes para o interior do maciço. O outro corpo ocorre na porção centro-oeste e é menos alongado, com orientação NE-SW, apresentando na extremidade NE uma projeção entre rochas encaixantes e a unidade MBmg. As foliações desta porção são variáveis, com alto ângulo de mergulho

nas extremidades, maiores que 50°, e relativamente mais baixos em sua porção central, com cerca de 30°.

Também integrante do maciço Piedade, aparece na porção NW um pequeno corpo granitóide circunscrito com variação faciológica relativamente grande. As foliações, embora obtidas em pequeno número, mostram que os granitóides ocorrem em faixas pouco espessas que circundam uma porção central de aspecto arredondado, uma estruturação que é bastante evidente através da disposição das curvas de nível em mapa topográfico.

Sobre as foliações em rochas granitóides, Paterson *et al.* (1989) sugeriram que uma origem magmática é favorecida por alinhamentos de minerais eudrais, particularmente quando a foliação é paralela aos contatos internos e externos do plúton; neste caso, suficiente material não cristalizado deveria estar presente. Cristais de feldspatos eudrais seriam um forte critério para se concluir sobre a presença de magma coexistindo com a deformação, já que a geração de cristais eudrais seria pouco provável em deformações de estado sólido (Vernon, 1968, 1976, 1986); ressaltaram, entretanto, que recristalização relacionada à rotação dos grãos de feldspatos pode obliterar suas bordas, tornando difícil o reconhecimento de um componente de fluxo magmático. Como recurso adicional, a presença de geminação Carlsbad ou polissintética dispostas segundo o alongamento de grãos de feldspatos obliterados, mas orientados numa direção preferencial, também pode ser utilizada como componente de fluxo magmático. Por outro lado, Paterson *et al.* (1989) ainda revelaram que biotita e hornblenda são normalmente pouco consideradas na gênese da foliação, haja visto que se alinham facilmente tanto em relação ao estado sólido como magmático.

Para o maciço Piedade, a orientação de megacristais de feldspato alcalino eudrais presentes nas unidades granitóides de um modo geral, embora em proporções variáveis, tem revelado a nível mesoscópico um paralelismo com a foliação

de minerais micáceos, assim como macroscopicamente se paralelizam com as foliações das rochas encaixantes, um forte indício de uma foliação magmática.

3.1.3. Falhamento de Taxaquara

É constituído por uma zona milonítica na porção NW da área, que trunca os xistos e gnaisses migmatíticos do complexo Embu e granitóides a sul, e as rochas a norte, compostas essencialmente por metassedimentos pertencentes ao Grupo São Roque, constituídas por filitos e meta-carbonatos de grau metamórfico relativamente mais baixo. Em alguns locais é possível encontrar milonitos frescos com protolito granítico (PD765). As foliações mostraram-se pouco variáveis, desenvolvendo uma definida orientação em torno de N60E, embora ocorram pequenas diferenças devido à presença de pequenas ondulações ao longo da direção principal.

3.2. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES LITOLÓGICAS

3.2.1. Rochas metamórficas encaixantes

Nas redondezas da cidade de Piedade ocorrem gnaisses e xistos migmatíticos, estromatíticos, ricos em leucossomas graníticos brancos. Os afloramentos estão bastante alterados, apresentando-se com cores brancas acinzentadas a fortemente avermelhadas (Foto 1). Rochas migmatíticas são encontradas até na extremidade W do maciço Piedade, onde a porcentagem de leucossomas é menor, havendo amplo predomínio dos termos xistosos. Rochas migmatíticas quartzo - feldspáticas típicas (com biotita $\pm$ muscovita, além de granadas em caráter esparso) ocorrem restritamente na zona urbana de Piedade, onde se preservam os dois únicos afloramentos não alterados de rocha encaixante da área (pontos 14 e 15).

Em alguns afloramentos de xistos migmatíticos é possível encontrar concentrações localizadas de sillimanitas (e.g. pontos 399, 409, 1165, 1432, 1530), alteradas, que chegam a 1,5 cm, em agregados oclares de disposição paralela ao longo da foliação principal (Foto 2). Granada ocorre uniformemente distribuída na forma de grãos esparsos, porém pequenos. Os minerais micáceos (biotita e muscovita), bastante abundantes, são de granulação fina a média. Na porção a W do maciço Piedade (e.g. pontos 230, 240), os xistos migmatíticos exibem prováveis andaluzitas não deformadas. No ponto 431, os migmatitos alterados contêm bandas alongadas de xistos finos avermelhados e porções esparsas, mais lenticulares ou mesmo boudinadas, com coloração ocre, provavelmente de rocha calciossilicática, que é, aliás, uma feição comum a muitos afloramentos de rochas encaixantes xistosas. No ponto 1281, lentes menos alteradas de rochas calciossilicáticas revelam um aspecto mosqueado por finas granadas.

3.2.2. Maciço Granítico Piedade

3.2.2.1. Modas

As análises modais (Tabela 1 e Fig. 5) mostram que as principais unidades granitóides constituintes do maciço Piedade podem variar entre granodioritos a sienogranitos no diagrama QAP (Streckeisen, 1976).

As unidades MBgd e MBmg são as que geralmente apresentam uma proporção relativamente mais elevada em quartzo e plagioclásio que as demais. BmgT se mostra com proporções equivalentes entre feldspato alcalino e plagioclásio, ficando confinada no campo monzogranítico. Já a unidade Bmgr é constituída por rochas relativamente mais ricas em feldspato alcalino do que plagioclásio, variando do campo de monzogranitos para o de sienogranitos; as proporções de quartzo são equiparáveis às de BmgT.

Foto 1 - Afloramento alterado de xistos migmatíticos como teto pendente sobre granitóides leucocráticos, ambos truncados por falha aparentemente reversa. Notar na porção superior direita da foto uma pequena lente de tonalidade ocre de provável rocha calciossilicática. Ponto 1262.

Foto 2 - Afloramento em estrada de terra, onde aparecem porfiroblastos de prováveis sillimanitas alteradas em rochas xistosas migmatizadas. Ponto 1530.

Tabela 1 - Modas das principais unidades granitóides do Maciço Piedade**Muscovita - Biotita Granodioritos a Monzogranitos Porfíricos (MBgd)**

AMOSTRAS	QUARTZO	MÁFICOS	PLAG.	F. ALC.	PONTOS
PD419	29,0	10,5	40,4	20,1	1111
PD415	28,7	11,9	28,7	30,7	1067
PD231	28,3	13,2	36,2	22,3	342
PD462	21,4	12,6	31,2	34,8	988
PD17*	22,9	13,5	36,7	26,9	1350
MÉDIA	26,1	12,3	34,6	27,0	

Muscovita - Biotita Monzogranitos Porfíricos (MBmg)

AMOSTRAS	QUARTZO	MÁFICOS	PLAG.	F. ALC.	PONTOS
PD421D	32,4	9,4	37,2	21,0	1138
PD491A	25,8	9,5	32,7	32,0	1085
PD404	29,4	7,7	32,0	30,9	1061
PD410	22,3	8,5	36,1	33,1	1200
MÉDIA	27,5	8,8	34,5	29,3	

Biotita Granitos Inequigranulares Róseos (Bmgr)

AMOSTRAS	QUARTZO	MÁFICOS	PLAG.	F. ALC.	PONTOS
PD414	24,7	4,5	23,0	47,8	1089
PD412	22,9	6,0	30,8	40,3	1022
PD420	25,3	7,4	29,8	37,5	1124
PD463	23,6	6,5	23,9	46,0	932
PD381	28,2	4,4	23,4	44,0	1354
PD421B	27,0	3,5	27,2	42,3	1011
MÉDIA	25,4	5,6	27,0	42,0	

Biotita Monzogranitos Porfíricos com titanita (BmgT)

AMOSTRAS	QUARTZO	MÁFICOS	PLAG.	F. ALC.	PONTOS
PD438	24,2	8,0	30,4	37,4	421
PD439	27,4	7,3	27,4	37,9	534
PD474B	26,3	9,3	33,5	30,9	502
PD481A	24,3	9,3	35,2	31,2	884
PD18*	24,8	11,0	31,6	32,6	1094
MÉDIA	25,6	8,5	31,6	34,4	

* contagens realizadas em lâminas delgadas.

MÁFICOS são constituídos por biotita e minerais opacos.

Figura 5 - Diagrama Q A P e índice M' (Streckeisen, 1976) para as principais unidades granitóides do maciço Piedade. Símbolos: • MBgd, ○ MBmg, ▲ Bmgr, ◻ BmgT.

O índice M' (Streckeisen, 1976) é correspondente ao “índice de cor”, definido por Shand (1949) como a porcentagem de minerais máficos na rocha, exceto muscovita, apatita, zircão, etc., considerados como félsicos (Johannsen, 1932), por serem minerais em que Fe e Mg não ocorrem ou não são constituintes essenciais (Raymond, 1995) ou, como colocou Le Maitre (1989), tais minerais seriam “considerados incolores para o propósito do índice de cor”.

Com base nos diagramas modais que definem o índice M' como um dos vértices para as proporções de Q, A, P (Fig. 5), o aspecto que mais chama a atenção entre os granitóides do maciço Piedade é o maior valor de M' para a unidade MBgd. As unidades MBmg e BmgT ocorrem em seguida, com valores intermediários, enquanto Bmgr exibe um menor valor de M', um aspecto já notado em campo devido ao baixo conteúdo em minerais máficos.

3.2.2.2. Muscovita - Biotita Granitos Porfíricos Marginais (MBgd e MBmg)

As unidades MBgd e MBmg encontram-se dispostas nas porções setentrional e sudeste do maciço Piedade, distribuindo-se segundo um arranjo semi-anelar. De um modo geral, distinguem-se das demais unidades devido ao caráter francamente porfírico e índices de cor elevados, com variação entre 8 e 14.

Os granitóides definidos como MBgd ocorrem a norte e nordeste do maciço, perfazendo uma área total de $\sim 6 \text{ km}^2$ em que aparecem na forma de faixas de pouca espessura (100 a 500 m) que se desdobram em ramificações (Fig. 4). Em alguns afloramentos de intensa alteração, próximos à cidade de Piedade, é visível a íntima relação dos granitóides com xistos e gnaisses migmatíticos encaixantes, formando corpos tabulares, de porte métrico, em disposição paralela e concordante com a foliação destes. São modalmente granodioritos a monzogranitos (Tabela 1, Fig. 5). Os megacristais de feldspato alcalino ($\sim 25 \%$ em volume) são normalmente euedrais (1 - 2 x 0,8 cm), isorientados, atingindo às vezes um formato ocelar ou mesmo

estirado, de acordo com a intensidade da foliação da rocha. Podem ser róseos em certos afloramentos e totalmente brancos em outros (Fotos 3 e 4, respectivamente), um aspecto não discriminado em mapa devido à distribuição aparentemente aleatória em que ocorrem. A matriz é média e praticamente isenta de feldspato róseo. O índice de cor é o mais alto do maciço, embora pareça ser ainda mais alto devido à marcante tonalidade acinzentada do quartzo. A presença de muscovita é raramente detectável a olho nu. Enclaves são pouco abundantes e nunca atingem dimensões maiores que alguns centímetros, em grande parte representados por glomérulos micáceos sem borda definida devido ao alto grau de assimilação e ao fato da biotita presente em MBgd e no enclave terem tamanho de grão similar. Mas raramente é possível encontrar enclaves microgranulares isolados, com aspecto subarredondado e que podem chegar a 20 cm de diâmetro.

A unidade MBmg está presente na forma de corpos descontínuos, assim como MBgd, e perfaz um total de 20 km² que se distribuem ao longo de praticamente toda a borda do maciço. São modalmente monzogranitos (Tabela 1 e Fig. 5) e apresentam bastante semelhança tanto na mineralogia quanto no aspecto textural em relação a MBgd (Fotos 5 e 6). De um modo geral, a diferença entre esta unidade e MBgd é a maior proporção de megacristais de feldspato alcalino (30 - 35 %) e o índice de cor menor (8 - 10). A passagem entre ambos parece transicional, como se observa em alguns afloramentos próximos à zona urbana da cidade de Piedade. Na separação entre MBgd e MBmg foram também úteis certas feições, como a largura relativamente maior e a cor em geral mais rosada de seus megacristais de feldspato alcalino, o aspecto menos cinzento do quartzo e a presença de feldspatos róseos na matriz. Em certos casos, muscovita pode ser mais facilmente observada. Um outro aspecto importante em MBmg é a presença comum de enclaves microgranulares elípticos decimétricos que podem atingir até 1 m, embora também ocorram glomérulos micáceos semelhantes aos de MBgd.

Foto 3 - Aspecto textural típico de rocha da unidade de Muscovita - Biotita Granodioritos a Monzogranitos Porfíricos (MBgd). Notar índice de cor relativamente alto (em torno de 12) e foliação de baixa intensidade dada pelo fraco alinhamento de megacristais eudrais de feldspato alcalino. Amostra PD490.

Foto 4 - Rocha pertencente à unidade de Muscovita - Biotita Granodioritos a Monzogranitos Porfíricos (MBgd), composta exclusivamente por feldspatos brancos, eudrais a subeudrais. Amostra PD489.

Foto 5 - Muscovita - biotita monzogranito porfirítico (MBmg) portando um enclave microgranular com concentração de biotita na porção de borda. Nota-se uma diminuição do índice de cor em relação à unidade MBgd. O feldspato alcalino ocorre como megacristais eudrais a subeudrais com bordas ocasionalmente intersticiais, já sendo mais comuns grãos desse mineral na matriz. Amostra PD491.

Foto 6 - Muscovita - biotita monzogranito porfirítico (MBmg) marcado por foliação dada pela orientação de biotitas e megacristais de feldspato alcalino, estes últimos geralmente maiores que aqueles presentes na unidade BMgd. Amostra PD406.

3.2.2.3. Hornblenda - Biotita Granodioritos Equigranulares (Hbgde)

Nas porções da borda externa tanto da unidade MBgd quanto de MBmg ocorrem eventualmente blocos de hornblenda - biotita granodioritos equigranulares (HBgde), que se destacam por uma coloração acinzentada dada por minerais máficos, com índice de cor entre 8 e 10, e pela cor acinzentada do quartzo, que ainda pode exibir estiramento sob intensa foliação. Segundo a disposição destes blocos, parecem constituir lentes pouco espessas de até 2 m e de comprimento que pode atingir 10 m. Apresentam semelhanças texturais com os enclaves presentes na unidade MBmg. Blocos de granitóides com texturas e composições similares também ocorrem junto à borda externa da faixa meridional de granitóides MBgd, porém apresentam maior conteúdo em minerais máficos e exibem glomérulos com 1 - 2 cm compostos por hornblenda, de caráter esparsos e com distribuição homogênea pela rocha.

3.2.2.4. Biotita Granitos Inequigranulares Róseos (Bmgr)

Localizados na porção intermediária entre a associação marginal composta por MBgd e MBmg acima descrita e os Biotita Monzogranitos com Titanita (BmgT), descritos a seguir, encontram-se os Biotita Granitos Inequigranulares Róseos (Bmgr). As rochas desta unidade tendem a apresentar foliação menos intensa que as demais. São modalmente monzogranitos a sienogranitos (Tabela 1 e Fig. 5). Ocorrem como dois corpos principais em arranjo elíptico que perfazem um total de 28 km², separados em grande extensão pela unidade BmgT, enquanto em suas bordas externas encontram-se circundados pela unidade MBmg, principalmente. Internamente, entretanto, esta unidade revela variação textural importante.

Foram discriminadas, porém não separadas em mapa, duas fácies texturalmente distintas. A primeira, mais abundante, é composta por rochas

inequigranulares de granulação média a grossa com megacristais esparsamente distribuídos e foliação pouco desenvolvida, um aspecto que contrasta com o de MBgd e MBmg (Foto 7). O índice de cor está ao redor de 6 - 7. Muscovita não é um mineral comumente observado nesta unidade, aparecendo somente nos termos em que a proporção de biotitas é um pouco maior. Uma segunda fácies, denominada subunidade Bmgr^b, é constituída por termos porfiríticos de granulação grossa (Foto 8), apresentando o índice de cor mais baixo (~ 3 - 5), com amplo predomínio de feldspatos alcalinos, rosados, que ocorrem tanto na forma de megacristais tabulares (2 - 3 x 1 cm), podendo apresentar bordas intersticiais, e que definem foliação por fluxo magmático, ou em grãos de variáveis dimensões na matriz, com bordas intersticiais irregulares. O plagioclásio apresenta-se em proporções mais baixas e é normalmente constituído por grãos de núcleos esbranquiçados, com bordas mais transparentes, que podem até mesmo se confundir com quartzo. A biotita ocorre como isoladas placas de granulação média, que se alojam nos interstícios de grandes grãos de quartzo intersticiais em contato com os cristais de feldspato alcalino.

3.2.2.5. Biotita Monzogranitos Porfiríticos com Titanita (BmgT)

Esta unidade ocorre em uma área alongada na direção NE-SW e ocupa ~ 30 km² no mapa geológico. Encontra-se na porção central do maciço, sendo circundada em grande parte pela unidade Bmgr e faz limite a sudoeste com os granitóides do maciço Serra da Bateia.

É constituída por monzogranitos (Tabela 1 e Fig. 5) porfiríticos de matriz média a grossa, com foliação pouco intensa (Foto 9). Os megacristais perfazem cerca de 25 a 30 % do volume da rocha e, localmente, a textura pode ter um aspecto porfiróide ou mesmo inequigranular, devido à granulação mais grossa da matriz. O índice de cor em torno de 8 - 9 é dado principalmente pela biotita, que tem hábito placóide bem destacado, sendo este um aspecto peculiar que contrasta de

Foto 7 - Aspecto textural típico de rocha da unidade de Biotita Granitos Inequigranulares Róseos (Bmgr). Revela-se um baixo índice de cor (6 - 7), predomínio de feldspato alcalino sobre o plagioclásio e foliação de baixa intensidade. Amostra PD451.

Foto 8 - Rocha da subunidade Bmgr^b, de ocorrência mais restrita dentro da unidade Bmgr. Constitui um monzo a sienogranito porfirítico de granulação grossa, baixo IC (3 - 5), com quartzo de aspecto intersticial, marcado por foliação de megacristais de feldspato alcalino rosados, euedrais. Amostra PD140.

maneira notável com as biotitas em finas placas presentes nas demais unidades do maciço Piedade. Esta feição textural auxiliou na discriminação de afloramentos muito alterados, onde era possível averiguar pelo menos a forma e tamanho de algumas biotitas residuais, que podem atingir 0,5 cm. O quartzo exibe-se com eminente transparência, sendo observável seu caráter intersticial em amostra de mão. Nos afloramentos mais frescos, um outro fator utilizado como discriminante para esta unidade é o contraste de cor entre feldspato alcalino (róseo) e plagioclásio (branco). Todos estes aspectos, que tornam os minerais presentes nestas rochas muito característicos, devem-se ao fato destas rochas provavelmente terem sofrido pouca recristalização; a foliação, dada pela orientação de megacristais, deve ser de origem magmática. Os enclaves desta unidade são do tipo microgranular, desenvolvendo dimensões centimétricas a decimétricas, geralmente menores que os presentes na unidade MBmg, principalmente.

3.2.2.6. Biotita Monzogranitos Inequigranulares Médios a Finos (Bmgf) e Biotita Monzogranitos Porfiróides Grossos (Bmgg)

As unidades Bmgf e Bmgg ocorrem associadas como parte de uma pequena intrusão circunscrita na porção NW do maciço Piedade, com área total de ~ 16 km².

A unidade Bmgf é formada por biotita monzogranitos inequigranulares médios a finos, róseos, pouco foliados a maciços, com índice de cor em torno de 6 e 7, foliados, e textura característica de aspecto subvulcânico (Foto 10). O quartzo subarredondado tem muitas vezes granulação maior que a matriz, assim como ocorre freqüentemente com o plagioclásio. O feldspato alcalino é normalmente menor que este último e fortemente rosado. Muscovita pode ocorrer, porém é fina e esparsa. Pequenos enclaves biotíticos ocorrem como glomérulos centimétricos dispersos.

Foto 9 - Aspecto textural de rocha da unidade Biotita Monzogranitos Porfíricos com Titanita (BmgT), com IC em torno de 8 - 9. Notar a presença de biotitas grossas, um aspecto textural de distinção em relação às demais unidades do maciço Piedade. A foliação, pouco intensa, é marcada pelo alinhamento de megacristais de feldspato alcalino eudrais a subeudrais. Amostra PD438.

Foto 10 - Afloramento constituinte da faixa da unidade de Biotita Monzogranitos Inequigranulares Médios a Finos (Bmgf), com IC ~ 6 - 7, apresentando textura subvulcânica maciça, com presença, embora pouco nítida, de cristais subarredondados de plagioclásio e quartzo. Ponto 998.

Já a unidade Bm_{gg} é constituída por biotita monzogranitos porfiróides grossos, com índice de cor entre 6 e 8. A sua fraca foliação mantém o caráter intersticial do quartzo, que também se destaca pelo tamanho de seus grãos que podem chegar a 1,5 cm. Muscovita ocorre freqüentemente e em abundância maior do que em Bm_{gf}. A unidade é heterogênea, um aspecto que pode ser verificado nos afloramentos através de bandas heterogêneas com índice de cor variável que é dado por uma mudança de concentração de biotita, desenvolvendo “schlieren”, em escala centimétrica, decimétrica, ou mesmo a nível de blocos (Foto 11).

3.2.2.7. Enclaves

Os enclaves presentes na unidade MB_{gd} são formados, em sua maioria, por pequenos glomérulos micáceos em estado de elevada assimilação pela rocha hospedeira. Apresentam dimensões de poucos centímetros, em formatos subarredondados, e suas bordas são irregulares e de caráter transicional para o granitóide circundante. São constituídos quase que exclusivamente por biotitas, de aspecto semelhante àsquelas presentes na matriz da rocha hospedeira, com granulação média a fina. Em algumas ocasiões, ocorrem enclaves microgranulares de composição quartzo diorítica, na forma de corpos subarredondados de aproximadamente 15 cm. Na zona urbana da cidade de Piedade ocorre um dique microgranular, aparentemente quartzo diorítico, de um pouco mais de 1 m de comprimento e 20 cm de largura subparalelo à foliação, sugerindo uma colocação sin-plutônica com o granitóide.

Na unidade MB_{mg} os enclaves quartzo dioríticos, de granulação média a fina, são os mais comuns, ocorrendo na forma de corpos elípticos que podem atingir cerca de 1 m. Apresentam bordas de 1 - 2 cm de espessura com granulação relativamente mais fina que a presente na porção central e contém freqüentes inclusões de quartzo subarredondado (“ocelli”) e megacristais de feldspato alcalino (Foto 12). Estes últimos são bastante semelhantes àquelles presentes na rocha hospedeira, de onde

Foto 11 - Bloco de granito porfiróide de granulação grossa (unidade Bmgg), com IC ~ 6 - 8. Na porção central da foto ocorre um dique de granitóides equigranulares róseos (IC ~ 3), exibindo foliação paralela aos contatos, dada por lâminas escuras tipo *schlieren*. Ponto 955.

Foto 12 - Enclave microgranular elíptico, quartzo monzodiorítico, dentro da unidade MBmg. Notar borda mais escura (~ 1 cm de espessura) dada por concentração de biotita. Megacristais de feldspato alcalino ocorrem nas porções de borda, apresentando semelhanças com aqueles do granito envolvente, embora menores. Ponto 1153.

podem ter sido derivados, embora ocorram com tamanho relativamente menor, um possível indicativo de que a assimilação tenha ocorrido antes da precipitação completa destes no magma MBmg (cf., por exemplo, Vernon, 1990).

As observações de campo sugerem que enclaves microgranulares em MBgd e MBmg refletem a incorporação de magmas relativamente mais máficos pelos granitóides e que a sua cristalização se deu concomitante a uma fusão granítica parcialmente cristalizada, como indicado pela presença dos megacristais de quartzo e feldspato alcalino nos enclaves. Já os glomérulos micáceos são passíveis de diferentes interpretações, podendo representar tanto uma assimilação em estágio mais avançado dos enclaves microgranulares, como constituir xenólitos de rochas xistosas.

A unidade Bmgr é bastante heterogênea no conteúdo de enclaves. Em muitos casos, estes são praticamente ausentes, mas ocorrem abundantemente em certos afloramentos, havendo uma maior proporção de enclaves sobre a rocha hospedeira, desenvolvendo verdadeiros “enxames” (Foto 13). No ponto 1261, estes granitos exibem porções máficas, ricas em biotita, como finas lentes (de alguns milímetros a poucos centímetros), desenvolvendo foliação plano paralela de contatos gradativos, de baixo ângulo de mergulho. Em 424 ocorrem feições que, à primeira vista, parecem rochas gnáissicas migmatíticas, estromatíticas, semelhantes àquelas presentes em rochas encaixantes na zona urbana de Piedade (ponto 14), desenvolvendo porções alongadas milimétricas a centimétricas quartzo - feldspáticas que se alternam a lâminas mais finas, compostas por minerais escuros (Foto 14). Pitcher (1993) discute e ilustra aspectos semelhantes aos observados acima, sugerindo que tais feições podem ser “comumente um aspecto de zonas de contato, associados freqüentemente a mergulhos pronunciados, ou mesmo verticais e, em alguns casos, em situações de teto, onde schlieren podem desenvolver sobre um domo”, e conclui com as observações de Cloos (1925, 1936, 1941, *apud* Pitcher, 1993) e Balk (1937, *apud* Pitcher, 1993) sobre feições desta natureza que “não somente estavam os minerais máficos alinhados paralelamente à superfície de acamamento, mas também que as bandas tinham sido

Foto 13 - Afloramento em lajedo, exibindo uma alta densidade de enclaves elípticos microgranulares (“enxame de diques”) junto a granitos da unidade Bmgr, desenvolvendo alongamento segundo a foliação da rocha hospedeira. Ponto 425.

Foto 14 - Paredão vertical constituído por rocha de aspecto bandado dado por lâminas milimétricas a centimétricas ricas em minerais escuros, alternadas por faixas quartzo - feldspáticas hololeucocráticas. Ponto 424.

afinadas por estiramento. Possivelmente, a própria distensão poderia ter provocado um cisalhamento suficiente para promover tal variação”.

Enclaves podem ser encontrados de forma comum na unidade BmgT e desenvolvem formatos elípticos, com dimensões de porte centimétrico a decimétrico. São exclusivamente do tipo microgranular quartzo diorítico, portando inclusões de quartzo ocelar e feldspato alcalino, semelhantemente ao que ocorre com as unidades MBgd e MBmg, porém com menor grau de assimilação. Casos de glomérulos biotíticos podem ocorrer esporadicamente, possivelmente associados a um maior alto grau de assimilação dos enclaves microgranulares.

3.2.3. Granitóides vizinhos ao maciço Piedade

3.2.3.1. Hornblenda - Biotita Granodioritos a Quartzo Monzonitos Porfiríticos (HBgd)

Na porção leste do mapa geológico aflora o extremo ocidental do maciço Ibiúna, identificado como unidade HBgd, que circunda em aspecto de meia-lua, tanto rochas granitóides quanto as encaixantes descritas acima. Corresponde ao "tipo Ibiúna" de Janasi *et al.* (1990), que seriam rochas semelhantes aos gnaisses Butantã (Coutinho, 1972) ou Santa Isabel (Campos Neto *et al.*, 1983), porém com foliação tipicamente menos intensa ou mesmo ausente.

É constituída por hornblenda - biotita granodioritos a quartzo monzonitos porfiríticos com grandes megacristais retangulares de feldspato alcalino róseo (em média 4 x 2 cm), em matriz de granulação média. O índice de cor está em torno de 15, dado pelo grande conteúdo de biotita, seguida pela hornblenda. As recristalizações nas bordas de megacristais são bastante comuns; nas rochas mais foliadas, o quartzo é freqüentemente estirado, definindo texturas protomiloníticas. Próximo ao contato com as encaixantes, o tamanho dos megacristais de feldspato

alcalino é relativamente menor, em ocelos de 2 x 1 cm, definindo uma fácies de borda que não aparece discriminada como uma unidade no mapa.

Esta unidade não apresenta contato direto com as rochas do maciço Piedade, sendo separada destas pelos metamorfitos do complexo Embu ou pelos granitóides equi-inequigranulares MBmge da porção sudeste do maciço. É comum nesses granitóides a presença de enclaves máficos, microgranulares, com formatos elípticos e de porte decimétrico.

3.2.3.2. Muscovita - Biotita Monzogranitos Equigranulares (MBmge)

Amplamente distribuída tanto nas áreas de predomínio das unidades do maciço como em meio às rochas encaixantes, na forma de veios e diques de dimensões variáveis, está a unidade composta por muscovita - biotita monzogranitos equigranulares médios, localmente inequigranulares médios a grossos (MBmge). Ocorrem também como um corpo alongado que se dispõe no contato entre as unidades HBgd e MBmg na porção sudeste e um outro de aspecto elíptico a NNW do maciço, invadindo rochas da unidade MBgd.

Os termos de caráter mais equigranular, hololeucocráticos, são os mais comuns, com predomínio de feldspatos róseos e índice de cor entre 3 e 5. Mais raramente, contêm muscovita como a única mica.

Nas rochas inequigranulares, o índice de cor é ligeiramente mais alto, atingindo um máximo ao redor de 6 - 7; muscovita, embora comum, tem abundância menor em relação às fácies equigranulares.

Os granitos desta unidade são heterogêneos, com foliação de intensidade variável, podendo até mesmo apresentar-se maciços.

3.2.3.3. Granitos tipo Serra dos Lopes (MBmgi)

Segundo Hasui (1973), na região próxima à cidade de Pilar do Sul distinguem-se dois maciços com características similares, porém intrusivos em terrenos com diferentes contextos geológicos: Maciço de Pilar do Sul, intrusivo em epimetamorfitos e xistos a leste da cidade homônima; e o Maciço da Serra dos Lopes, intrusivo no "Complexo Piedade". Stein (1984) julgou serem estes dois maciços representantes de um único corpo, denominado Maciço Pilar do Sul. Entretanto, Janasi *et al.* (1990) mantiveram a separação em dois maciços proposta por Hasui (1973), tomando como base a presença de "septos" de rochas supracrustais pertencentes ao Complexo Embu que os separariam (Fig. 3).

O Maciço Serra dos Lopes, correspondendo a uma intrusão aproximadamente circular com 70 km², é constituído por granitos porfiríticos marginais a E e outra inequigranular, ocupando sua porção centro-oeste. Os monzogranitos porfiríticos marginais, anteriormente designados como " fácies Sarapuí" (pertencente ao tipo Piedade, segundo Janasi *et al.*, 1990), distinguem-se pelo seu baixo índice de cor (4 - 5) e pela presença destacada de megacrístais tabulares (2 - 3 cm) de feldspato alcalino róseo-alaranjado, isorientados, definindo foliação de fluxo magmático. A rocha tem matriz média a grossa, com destaque para grandes grãos de quartzo (0,5 - 1,0 cm); muscovita (0,3 - 0,5 cm) placóide é relativamente abundante.

Os monzogranitos inequigranulares (MBmgi) ocorrem na porção centro-oeste do maciço Serra dos Lopes e também como corpos isolados para além dos limites deste, como nas adjacências do maciço Piedade (cf. extremidade W do Mapa Geológico). Têm granulação média, com foliação de intensidade variável e índice de cor em torno de 6 - 7. O feldspato alcalino róseo pode se destacar um pouco (0,4 - 1,0 cm), enquanto plagioclásio, quartzo e biotita têm dimensões médias de 0,2 cm. Muscovita é também constituinte comum da matriz destes granitóides.

3.2.3.4. Granitos tipo Serra da Bateia (Bsg) e rochas associadas (Bsgf e HBqmz)

Ocorrendo na extremidade SW do maciço Piedade, a unidade Bsg corresponde aos granitos tipo Serra da Bateia, inicialmente descritos por Stein (1984).

Trata-se de biotita sienogranitos com elevada proporção de megacristais de feldspato alcalino (40 - 50 %) tabulares (2 - 3 x 1 cm), em marcante foliação por fluxo magmático. O índice de cor ocorre em torno de 7 - 8. Em suas porções marginais a foliação é ainda mais intensa, apresentando rotação e recristalização de bordas de megacristais de feldspato alcalino e intenso estiramento de quartzo. Nas porções centrais, embora se mantenha uma forte orientação dos megacristais, estes são retangulares e definem uma marcante foliação por fluxo magmático. A orientação destas feições reflete a própria forma do maciço, bastante alongado segundo N60E, com extensão mínima de 45 km e largura média em torno de 3 - 4 km (Janasi *et al.*, 1990), definindo na topografia a chamada Serra da Bateia (Stein, 1984). Em muitos afloramentos são vistos enclaves microgranulares, em geral graníticos, formando corpos elípticos com 20 - 30 cm, contendo inclusões de quartzo subarredondadas e megacristais de feldspato alcalino retangulares semelhantes ao da rocha hospedeira.

A unidade Bsgf ocorre ao longo da borda NW do maciço Serra da Bateia e é composta por biotita monzogranitos a sienogranitos equi-inequigranulares róseos com granulação média a grossa, IC entre 7 e 8 e intensamente foliados, apresentando quartzo estirado, feldspatos com bordas arredondadas e enclaves microgranulares alongados ao longo da foliação.

Na borda E da unidade Bsg ocorre a unidade designada de HBqmz, correspondente a hornblenda - biotita quartzo monzonitos equigranulares, maciços, com índice de cor ao redor de 10 - 12. Encontra-se alterada em sua área de

exposição, dispondo-se ao longo da ampla várzea do Rio Sarapuí, bastante alagadiça, onde praticamente não há afloramentos. São muito poucos aqueles de aspecto mais fresco (e.g. ponto 1504). Em 1507 esta rocha ocorre com esparsos megacristais de caráter tabular semelhante aos presentes na unidade Bsg, e lembra os enclaves mais máficos presentes na unidade Bsg.

3.2.4. O Corpo Alcalino de Piedade (K α 1c)

Na porção centro-sul da área encontra-se um pequeno corpo delineado na margem direita do rio Sarapuí, com área estimada em 1,2 km², que seria correspondente ao limite de ocorrência das rochas alcalinas descobertas por Knecht (1960). Apesar de trabalhos de campo intensivos, não foram encontradas rochas alcalinas frescas, mas apenas indícios indiretos da presença da intrusão. Crostas limoníticas acamadadas segundo bandas de poucos milímetros, de coloração ferruginosa, com graus variáveis de silicificação, ocorrem na forma de blocos dispersos por sobre o morro, localmente conhecido como “Morro do Ferro”, ou mesmo como “Morro da Coroa” (Felicíssimo Jr., 1968). Ao longo de sua encosta, encontram-se ainda antigos furos de sondagem de 1,5 m de diâmetro, já soterrados, onde é possível observar as limonitas “in situ”. Localmente ocorrem isolados blocos de quartzo branco, de dimensões menores que 1 m, ou limonitas de caráter maciço.

Segundo Knecht (1960), as rochas originais, que ele pôde encontrar em campo, tiveram a sua petrografia estudada por Plínio de Lima nesse mesmo trabalho, e foram designadas “shonkinito pórfiro”. Devido a semelhanças macroscópicas, Knecht associou geneticamente estas rochas às alcalinas de Ipanema (SP) estudadas por Leinz (1940).

Amaral *et al.* (1967) dataram as ocorrências em Ipanema e uma única amostra em Piedade através do método K-Ar em biotitas, obtendo a idade de

123 e 122 Ma, respectivamente, confirmando a conclusão de Knecht (1960). Quanto à forma desta ocorrência, embora Amaral *et al.* (1967) afirmem tratar-se de “pequenos diques”, Felicíssimo Jr. (1968) sugere “uma intrusão alcalina de forma elíptica”, sendo esta última a forma sugerida também pelo presente trabalho, com base na área de ocorrência das rochas limoníticas.

As relações de contato entre rochas alcalinas e granitóides não puderam ser observadas, porém em dois afloramentos bastante alterados foram detectadas feições possivelmente associadas à intrusão de rochas alcalinas. No ponto 470 existem rochas granitóides bastante brechadas junto a rochas maciças, finas, de coloração cinza, ricas em biotita, com freqüentes inclusões de quartzo, além de megacristais de feldspato alcalino euedrais, circundados por auréolas claras, na alteração. Alguns corpos tabulares, decimétricos, destas últimas aparecem invadindo e truncando a foliação do granito. No ponto 1398 ocorrem pequenos blocos um pouco mais frescos de granitos porfiríticos semelhantes aos encontrados no ponto anterior, com índice de cor em torno de 8 e biotitas placóides, pertencentes à unidade BmgT. No barranco em frente a esta ocorrência, o solo saprolítico apresenta as rochas acinzentadas, neste caso mais porfiríticas, exibindo xenólitos do granito BmgT.

3.3. RELAÇÕES DE CONTATO

3.3.1. Critérios para o estabelecimento de relações de contato

As relações de contato entre as associações descritas são freqüentemente mascaradas pela forte ação intempérica, porém vários fatores foram fundamentais na definição dos limites entre as unidades. Em primeiro lugar está logicamente a constatação em campo de escassas feições intrusivas como importantes fatores na discriminação das relações de idade e como evidência da presença de pelo menos duas unidades litológicas distintas em contatos abruptos. De fato, poucos são os

casos em que se observaram xenólitos, sendo mais comuns, porém pouco freqüentes, os casos em que há limite litológico brusco através de diques, veios ou truncamentos irregulares, dando-se a quebra de continuidade da foliação de uma das unidades presentes. Já nos contatos entre granitóides e as rochas encaixantes a relação de contato é mais complexa, havendo casos em que o granito aparece invadindo concordantemente, sendo esta a disposição com que geralmente se encontram os granitóides MBgd.

Alguns contatos foram inferidos em laboratório, como aqueles que identificam diferenças paragenéticas entre as associações peraluminosas (MBgd e MBmg), nas quais muscovita e monazita ocorrem como minerais primários, e aquelas metaluminosas (BmgT), em que aparecem titanita e allanita. Assim, no momento em que as evidências texturais de campo não eram suficientes na discriminação de fácies, fez-se necessário a análise em lâmina delgada para a verificação de suas afinidades paragenéticas, o que acabou por exercer papel fundamental na disposição não de um contato litológico, com evidências de campo, mas de um limite máximo para as ocorrências de cada associação.

3.3.2. Contatos entre granitóides e rochas encaixantes

Nas extremidades N e NE do maciço Piedade, junto à zona urbana de Piedade, os contatos de granitóides MBgd são concordantes a subconcordantes com a foliação de xistos e gnaisses migmatíticos pertencentes ao Complexo Embu, definindo intrusões laminares. No ponto 399, o solo saprolítico preserva estruturas de pegmatitos associados a granitóides inequigranulares de baixo índice de cor que invadem termos porfiríticos com índice de cor em torno de 10 (MBgd?). Estes últimos estão intercalados, como corpos tabulares, à foliação de xistos e gnaisses migmatíticos, que podem conter alguns pequenos "boudins" ricos em anfibólio e com esparsa disposição de granadas milimétricas de formato granular. Na

parte interna do maciço existem pequenos corpos laminares ou tetos pendentes isolados de rochas metamórficas encaixantes que se encontram na zona de contato entre unidades (e.g. pontos 1095 e 464) e também internamente à unidade Bmgr (ponto 1281). Existem ainda outras ocorrências que circundam o maciço (ponto 174), no contato entre MBmge e HBgd (pontos 176 e 1375) ou mesmo “ilhadas” em MBmge. No ponto 1262 estas encaixantes ocorrem como tetos pendentes em granitos de índice de cor relativamente baixo (Foto 1).

3.3.3. Relações de contato entre as unidades do maciço Piedade

A unidade MBgd ocorre na forma de lâminas concordantes com espessura variável de 100 a 600 m e pode apresentar variações texturais que mostram alinhamentos constituídos por agregados de megacristais de feldspato alcalino em alternância com porções mais finas (Foto 15). Normalmente próximas e de disposição paralela às ocorrências de rochas encaixantes, estas feições cumuláticas podem sugerir uma cristalização induzida por dissipação de calor junto ao contato com rochas mais frias (“sidewall accretion”, segundo Pitcher, 1993).

Os contatos entre MBgd e MBmg parecem ser sempre transicionais, pois os dois tipos são textural e mineralogicamente semelhantes, embora possuam diferentes índices de cor (M 8 - 10 em MBmg e 10 - 14 em MBgd). Não se observou nenhuma relação intrusiva entre estas unidades.

Já entre a associação marginal MBmg e Bmgr os contatos são abruptos, como é visto no ponto 421, onde existem matacões que exibem granitóides MBmg com foliação bastante pronunciada (protomilonítica) sendo truncada, em contato subretilíneo, por granitóides Bmgr. Nos pontos 1269 e 1278 ocorrem relações semelhantes entre MBgd e Bmgr, porém de truncamentos mais irregulares, abaulados,

não havendo uma foliação tão pronunciada dos termos porfíricos quanto a mencionada anteriormente.

As relações de contato entre Bmgr e BmgT não foram observadas. Em alguns afloramentos é possível observar a presença de blocos das duas unidades (pontos 457 e 1309), não sendo constatado a presença de relações intrusivas. Em áreas de poucos afloramentos, fez-se necessário a análise de rochas alteradas em lâmina delgada para a discriminação entre estas unidades.

Na porção NW do maciço encontra-se a pequena intrusão circunscrita de granitóides que, embora contenham faixas de unidade MBmg, estão separadas das ocorrências do maciço Piedade, por septos de rochas encaixantes a NE. As relações com as unidades do maciço Piedade ainda não estão claras, não sendo possível estabelecer uma precisa sucessão dos eventos. No entanto, as relações mostradas no Mapa Geológico sugerem um truncamento posterior pelas rochas correlatas ao maciço Serra dos Lopes (MBmgi). Internamente, a disposição das finas faixas marginais a NE ocorre através de limites de blocos (ponto 1000); entretanto, foi possível verificar relações intrusivas em um único bloco alterado, em qual Bmgf ocorre portando blocos angulosos, decimétricos, de MBmg (ponto 1011). A porção central, constituída por Bmgi, é provavelmente o último pulso, embora seja a mais pobre em afloramentos e não apresente relações de contato visíveis.

Em resumo, no que diz respeito às unidades principais do maciço Piedade, parece existir passagem gradacional entre MBgd e MBmg, que são invadidas por Bmgr. A unidade BmgT constitui o “núcleo” do maciço, com foliação e aspecto alongado do corpo principal segundo NE-SW que não é refletido pela unidade adjacente Bmgr. Esta, em geral, pouco foliada e de baixo conteúdo em máficos, é possivelmente a unidade mais jovem do maciço, ao lado de outras fácies igualmente diferenciadas (Bmgf e Bmgi).

3.3.4. Contatos entre o maciço Piedade e outras unidades granitóides

A unidade HBgd não faz contato direto com as unidades do maciço Piedade, não tendo sido observadas nem mesmo as suas relações com as rochas encaixantes. Apenas no ponto 1525 é possível observar blocos da unidade MBmge ao lado HBgd. Seus afloramentos surgem nas porções mais elevadas da região, atingindo altitudes acima de 1200 m a SE, ao longo da Serra da Queimada.

Os granitos equigranulares MBmge aparecem em vários locais junto ao maciço Piedade, na forma de diques ou pequenos veios que truncam discordantemente a foliação das suas rochas. Em função disto, optou-se por registrar no mapa geológico as diversas ocorrências isoladas de MBmge, assim como alguns corpos mapeáveis nas porções de borda do maciço. Como exemplo destas ocorrências, no ponto 893 um dique de MBmge aparece contendo um xenólito anguloso de MBgd (Foto 16). Um pouco adiante (ponto 894) um outro dique atinge ~ 2 m de espessura e pelo menos 4 m de comprimento, invadindo MBgd.

A unidade MBmgi, associada ao maciço Serra dos Lopes, ocorre na porção NW, porém não foram observadas relações diretas com as unidades do maciço Piedade. No ponto 961 ocorrem blocos de termos porfíricos de MBmg ao lado de outros de MBmgi.

O maciço Serra da Bateia (Bsg), que define uma serra de notável destaque na topografia, apresenta sua extremidade NE em contato com o maciço Piedade através das unidades de borda Bsgf e HBqmz. O grau de intemperismo muito acentuado não permite a verificação das relações de contato. Os granitóides HBqmz se dispõem de forma bifurcada, formando um ramo na porção a nordeste do maciço Serra da Bateia, incluindo a unidade Bsgf, e que se dispõe no contato entre as unidades Bmgr e BmgT, e outro a leste, sugerindo uma invasão sobre a unidade Bmgr; a sudeste, os granitóides Bsg fazem contato direto com o maciço Piedade, provavelmente invadindo

Foto 15 - Lajedo com granitóides porfíricos MBgd contendo agregados alongados e pouco espessos de megacristais eudrais de feldspato alcalino que ocorrem alternados a termos mais equigranulares semelhantes à matriz do granitóide circundante. Ponto 894.

Foto 16 - Dique de granito equigranular MBmge, neste caso apresentando muscovita como a única mica, truncando e envolvendo fragmento de granitóide porfírico (MBgd). Ponto 893.

as porções terminais, afinadas, das unidades MBmg e Mbmge. O aspecto bifurcado com que se apresenta o maciço Serra da Bateia foi um importante condicionante para a disposição do sistema fluvial nesse domínio, onde encontra-se o rio Sarapuí.

CAPÍTULO 4

PETROGRAFIA MICROSCÓPICA

4.1. XISTOS E GNAISSES MIGMATÍTICOS

Estas rochas estão em geral muito alteradas, um aspecto que torna difícil a obtenção de lâminas delgadas. As poucas amostras analisadas, entretanto, foram obtidas a partir de rochas residuais xistosas, compostas essencialmente por **quartzo** e **biotita**. A biotita tem pleocroísmo que varia entre tonalidades claras de verde-amarronzado a bege, uma variação bem mais suave do que a presente nos granitóides. Quartzo é o segundo mineral em abundância, geralmente em grãos com 0,1 mm. provenientes da recristalização de lentes que podem atingir 2,5 mm. **Apatita** aparece comumente na forma de inclusões na biotita ou como pequenos grãos subarredondados.

A análise microscópica das rochas **calciossilicáticas**, que ocorrem subordinadas como lentes em meio aos xistos, revelam que estas encontram-se silicificadas, desenvolvendo uma trama granoblástica composta essencialmente por **quartzo**, em grãos de contatos bastante irregulares que atingem 0,3 - 0,5 mm em média, perfazendo em torno de 85 % da rocha. Minerais do grupo do **epidoto** e **clorita** ocorrem em seguida, entre 8 - 10 %, e apresentam hábitos geralmente xenomórficos. **Granadas** (0,2 - 0,5 mm) apresentam-se como grãos de formatos irregulares a subarredondados, ocorrendo tanto isolados como em agregados. Alguns cristais de **plagioclásio** (An 25) ocorrem esparsamente distribuídos e contém praticamente as mesmas dimensões, tonalidades e forma do quartzo, sendo, entretanto, distintos pela presença da geminação da albita. Grãos de **minerais opacos** xenomórficos são comuns, mas de caráter bastante disperso.

4.2. O MACIÇO PIEDADE

Uma síntese das principais características petrográficas referentes aos granitóides do maciço Piedade encontra-se na tabela 2.

4.2.1. Muscovita - Biotita Granitos Porfiríticos Marginais (MBgd e MBmg)

As rochas desta associação de fácies, representada pelas unidades **MBgd** e **BMmg**, com os maiores índices de cor do maciço (entre 8 e 14), apresentam como aspecto microscópico distinto das demais a presença de muscovita primária e monazita. A foliação destas rochas, a mais intensa do maciço Piedade, é facilmente discernível ao microscópio óptico devido à existência comum de minerais micáceos que se associam na forma de agregados em “cordões” que chegam a cruzar a lâmina delgada. A matriz, de granulação média nos termos granodioríticos e relativamente mais grossa nos monzogranitos, é composta por plagioclásio, quartzo, biotita e menores quantidades de muscovita, além de opacos, apatita, zircão e monazita.

O **plagioclásio** (2,0 - 5,0 mm) apresenta teores de An entre 26 e 29; composições mais cálcicas em grãos de PD419 atingem An 33 - 35, embora conjuntamente ocorram grãos com An 24 - 25. As geminações segundo as leis da Albita e Carlsbad são as mais freqüentes. Os grãos exibem núcleos freqüentemente saussuritizados e bordas mais límpidas em zoneamento normal. Finas mirmequitas desenvolvem-se no contato com feldspato potássico, formando gotículas de quartzo em disposição irregular ou radial. As inclusões mais comuns são de biotitas placóides e magnetitas.

O **feldspato alcalino** (0,8 - 2,0 cm) apresenta-se na forma de megacristais subidiomórficos, sendo comum o arredondamento das arestas do grão, proporcional à intensidade da foliação. Em casos extremos mostram-se estirados e com

Tabela 2 - Síntese petrográfica para as unidades granitóides do maciço Piedade (SP)

<u>Unidade</u>	<u>Composição</u>	<u>Índice de cor</u>	<u>Aspectos texturais e estruturas associadas</u>	<u>Minerais principais</u>	<u>Minerais acessórios</u>
MBgd	monzogranito, granodiorito	10 - 14	porfirítica, foliada, c/ megacristais de feldspato alcalino (1 - 2 x 1 cm), subeudrais a eudrais	plagioclásio (An 26 - 29; 33 - 35), feldspato alcalino, quartzo, biotita, <u>muscovita</u>	opacos, apatita, zircão, <u>monazita</u>
MBmg	monzogranito	8 - 10	porfirítica, foliada, c/ megacristais de feldspato alcalino (1 - 3 x 1,5 cm) subeudrais a eudrais	plagioclásio (An 26 - 29), feldspato alcalino, quartzo, biotita, <u>muscovita</u>	opacos, apatita, zircão, <u>monazita</u>
HBgde	granodiorito	8 - 10	equigranular, foliada, coloração cinzenta	plagioclásio (An 27 - 30), feldspato alcalino, quartzo, biotita, <u>hornblenda</u>	opacos, apatita, zircão, <u>titanita</u> , <u>allanita</u> , <u>epidoto</u>
Bmgr	monzogranito, sienogranito	6 - 7	inequigranular média a grossa, subordinadamente porfirítica, pouco foliada; coloração rósea	plagioclásio (An 22 - 26), feldspato alcalino, quartzo, biotita, ± <u>muscovita</u>	opacos, apatita, zircão
BmgT	monzogranito	8 - 9	porfirítica, pouco foliada, com megacristais de feldspato alcalino (1 - 2,5 cm) subeudrais a eudrais; destaque para biotita grossa	plagioclásio (An 25 - 27), feldspato alcalino, quartzo, biotita	opacos, apatita, zircão, <u>titanita</u> , <u>allanita</u>
Bmgf	monzogranito	6 - 7	inequigranular média a fina, com textura subvulcânica; quartzo subarredondado e plagioclásio em geral maior que feldspato alcalino, pouco foliada	plagioclásio (An 25 - 27), feldspato alcalino, quartzo, biotita, ± <u>muscovita</u>	opacos, apatita, zircão
Bmgg	monzogranito	6 - 8	porfíroide grossa, grandes cristais de quartzo, pouco foliada	plagioclásio (An 24 - 26), feldspato alcalino, quartzo, biotita, <u>muscovita</u>	opacos, apatita, zircão, <u>monazita</u>

recristalização em suas extremidades. São normalmente pertíticos e exibem geminação Carlsbad; incluem biotita e plagioclásio, este último com borda de reação onde há desenvolvimento de mirmequitas ou uma franja de quartzo. As pertitas são finas e se distribuem por todo o grão. Grãos relativamente menores são de aspecto mais xenomórfico, normalmente com geminação em grade, e revelam caráter intersticial nas amostras menos foliadas.

O **quartzo** (0,2 - 5 mm), límpido, é intersticial quando bem preservado e exibe forte extinção ondulante nos maiores grãos; um forte estiramento também pode ocorrer em amostras mais foliadas. Os grãos menores, por sua vez, desenvolvem textura granoblástica nas porções mais recristalizadas e extinção ondulante fraca a ausente.

A **biotita** (1,0 - 4,0 mm) forma "cordões" de minerais micáceos, em associação com a muscovita, e preenche contornos entre grãos de quartzo e feldspatos. O pleocroísmo é normalmente verde acastanhado a bege, entretanto em lâminas de rochas compostas unicamente por feldspato alcalino branco (PD17, 240, 490) é variável entre marrom-avermelhado e castanho escuro. Como inclusões pode apresentar apatita, zircão (algumas vezes abundante) e monazita. Em muitas lâminas é possível observar claramente o caráter primário da **muscovita**, em grande parte idiomórfica e inclusa na biotita (Fotomicrografia 1).

Entre os minerais acessórios, **monazita** é freqüentemente observada nas lâminas desta unidade e apresenta forma subarredondada (Fotomicrografia 2). **Apatita** é prismática, denunciada pelos cortes hexagonais de baixa birrefringência; nos termos com biotitas marrom-avermelhadas é geralmente mais abundante e pode atingir 1,5 mm. **Zircão**, também prismático, ocorre normalmente zonado e desenvolve halo pleocróico quando incluso na biotita; nos casos em que ocorre incluso no quartzo, o cristal de zircão

Fotomicrografia 1 - Muscovitas placóides (incolores) incluídas por agregados de biotitas, em diferentes tonalidades de verde. Estas últimas ainda incluem pequenos grãos de apatita (seções subarredondadas), além de minúsculos cristais de zircão, denunciados pelo halo pleocróico na biotita (pequenas manchas amarronzadas). Lâmina PD1267, unidade MBgd. Nícois paralelos. O lado menor da foto corresponde a 1,85 mm.

Fotomicrografia 2 - Monazita subarredondada (porção superior esquerda) junto a cristais de plagioclásio saussuritizados e muscovitas placóides parcialmente inclusas em biotita. Nota-se uma fina franja acastanhada sobre a monazita, possivelmente constituída por agregados de allanita xenomórficas, um aspecto bastante comum nestas rochas. À direita da foto ocorre um grão elíptico de mineral opaco como inclusão em biotita. Lâmina PD1267, unidade MBgd. Nícois paralelos. O lado menor da foto corresponde a 1,85 mm.

desenvolve dimensões maiores que o presente na biotita. A maioria dos **minerais opacos**, além de parte das muscovitas, aparece substituindo a biotita ao longo de suas direções de clivagens e exibe hábito normalmente xenomórfico, embora possa ocorrer alongado (ilmenita?); em algumas lâminas aparecem opacos idiomórficos em cortes sugestivos de serem octaedros (magnetita).

4.2.2. Hornblenda - Biotita Granodioritos Equigranulares (HBgde)

A unidade HBgde é caracterizada por termos equigranulares finos, com índice de cor entre 8 e 10. Em lâmina delgada apresentam abundância em minerais acessórios, sendo marcante o alto conteúdo em titanitas, além de apatitas e minerais opacos.

O **plagioclásio** (An 27 - 30) ocorre freqüentemente como grãos de 1 - 2 mm, com núcleos saussuritizados que mascaram a geminação da albita, sendo possível apresentar desenvolvimento de bordas límpidas, albíticas, de caráter algo intersticial.

O **feldspato alcalino** ocorre como grãos em caráter esparsos, podendo atingir dimensões ligeiramente maiores do que o plagioclásio. Apenas a geminação em grade foi observada, com variável grau de desenvolvimento. Suas bordas são geralmente irregulares, algumas vezes preservando alguma borda retilínea. Pertitas são pouco abundantes.

A **biotita** (0,5 - 1,5 mm) é caracteristicamente placóide e apresenta-se com pleocroísmo verde escuro a bege esverdeado. Menos freqüentes são aquelas de aspecto xenomórfico, que ocorrem isoladas ou junto a grãos de hornblenda, aparentando

substituí-los. A **hornblenda** ocorre como grãos xenomórficos, geralmente com dimensões menores que 1 mm, apresentando pleocroísmo verde escuro a verde amarronzado claro.

O **quartzo** (0,1 - 1,5 mm) é de aspecto irregular, preservando pouco o caráter intersticial. Extinção ondulante ocorre com variável intensidade, sendo melhor observada nos maiores grãos.

Entre os minerais acessórios, a **titanita** é mais abundante, com hábito subidiomórfico a xenomórfico, pleocróica segundo variação de tonalidades castanhas, e zonada conforme a presença de bordas mais claras que o núcleo; pode ocorrer em parte intersticial à biotita. **Apatita** apresenta-se como grãos prismáticos espessos, principalmente na forma de inclusões em biotita, ou aciculares, normalmente como inclusão no quartzo. **Zircão** é denunciado pelo halo pleocróico na biotita, desenvolvendo hábito prismático, porém não é um mineral abundante. Os **minerais opacos** ocorrem em agregados máficos e são marcantes por preservarem um hábito equidimensional com certo arredondamento. Alguma **allanita** xenomórfica pode ocorrer, mas é pouco comum. **Epidoto** ocorre geralmente como agregados xenomórficos, com pleocroísmo que varia de verde bem claro a incolor, embora alguns casos denunciem um hábito prismático em grãos inclusos na biotita (Fotomicrografia 3); na lâmina PD1152 ocorre na maioria das vezes como cristais prismáticas envolvendo núcleos de allanita (Fotomicrografia 4); quando observados com nicois cruzados, estes sobrecrecimentos de epidoto geralmente apresentam ângulo de extinção discordante do apresentado pelo núcleo de allanita..

4.2.3. Biotita Granitos Inequigranulares Róseos (Bmgr)

A unidade Bmgr é constituída por granitóides geralmente inequigranulares, subordinadamente porfiríticos, que apresentam índice de cor variável

Fotomicrografia 3 - Epidoto prismático (cor verde limão, centro da foto) incluído em biotita de bordas irregulares. Apatita ocorre na forma de pequenos grãos de aspecto retangular dentro de plagioclásio (porções inferior e direita), assim como em grãos de maiores dimensões quando incluídos em biotita (porção inferior esquerda). Lâmina PD1514, unidade HBgde. Nícois paralelos. O lado menor da foto corresponde a 0,92 mm

Fotomicrografia 4 - Agregado poliminerálico, com destaque para cristais de epidoto prismáticos com núcleos de allanitas zonadas (à direita). O epidoto ainda envolve cristais subidiomórficos de titanita ao longo de sua cristalização, que só é finalizada com a sua inclusão pela biotita. À esquerda da foto, titanita encontra-se melhor desenvolvida, como inclusão idiomórfica em biotita. Lâmina PD1152, unidade HBgde. Nícois paralelos. O lado menor da foto corresponde a 1,85 mm.

entre 3 e 7. A relativa escassez de minerais acessórios e o baixo conteúdo em máficos indicam serem estes os termos mais diferenciados dentre as unidades do maciço. A foliação é, em geral, menos intensa entre as presentes nas demais unidades.

O **plagioclásio** (An 22 - 26) é subidiomórfico, com tamanho entre 1 - 5 mm. Geralmente é menos saussuritizado do que aquele de outras unidades. A geminação ocorre segundo a lei da albita. As inclusões são pouco comuns, podendo ocorrer, principalmente, biotitas placóides e apatitas prismáticas.

O **feldspato alcalino** (0,7 - 1,5 cm) pode ocorrer como megacristais tabulares ou, principalmente, como grãos equidimensionais de bordas irregulares a intersticiais em termos inequigranulares de granulação média a grossa. São ricos em inclusões, contendo plagioclásio e biotita subidiomórficos. As pertitas são bem desenvolvidas, porém sem forma ou orientação definida, exibindo um aspecto difuso pelo grão. No contato com plagioclásio surgem mirmequitas na forma de retículos ou gotículas dispostas radialmente.

A **biotita** (1,0 - 2,5 mm) apresenta forte pleocroísmo de marrom esverdeado a tonalidades mais claras. É subidiomórfica a xenomórfica e pouco orientada. Ocorrem esparsas inclusões de apatita e zircão, ambos com hábito prismático a subarredondados. A lâmina PD457 difere das demais por apresentar biotitas mais acastanhadas, com presença de inclusões de muscovita placóide (primária).

Os minerais acessórios são geralmente escassos, porém ocorrem traços de minerais índices que podem sugerir uma afinidade com a associação marginal peraluminosa MBgd e MBmg. A lâmina PD420 é um exemplo que contém alguma **muscovita** primária e **monazita**, esta última com corrosão pelo crescimento posterior de

allanita prismática. Em raros casos foram identificados traços de **turmalina**, com pleocroísmo verde-escuro a amarelo claro.

4.2.4. Biotita Monzogranitos Porfiríticos com Titanita (BmgT)

Os granitóides BmgT apresentam textura porfirítica com matriz de granulação média a grossa, índice de cor em torno de 8 - 9, e são pouco foliados. Microscopicamente se distinguem das outras unidades granitóides pela presença de titanita idiomórfica, relativamente abundante. A allanita prismática também é um mineral característico desta unidade, embora não exclusivo, já que pode aparecer como franjas secundárias desenvolvidas sobre monazitas nas demais unidades.

O **plagioclásio** (An 25 - 27) é subidiomórfico, com tamanho entre 2 e 7 mm. Mostra uma intensa saussuritização, por vezes mascarando a presença da geminação da albita. Na lâmina PD474B apresenta bordas límpidas de caráter intersticial, com composição da albita, totalmente contrastantes com o núcleo saussuritizado, mais cálcico e com zoneamento concêntrico. Inclusões de biotita subidiomórfica (0,4 mm) e alguma apatita com hábito prismático (0,2 mm) são comuns. No contato com o feldspato alcalino desenvolvem mirmequitas com quartzo na forma de retículos radiais na borda do grão e gotículas na porção central.

O **feldspato alcalino** (0,5 - 2,5 cm) é subidiomórfico, com geminação Carlsbad. Desenvolve pertitas de aspecto variável, que podem ser sigmoidais, de orientação paralela à largura do grão, ou retilíneas, orientadas segundo o comprimento do grão, ou mesmo uma combinação destas duas, denunciando duas gerações de pertitas. Há casos em que os grãos estão com uma segregação pertítica mais pronunciada, formando "bolsões" descontínuos. Nos megacristais é comum a presença de inclusões de

plagioclásio idiomórfico totalmente saussuritizado, ou mesmo mirmequítico, normalmente circundadas por uma borda de reação albítica; menos freqüente são as inclusões de biotita, que podem exibir maior idiomorfismo que as palhetas da trama. Os grãos menores, em geral, exibem um caráter mais intersticial, envolvendo cristais de feldspatos e biotita em lâminas que mostram pouca recristalização.

A **biotita** (1,5 - 2,5 mm) apresenta pleocroísmo verde amarronzado a bege e é rica em inclusões. Entre estes destaca-se a presença comum de zircão prismático, denunciado pelo forte halo pleocróico marrom escuro, além de apatita subarredondada e titanita subidiomórfica. É comum encontrar biotitas de caráter mais idiomórfico que as presentes nas demais associações, devido à pouca foliação que a rocha apresenta. Na lâmina PD439 pode exibir um caráter intersticial aos grãos de plagioclásio.

O **quartzo** (0,3 - 2,0 mm) apresenta-se de forma heterogênea nas lâminas, ora com muita ora com pouca recristalização, preservando o seu caráter intersticial nas amostras menos foliadas.

Entre os minerais acessórios, **titanita** (Fotomicrografia 5) é o diagnóstico para a unidade; em geral idiomórfica, com tamanho entre 0,5 e 1,0 mm, ocorre junto a agregados de minerais máficos, como inclusão na biotita (gerando um halo pleocróico neste mineral) ou, em menor freqüência, dispersa entre grãos de feldspato e quartzo; em algumas lâminas, apresenta inclusões de minerais opacos. A **allanita** (Fotomicrografia 6) também é comum nesta associação, ocorrendo na forma prismática (0,4 - 1,5 mm), freqüentemente metamítica, ou mesmo constituindo agregados xenomórficos. Minerais acessórios comuns às demais associações, **zircão** e **apatita** são relativamente abundantes. O zircão exibe hábito prismático, zonado, e é comumente observado como pequenas inclusões na biotita, embora grãos maiores ocorram incluídos

Fotomicrografia 5 - Agregados de titanitas idiomórficas com inclusões de apatita (centro). Na biotita, as inclusões de apatita chegam a ser relativamente maiores, como mostram os dois grãos na porção esquerda da foto. Lâmina 1022, unidade BmgT. Nícois paralelos. O lado menor da foto corresponde a 1,85 mm.

Fotomicrografia 6 - Cristal prismático, zonado, de allanita metamítica (centro), incluído parcialmente por biotita, na qual desenvolve-se um forte halo pleocróico. Também podem ser observados alguns cristais de titanita subidiomórficos incluídos em biotitas. Na porção superior da foto, a titanita aparece marcada por reentrâncias que denunciam corrosão. Lâmina 1049, unidade BmgT. Nícois paralelos. O lado menor da foto corresponde a 1,85 mm.

em quartzo. Apatita é prismática e pode ocorrer tanto em inclusão em biotita, como cristais isolados na trama.

4.2.5. Biotita Monzogranitos Inequigranulares Médios a Finos (Bmgf)

A unidade Bmgf é composta por biotita monzogranitos inequigranulares médios a finos, róseos, com índice de cor entre 6 e 7. A presença de plagioclásio geralmente maior do que o feldspato alcalino é um aspecto característico para esta unidade.

O **plagioclásio** (An 25 - 27) atinge tamanho em torno de 5 - 8 mm, geralmente maior do que o feldspato alcalino. Apresenta-se saussuritizado por inteiro, algumas vezes exibindo bordas límpidas mais alvíscas que se desenvolvem intersticialmente a grãos de feldspatos mais idiomórficos.

O **feldspato potássico** (1 - 5 mm) apresenta-se, em geral, xenomórfico, exibindo comumente geminação em grade, embora em alguns grãos relativamente maiores, subidiomórficos, ocorra a geminação Carlsbad. Nestes últimos também é mais freqüente a presença de pertitas finas, perpendiculares ao comprimento do grão. Inclusões não são comuns, porém pode-se verificar alguns casos em que envolvem parcialmente grãos de plagioclásio.

A **biotita** é bastante fina (0,5 - 0,8 mm), com pleocroísmo verde-amarronzado a bege. Apresenta-se xenomórfica, mas com inclusões de **muscovita** placóide. Esta, por sua vez, constitui ripas menores que a biotita e é freqüente nos agregados máficos.

O **quartzo** (0,2 - 5 mm) está recristalizado na maioria das vezes, porém preserva seu caráter intersticial em certos casos, quando então apresenta intensa extinção ondulante.

Entre os minerais acessórios, **monazita** aparece com bordas corroídas por franjas de **allanita**, **zircão** prismático ocorre normalmente como pequenos pontos denunciados pelo halo pleocróico e **apatita** está na forma de prismas um pouco maiores que o zircão. **Minerais opacos** são geralmente xenomórficos.

4.2.6. Biotita Monzogranitos Porfiróides Grossos (Bm_{gg})

Esta unidade é constituída por biotita monzogranitos porfiróides com granulação grossa e índice de cor entre 6 e 8. O quartzo se destaca na matriz, atingindo muitas vezes dimensões um pouco maiores que 1 cm, e tem marcante transparência.

O **plagioclásio** (An ~ 25) é subidiomórfico, com tamanho entre 3 e 8 mm. A maioria dos grãos está bastante saussuritizada, um aspecto que mascara a geminação da albita.

O **feldspato alcalino** da matriz atinge entre 0,5 e 5 mm, enquanto os megacristais, em mais baixa proporção, podem chegar a 2 - 2,5 cm. É densamente pertítico, com pertitas geralmente finas e de disposição perpendicular ao comprimento do grão. O plagioclásio que ocorre junto ao contato com este mineral desenvolve freqüentemente mirmequitas em retículas ou mesmo gotículas finas nas bordas e relativamente mais grossas na porção central do grão. A geminação Carlsbad restringe-se aos grãos mais tabulares, porém pode aparecer com sobreposição da geminação em grade,

esta última mais comum em grãos de caráter intersticial. As inclusões de plagioclásio subidiomórfico saussuritizado são as mais freqüentes, normalmente circundadas por bordas límpidas, albíticas, na região de contato.

As **biotitas** (2 - 4 mm) podem tanto apresentar hábito placóide, assim como desenvolver um aspecto mais xenomórfico. O pleocroísmo varia de verde-amarronzado a bege claro. As inclusões mais comuns são de apatitas prismáticas e de pequenos cristais de zircão, denunciados pelo desenvolvimento de halos pleocróicos. A **muscovita** é de ocorrência comum como inclusões idiomórficas na biotita, porém placas mais finas, de caráter secundário, são freqüentes.

O **quartzo** (0,2 - 1 cm) resguarda em muitos casos o seu caráter intersticial nos maiores grãos, com extinção ondulante intensa, enquanto os grãos menores são geralmente mais subarredondados, com menor intensidade de extinção ondulante, e parecem representar produtos da recristalização dos grãos maiores.

Entre os minerais acessórios, **apatita** e **zircão** prismáticos são os mais comuns e ocorrem com freqüência como inclusões na biotita. Apatita pode ainda ocorrer como inclusão em grãos de feldspatos, especialmente o feldspato alcalino. Os **minerais opacos** distribuem-se esparsamente e são xenomórficos.

4.2.7. Enclaves

Examinados em lâminas delgadas, os enclaves mostram-se, de um modo geral, bastante semelhantes em termos texturais, embora se apresentem com conteúdos distintos em quartzo e minerais acessórios dentro das unidades marginais MBgd e MBmg, havendo termos com paragênese que inclui ou titanita ou muscovita. Aqueles

com titanita são os únicos tipos a ocorrerem na unidade BmgT. A unidade Bmgr contém a maior diversidade em feições exibidas pelos enclaves (ver item 3.2.2.7); entretanto, o fato destes ocorrerem predominantemente em lajedos dificultou a coleta de amostras, daí a falta de descrições microscópicas para esta unidade.

Os enclaves em MBgd e MBmg, em geral quartzo monzodioríticos, apresentam granulação fina ou, em certos casos, média, e textura granoblástica. O **plagioclásio** (An 25 - 28) é subidiomórfico, com geminação segundo a lei da albita. A **biotita** (ca. 0,2 mm) forma placas e tem pleocroísmo que varia em tonalidades de castanho esverdeado; como inclusões, tem **muscovita** placóide, abundante e que pode ser mais idiomórfica que a biotita (Fotomicrografia 7), e **zircão**, que ocorre como esparsos pontilhados, denunciado pelo halo pleocróico. O **feldspato alcalino** (ca. 0,7 mm), pouco pertítico, se distribui aleatoriamente como ocasionais grãos com a geminação em grade. O **quartzo** ocorre como agregados microgranulares ou como grãos maiores, subarredondados. Os **minerais opacos** (ca. 0,2 mm) são geralmente irregulares. A **apatita** é abundante e apresenta hábito geralmente acicular, ocorrendo como inclusões em plagioclásio, biotita e quartzo (Fotomicrografia 7). A lâmina PD1154' foi obtida sobre um enclave composto, dada a presença de um pequeno glomérulo de 1,5 cm de diâmetro, formado essencialmente por muscovita com ca. 3 mm, maiores que os presentes na “matriz” microgranular.

Os enclaves presentes em BmgT são monzodioritos de granulação fina a média. O **plagioclásio** (ca. 0,3 - 4 mm) é subidiomórfico, normalmente como grãos saussuritizados, apresentando zoneamento normal dado por núcleos com composições de An 35 - 36 e bordas com An 28. **Biotita** (ca. 0,3 mm) ocorre em proporções de até 30 % e tem aspecto xenomórfico, com pleocroísmo verde escuro a bege semelhante ao da biotita presente no granito hospedeiro. O **feldspato alcalino** (ca. 0,5 mm), pouco freqüente, encontra-se exclusivamente com a geminação em grade em grãos xenomórficos. O

quartzo ocorre em pequena quantidade, na forma de cristais subarredondados, distribuídos esparsamente no enclave. A característica marcante destes enclaves é a grande abundância em **titanita** subidiomórfica a xenomórfica (Fotomicrografia 8), por vezes contendo inclusão de zircão prismático. **Apatita** é comum e de hábito acicular, normalmente inclusa em quartzo e plagioclásio. **Zircão** ocorre em baixa proporção, principalmente como inclusões em biotita. **Minerais opacos** chegam a ser abundantes, constituídos normalmente por magnetita.

4.2.8. Ordem de cristalização

A ordem de cristalização mineral observada nos granitóides do maciço Piedade encontra-se sumariada na Figura 6, considerando apenas as unidades-tipo das duas associações paragenéticas principais (unidades peraluminosas MBgd e MBmg e metaluminosa BmgT). Entre os minerais félsicos, o início da cristalização do plagioclásio parece se dar precocemente no magma, evidenciado pelos núcleos de maior conteúdo da molécula anortítica. A precipitação de biotita vem a seguir, podendo ser incluída por cristais um pouco mais tardios de plagioclásio. Para as unidades MBgd e MBmg, a muscovita é relativamente precoce, em boa parte contemporânea à biotita, na qual ocorre como inclusões; continua a se formar no estágio pós-magmático, como cristais xenomórficos com inclusões de minerais opacos laminares. A cristalização de feldspato alcalino tem o seu início após plagioclásio e biotita, embora seja a fase que tende a se desenvolver exclusivamente como megacristais nas rochas mais máficas; uma maior taxa de nucleação deste mineral deve ter ocorrido nas unidades mais félsicas (BmgT e MBmg), onde o feldspato alcalino é mais abundante na matriz. O quartzo é o último mineral félsico a iniciar a cristalização, exibindo tipicamente caráter intersticial.

Fotomicrografia 7 - Muscovitas placóides (incoloros, porção inferior esquerda) incluídas em biotitas verde - acastanhadas de bordas irregulares. Apatitas aciculares aparecem como inclusões em quartzo (porção superior), plagioclásio (porção superior direita) e biotita (extremidade direita da foto). Lâmina 1155, enclave da unidade MBmg. Nícois paralelos. O lado menor da foto corresponde a 0,92 mm.

Fotomicrografia 8 - Titanitas xenomórficas (grãos castanhos, de mais alto relevo) em ocorrências isoladas, ao lado de grãos de plagioclásio (núcleos saussuritizados) e quartzo (porções mais límpidas) que aparecem incluindo apatitas aciculares na porção inferior direita da foto. As feições arredondadas que se observam são bolhas relacionadas ao processo de laminação da amostra. Lâmina PD474A, enclave da unidade BmgT. Nícois paralelos. O lado menor da foto corresponde a 0,92 mm.

ASSOCIAÇÃO PERALUMINOSA (unidades MBgd e MBmg)		
MINERAIS	ORDEM DE CRISTALIZAÇÃO	
	MAGMÁTICA	PÓS-MAGMÁTICA
PLAGIOCLÁSIO	_____	—
BIOTITA	_____	—
MUSCOVITA	_____	—
FELDSPATO ALCALINO	_____	—
QUARTZO	_____	—
ZIRCÃO	_____	—
APATITA	_____	—
MONAZITA	_____.....	—
OPACOS	—....._____.....	—

ASSOCIAÇÃO METALUMINOSA (unidade BmgT)		
MINERAIS	ORDEM DE CRISTALIZAÇÃO	
	MAGMÁTICA	PÓS-MAGMÁTICA
PLAGIOCLÁSIO	_____	—
BIOTITA	_____	—
FELDSPATO ALCALINO	_____	—
QUARTZO	_____	—
ZIRCÃO	_____	—
APATITA	_____	—
TITANITA	_____	—
ALLANITA	_____.....	—
OPACOS	—....._____.....	—

Figura 6 - Ordem de cristalização para os componentes minerais das associações peraluminosa (MBgd e MBmg) e metaluminosa (BmgT).

Entre os minerais acessórios das unidades MBgd e MBmg, monazita, zircão e apatita mostram uma precipitação anterior a contemporânea à biotita, como mostram as inclusões neste mineral. Os dois últimos continuam a cristalizar nas fases magmáticas tardias, como evidenciado pelos cristais inclusos em quartzo, geralmente de maior tamanho que aqueles presentes na biotita.

Na unidade BmgT, a titanita tende ao idiomorfismo, mas já encontra algum material cristalizado (inclusões corroídas de minerais opacos, porções intersticiais à apatita). Allanita, também idiomórfica, tem inclusões de zircão e apatita. Os minerais opacos não foram estudados especificamente, mas mostram diversas fases de cristalização. Observam-se desde cristais octaédricos de magnetita, certamente magmáticos, até grãos lamelares associados à muscovita *subsolidus*.

4.3. OUTRAS UNIDADES GRANITÓIDES

4.3.1. Hornblenda - Biotita Granodioritos a Quartzo Monzonitos Porfiríticos (HBgd)

Esta unidade é constituída por granitóides porfiríticos com alto índice de cor (10 - 15), tal como se observa em lâmina delgada, e foliação de intensidade bastante variável. A granulação da matriz também varia, bem como as dimensões dos megacristais de feldspato alcalino.

O **plagioclásio** (1,5 - 5 mm) é subidiomórfico a xenomórfico, com saussuritização não muito pronunciada, podendo preservar a geminação da albita, e apresenta composição em torno de An 30. Os grãos ocorrem geralmente com zoneamento normal e exibem extinção ondulante em diferentes intensidades. No contato com feldspato alcalino ocorre desenvolvimento de bordas albíticas, não sendo comum a presença de

mirmequitas. Inclusões não são freqüentes, embora possam ocorrer algumas biotitas placóides.

O **feldspato alcalino** é comumente observado na forma de megacristais, embora ocorra esparsamente na matriz em grãos de 2,5 - 5 mm, de aspecto subidiomórfico a xenomórfico, dependendo do grau de foliação da rocha. A geminação Carlsbad está normalmente associada aos maiores grãos, enquanto a geminação em grade é mais visível em grãos de caráter intersticial. As pertitas são geralmente finas e em formatos irregulares ou retilíneos.

A **biotita** (1 - 2 mm) é pleocróica, com coloração variável entre verde amarronzado a bege, com hábito placóide a xenomórfico. Inclusões são freqüentes, em especial de apatita, zircão, titanita, minerais opacos e, em baixa proporção, allanita. A **hornblenda** é xenomórfica e pode atingir 2 - 5 mm, com pleocroísmo verde azulado a verde amarronzado, muitas vezes cercada por biotitas xenomórficas de caráter secundário; pode conter inclusão de apatita e zircão prismáticos.

O **quartzo** tem tamanho variado entre 0,5 e 2 mm, recristalizado em grãos com bordas irregulares, com formatos subarredondados ou alongados segundo a foliação.

Minerais acessórios são relativamente abundantes, principalmente devido ao alto conteúdo em **titanita**, com hábito esfenóedral bem desenvolvido e dimensões de até 1,5 mm. Está associada a agregados máficos, comumente observada na forma de inclusões na biotita, chegando a desenvolver halo pleocróico nesta. **Allanita** é de cor caramelo, zonada, com inclusões de minerais opacos e zircão, ocasionalmente com bordas irregulares de epidoto xenomórfico; ocorre isolada ou junto a agregados máficos. **Apatita** e **zircão** estão sempre presentes na forma de cristais prismáticos, o último

freqüentemente denunciado, principalmente, pelo forte halo pleocróico ao redor de inclusões na biotita. **Epidoto** ocorre normalmente como agregados xenomórficos em fraturas do plagioclásio.

4.3.2. Muscovita - Biotita Monzogranitos Equigranulares (MBmge)

Esta unidade ocorre como um conjunto heterogêneo que apresenta granitóides equigranulares, mais abundantes, e inequigranulares, com granulação média a média-grossa, respectivamente, e índice de cor variável entre 3 e 7.

O **plagioclásio** (An 20) ocorre como grãos xenomórficos, subordinadamente subidiomórficos, que atingem dimensões não maiores que 5 mm. A intensa saussuritização preserva pouco a geminação da albita.

O **feldspato alcalino** (2,5 - 8 mm) é subidiomórfico a xenomórfico, com geminação predominante do periclínio. Possui pertitas finas, irregulares, de disposição perpendicular ao comprimento do grão. As bordas de alguns cristais podem preservar um aspecto intersticial.

A **biotita** (1 - 1,5 mm) é geralmente xenomórfica e ocorre com pleocroísmo verde-acastanhado, ou mesmo castanho (em lâminas com maior quantidade em muscovita), a bege. Em muitos casos distribui-se esparsamente e não forma agregados, mais comuns quando a sua porcentagem é maior. A **muscovita** apresenta notável hábito placóide, freqüentemente como inclusões na biotita.

O **quartzo** (0,2 - 1 mm) apresenta com aspecto heterogêneo devido ao variado grau de recristalização, que pode preservar o caráter intersticial ou desenvolver textura granoblástica segundo pequenos grãos xenomórficos.

Os minerais acessórios são escassos e constituídos em sua maioria por inclusões de **zircão** e **apatita** prismáticos na biotita. Ocorrem às vezes esparsas **monazitas**, que podem aparecer com bordas côncavas devido a sobrecrecimento de franjas de **allanitas** secundárias. Minerais opacos podem ocorrer esparsamente e têm aspecto xenomórfico a subarredondado.

4.3.3. Granitos tipo Serra dos Lopes (MBmgi)

São rochas inequigranulares, de granulação média a grossa, às vezes com esparsos megacristais de feldspato alcalino; seu índice de cor varia de 6 a 7. Normalmente predomina feldspato alcalino (40 - 50 %) sobre os demais minerais. Seu aspecto foliado é semelhante ao dos granitóides MBgd: em algumas lâminas delgadas observa-se recristalização heterogênea, principalmente através da recristalização não uniforme dos grãos de quartzo. Contudo, este tipo não contém os "cordões" micáceos intersticiais, feição comum na fácies MBgd; as placas de micas mostram-se dispersas em meio ao quartzo microgranular, circundando os cristais de feldspatos.

O **plagioclásio** (3 - 6 mm), subidiomórfico, possui composição An 25 - 28; quando incluso (0,3 mm) em megacristal de feldspato alcalino pode chegar a An 30 - 34 (lâmina PD370B). É freqüente a presença de finas recristalizações nas bordas do plagioclásio, separando-o de ripas de biotita, quartzo seriado e outros feldspatos.

O **feldspato alcalino** (1 - 5 mm) normalmente tem geminação em grade e caráter intersticial, podendo envolver cristais de plagioclásio subidiomórficos. Cristais mais tabulares, de maiores dimensões, podem conter inclusões espaçadas de quartzo subarredondado marcadas pela ausência ou baixa intensidade da extinção ondulante, que é mais intensa no quartzo intersticial da matriz. Como inclusões, pode conter minerais opacos equidimensionais (magnetita?) e biotitas placóides.

A **biotita** apresenta pleocroísmo verde amarronzado a bege, podendo ocorrer em agregados de finas ripas irregulares (0,5 - 0,8 mm) nas porções mais recrystalizadas, ao lado de "tiras" de minerais opacos (ilmenita?) e muscovita, ou também desenvolver um hábito mais placóide (2 - 3 mm), de caráter mais esparsos. É comum a presença de inclusões de zircão e apatita subarredondados. A **muscovita** é placóide quando incluída na biotita, porém é mais comum como finas ripas que denunciam um caráter secundário.

O **quartzo** (1 - 4 mm) aparece muito ou pouco recrystalizado, resultando em distintas feições numa mesma lâmina delgada. Às vezes se observa um caráter intersticial, quando não destruído pela intensa recrystalização. Pode constituir pequenas inclusões subarredondadas e de caráter esparsos no feldspato alcalino, quase sem extinção ondulante.

Os granitos desta unidade apresentam uma proporção relativamente elevada de minerais acessórios, em especial a **allanita**. Na maioria dos casos ela é subidiomórfica (0,5 - 1,5 mm), com hábito prismático; aparecem também aglomerados xenomórficos. Apresenta pleocroísmo marrom avermelhado a castanho, com metamitização parcial ou total, sendo substituída por carbonatos em seu interior. Em algumas lâminas ocorrem **monazitas** subarredondadas ou irregulares; na lâmina PD333 a monazita é subidiomórfica, com inclusão de apatita, e está bordejada por allanita

xenomórfica. Na lâmina PD370A, a monazita encontra-se corroída e envolvida pelo crescimento posterior de allanita prismática. Entre os demais acessórios estão **zircão** e **apatita**, vistos ora como inclusões na biotita, ora como componentes dispersos pela matriz, geralmente o primeiro com hábito prismático e o segundo, subarredondado. A **turmalina**, em raras ocasiões, pode ocorrer em agregados xenomórficos. O **epidoto** pode aparecer em agregados irregulares, normalmente sobre grãos saussuritizados de plagioclásio.

4.3.4. Granitos tipo Serra da Bateia (Bsg) e rochas associadas (Bsgf e HBqmz)

4.3.4.1. Biotita sienogranitos (Bsg)

Trata-se de sienogranitos que preservam a textura magmática original. Mostram semelhanças com a unidade BmgT, pertencente ao maciço Piedade, em termos de associação de minerais acessórios (titanita e allanita), mas as texturas diferem, dado que Bsg apresenta alta porcentagem de megacristais alongados de feldspato alcalino (40 - 50 %), com exuberante idiomorfismo, marcando uma foliação por fluxo magmático, enquanto BmgT é porfirítico com porcentagem de megacristais relativamente menor (25 - 30 %), com matriz grossa, desenvolvendo foliação relativamente menos pronunciada.

O **plagioclásio** (5 - 8 mm) é subidiomórfico e apresenta-se geralmente bastante saussuritizado, mascarando muitas vezes a presença de geminação polissintética; um grão incluso em megacristal de feldspato alcalino mostrou teores de An entre 25 e 27. Ocorre com zoneamento composicional normal, reconhecido pelo caráter mais cálcico dos núcleos (bastante saussuritizado) e das bordas mais albíticas límpidas.

O **feldspato alcalino** (2 - 3 x 1 cm) é subidiomórfico, com geminação Carlsbad, apresentando pertitas lenticulares transversais ao comprimento do grão, podendo definir grandes dimensões, formando “bolsões” onde é evidente a geminação segundo a lei da albita. Nas amostras com foliação mais pronunciada, o feldspato alcalino ocorre com fraturas transversais ao comprimento, normalmente preenchidas com clorita, quartzo e, eventualmente, fluorita, um importante diagnóstico para esta associação. Grãos menores (5 - 8 mm), claramente intersticiais, podem envolver parcialmente bordas de plagioclásio e algumas biotitas placóides, além de ocasionais apatitas prismáticas.

A **biotita**, seriada (0,1 - 2,0 mm), com pleocroísmo verde acastanhado a bege esverdeado, apresenta-se com aspecto heterogêneo, podendo apresentar hábito placóide ou formar agregados em “cordões” micáceos nas amostras mais foliadas. Às vezes pode apresentar cloritização parcial ao longo das clivagens. Como inclusões ocorrem zircão e apatita prismáticos, além de alguma titanita e allanita. **Hornblenda** pode ocorrer ocasionalmente como grãos de 1 mm, exibindo pleocroísmo variável entre tonalidades de verde escura à clara.

O **quartzo** (0,3 - 5,0 mm) tem comportamento heterogêneo nas lâminas observadas, podendo estar pouco recristalizado, em aspecto intersticial, ou intensamente estirado.

Entre os **minerais acessórios**, a **titanita** é mais abundante. Apresenta-se idiomórfica, com tamanho entre 1,5 e 2,5 mm, isolada ou em agregados com biotita e allanita, além de opacos geralmente secundários. Grãos maiores podem conter inclusões de apatita prismática. A **allanita** é subidiomórfica a xenomórfica, sendo comum a presença de reentrâncias com sobrecrecimento de epidoto. **Zircão** e **apatita** apresentam hábitos prismáticos. Outros minerais menos freqüentes são **clorita**, que se aloja nas

fraturas de megacristais de feldspato alcalino ou substituindo parcialmente a biotita, e ocasionais agregados xenomórficos de **fluorita**.

4.3.4.2. Biotita sienogranitos a monzogranitos inequigranulares foliados (Bsgf)

As rochas desta unidade, que forma parte da borda do maciço Serra da Bateia, são constituídas por biotita sienogranitos a monzogranitos inequigranulares bastante foliados, com índice de cor em torno de 7 - 8. Como característica comum em lâmina delgada, o quartzo apresenta-se estirado segundo pequenas lentes de pequenos grãos recristalizados.

O **plagioclásio** (2,5 - 5 mm) constitui grãos xenomórficos a subidiomórficos e está bastante saussuritizado, aspecto que mascara a geminação da albita.

O **feldspato alcalino** (4 - 8 mm) ocorre como pequenos grãos irregulares com geminação em grade ou, menos comumente, como megacristais com a geminação Carlsbad. Nestes últimos as pertitas podem se desenvolver em “bolsões”, e têm a geminação segundo a lei da albita.

A **biotita** (1 - 2 mm) é pleocróica, variando de verde escuro a verde amarronzado, com aspecto em geral xenomórfico.

O **quartzo** (0,3 - 8 mm), com variável intensidade da extinção ondulante e ocorre como lentes recristalizadas internamente em pequenos grãos de bordas irregulares.

Os minerais acessórios incluem **titanita** esfenoidal, **apatita**, que pode ser abundante, e **zircão**, normalmente presente como inclusão na biotita.

4.3.4.3. Hornblenda - biotita quartzo monzonitos equigranulares maciços (HBqmz)

Estas rochas também ocorrem associadas à extremidade do maciço Serra da Bateia, como uma intrusão de borda. Ao contrário da unidade anterior, têm foliação pouco evidente.

O **plagioclásio** (An 35) é subidiomórfico (5 mm), preservando em muitos casos a geminação da albita, embora ocorra alguma saussuritização em seu núcleo. Alguns grãos maiores podem desenvolver geminação Carlsbad. Como inclusões em cristais de feldspato alcalino, pequenos grãos podem apresentar-se com formatos algo retangulares, porém com bordas irregulares de contatos bruscos que parecem representar “pedaços” de cristais.

O **feldspato alcalino** (0,5 - 2,5 mm) é constituído por grãos subidiomórficos, exibindo a geminação em grade como a mais comum. Pertitas são relativamente grossas e de aspecto anastomosado, normalmente de disposição perpendicular ao comprimento do grão.

A **biotita** (1 - 2 mm) é xenomórfica e ocorre com pleocroísmo que varia de verde escuro a bege. Muitas vezes parecem ter caráter secundário, sendo provavelmente gerada a partir da instabilidade da hornblenda. Outros grãos, entretanto, podem ter aspecto mais idiomórfico, desenvolvendo-se como pequenas placas esparsas. A **hornblenda** (1 - 2,5 mm) é em geral subidiomórfica e apresenta-se com pleocroísmo que varia de verde bastante escuro a verde amarronzado claro, podendo exibir um zoneamento

dados por bordas mais azuladas; como inclusões, ocorrem minerais opacos e, mais freqüentemente, apatitas aciculares. Como sobrecrecimento sobre as bordas de hornblenda, podem ocorrer franjas de biotitas fibro-radiadas, pleocróicas segundo variações em tonalidades de castanho.

O **quartzo** apresenta-se como grãos com tamanho entre 0,3 e 2 mm, normalmente recristalizados entre os feldspatos.

Os **minerais acessórios** mais comuns são zircão, como pequenas inclusões prismáticas na biotita, e apatitas aciculares, bastante abundantes e que ocorrem comumente como inclusões na hornblenda, biotita e quartzo. Traços de epidoto e fluorita secundários podem aparecer ocasionalmente como agregados xenomórficos.

CAPÍTULO 5

QUÍMICA DE ROCHAS

5.1. A DIVERSIDADE QUÍMICA DO MACIÇO PIEDADE

Análises químicas de amostras provenientes das principais unidades granitóides do maciço Piedade apresentadas na tabela 3.

Observando os dados químicos, verifica-se que a sílica mostra-se como o mais adequado indicador de diferenciação, variando dentro de um intervalo de 65 e 73 % para os granitóides das unidades principais do maciço Piedade. As rochas mais máficas correspondem aos enclaves de BmgT, com 57 - 59 % SiO_2 e à unidade HBgde, com 60 - 63 % SiO_2 . As unidades MBgd e MBmg cobrem todo o espectro de sílica, com 65 - 67 % e 68 - 72 % SiO_2 , respectivamente. A unidade BmgT cobre um intervalo equivalente ao de MBmg, variando entre 68 e 73 % SiO_2 . Já Bmgr é a unidade mais félsica, variando entre 69 e 73 %, com maior concentração ao redor de 71 %. Um dos melhores discriminantes entre as unidades do maciço Piedade é o Mg# ($\text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe})$, proporções catiônicas, Fig. 7) com valores no intervalo 37 - 40 para as unidades MBgd e MBmg, 33 - 36 para Bmgr e 44 - 47 para BmgT. Os valores de Mg# mais elevados ocorrem nos enclaves de BmgT (50); já as amostras reunidas em HBgde são distintas, com Mg# de 39 e 46.

5.1.1. Elementos maiores

Em diagramas de variação de Harker (Fig. 8), observam-se tendências normais de diferenciação através de correlações negativas bem marcadas entre SiO_2 e Fe_2O_3^T , MgO, Al_2O_3 e CaO, para todo o conjunto das unidades granitóides

TABELA 3 - Composição química dos granitóides da região de Piedade (SP). Ver Fig. 7 para as abreviações convencionadas.

	HBgde		HBgde ^b		MBgd			MBgd ^b	MBgd ^c		MBmg			
	PD1514	PD415B	PD1152	PD16	PD419	PD404	PD17C	PD379	PD383	PD71	PD134	PD410	PD240C	PD406
SiO ₂	60,94	63,16	66,46	64,68	64,81	65,44	66,81	65,08	66,28	68,35	68,89	68,98	69,83	71,81
TiO ₂	1,52	0,63	0,46	0,84	0,98	0,74	0,71	0,80	0,91	0,61	0,58	0,63	0,49	0,56
Al ₂ O ₃	15,58	15,83	16,34	16,09	15,85	15,91	16,06	16,15	15,72	15,31	15,62	15,56	15,59	14,76
Fe ₂ O ₃ ^t	5,39	5,99	3,77	4,61	5,15	4,13	4,37	3,90	4,11	3,38	3,25	3,27	2,97	2,62
MnO	0,07	0,12	0,09	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,07	0,06	0,07	0,05	0,04	0,04
MgO	2,28	1,91	1,28	1,44	1,84	1,27	1,29	1,07	1,39	1,08	1,07	1,08	0,96	0,86
CaO	3,65	3,64	3,07	2,59	2,85	2,59	2,33	2,37	3,84	2,31	1,91	2,15	2,21	2,00
Na ₂ O	3,96	4,06	3,74	3,52	3,73	3,51	3,46	3,07	3,71	3,72	3,73	3,61	3,43	3,69
K ₂ O	4,49	3,73	4,12	4,81	3,44	4,40	4,22	6,29	3,84	4,52	5,18	4,45	4,67	4,53
P ₂ O ₅	0,63	0,44	0,21	0,35	0,35	0,39	0,14	0,71	0,38	0,21	0,21	0,14	0,16	0,19
TOTAL	98,51	99,51	99,54	99,00	99,07	98,45	99,44	99,49	100,25	99,55	100,51	99,92	100,35	101,06
Cr	-	-	-	36,4	16,2	-	17,1	11,4	-	-	-	12,6	-	-
Sc	-	-	-	5,4	5,8	-	6,4	3,6	-	-	-	4,0	-	-
V	69	35	18	68	81	73	47	61	28	28	20	51	47	-
Rb	-	-	-	180	193	184	172	217	188	210	244	179	169	152
Cs	-	-	-	4,6	4,3	-	4,3	3,5	-	-	-	6,7	-	-
Ba	2527	1529	1562	1530	1120	1297	1220	2104	1228	1225	1133	1190	991	1050
Sr	1164	913	793	640	610	580	550	724	600	569	499	540	416	551
Ta	-	-	-	2,6	< 0,5	-	1,2	2,1	-	-	-	2,7	-	-
Hf	-	-	-	6,3	7,1	-	7,2	8,1	-	-	-	6,3	-	-
Zr	222	184	164	210	262	320	281	363	185	-	292	228	198	175
Y	15	18	18	-	< 5	14	-	-	23	< 5	5	-	15	86
Th	-	-	-	10,5	14,1	-	22,5	5,3	-	-	-	10,2	-	-
U	-	-	-	2,0	1,6	-	3,1	2,7	-	-	-	3,5	-	-
La	71	42	56	81,3	112,0	86	98,2	68,7	77	69	112	89,7	50	-
Ce	-	-	-	151	211	-	184	134	-	-	-	161	-	-
Nd	-	-	-	45	66	-	59	44	-	-	-	51	-	-
Sm	-	-	-	6,14	11,10	-	9,79	6,90	-	-	-	6,68	-	-
Eu	-	-	-	1,51	2,09	-	1,76	1,80	-	-	-	1,39	-	-
Tb	-	-	-	< 0,5	1,5	-	< 0,5	< 0,5	-	-	-	< 0,5	-	-
Yb	-	-	-	0,71	0,63	-	0,52	0,74	-	-	-	0,69	-	-
Lu	-	-	-	0,10	0,09	-	0,08	0,11	-	-	-	0,11	-	-
A/CNK	0,87	0,91	1,01	1,02	1,05	1,04	1,11	1,00	1,06	1,01	1,03	1,06	1,06	1,01
A/NK	1,37	1,48	1,54	1,46	1,61	1,51	1,57	1,36	1,53	1,39	1,33	1,45	1,46	1,35
N/K	1,34	1,65	1,38	1,11	1,65	1,21	1,25	0,74	1,47	1,25	1,09	1,23	1,12	1,24
Mg#	45,59	38,71	40,21	38,2	41,4	37,8	36,9	35,2	40,11	38,76	39,47	39,5	39,0	39,4
La _N /Yb _N	-	-	-	77,2	119,9	-	127,3	62,6	-	-	-	87,6	-	-
Ce _N /Yb _N	-	-	-	55	86,6	-	91,5	46,8	-	-	-	60,4	-	-

TABELA 3 - Composição química dos granitóides da região de Piedade (SP) - continuação.

	PD420	PD1229	PD463	Bmgr PD412	PD414	PD451	Bmgr ^b PD140C	PD421B
SiO ₂	69,35	70,11	70,55	70,77	70,79	71,44	71,38	73,21
TiO ₂	0,46	0,44	0,40	0,42	0,41	0,39	0,31	0,29
Al ₂ O ₃	15,01	14,65	14,59	14,90	14,74	14,72	14,20	14,17
Fe ₂ O ₃ ^t	3,00	2,64	2,49	2,40	2,56	2,32	2,19	1,81
MnO	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04
MgO	0,76	0,70	0,63	0,66	0,73	0,63	0,63	0,44
CaO	1,99	1,78	1,62	1,80	1,86	1,87	1,73	1,54
Na ₂ O	3,71	3,47	3,45	3,60	3,56	3,70	3,64	3,56
K ₂ O	4,65	5,04	5,07	4,80	4,48	4,73	4,72	4,70
P ₂ O ₅	0,18	0,15	0,15	0,17	0,15	0,13	0,17	0,05
TOTAL	99,15	99,02	98,99	99,56	99,32	99,97	99,03	99,81
Cr	-	-	12,0	-	-	-	15,9	-
Sc	-	-	2,7	-	-	-	1,5	-
V	35	< 15	22	-	47	53	-	33
Rb	158	-	160	192	156	180	205	163
Cs	-	-	2,6	-	-	-	7,0	-
Ba	1007	1141	795	1027	1146	1023	1035	807
Sr	462	512	310	465	532	477	555	358
Ta	-	-	< 0,5	-	-	-	< 0,5	-
Hf	-	-	6,4	-	-	-	4,1	-
Zr	276	194	235	225	262	244	130	165
Y	-	7	-	-	-	-	-	-
Th	-	-	30,7	-	-	-	7,4	-
U	-	-	2,9	-	-	-	8,5	-
La	76	85	87,8	-	92	87	33,3	42
Ce	-	-	172	-	-	-	65	-
Nd	-	-	57	-	-	-	23	-
Sm	-	-	9,73	-	-	-	4,04	-
Eu	-	-	1,19	-	-	-	0,91	-
Tb	-	-	0,6	-	-	-	< 0,5	-
Yb	-	-	0,59	-	-	-	0,83	-
Lu	-	-	0,05	-	-	-	0,10	-
A/CNK	1,02	1,02	1,03	1,04	1,05	1,01	1,00	1,03
A/NK	1,35	1,31	1,31	1,34	1,38	1,31	1,28	1,29
N/K	1,21	1,05	1,03	1,14	1,21	1,19	1,17	1,15
Mg#	33,4	34,43	33,4	35,3	36,1	35,0	36,3	32,5
La _N /Yb _N	-	-	100,3	-	-	-	27	-
Ce _N /Yb _N	-	-	75,4	-	-	-	20,3	-

TABELA 3 - Composição química dos granitóides da região de Piedade (SP) - continuação.

	PD481A	PD438	PD474B	BmgT PD64	PD1021	PD1037	PD439	BmgT ^b PD18A	Enclaves PD481B	PD474A
SiO ₂	67,79	68,02	69,20	69,94	70,37	70,76	73,30	64,65	56,60	59,17
TiO ₂	0,66	0,65	0,61	0,55	0,61	0,46	0,25	1,00	1,70	1,59
Al ₂ O ₃	14,83	15,01	14,54	15,24	15,26	14,72	13,64	15,20	15,64	15,26
Fe ₂ O ₃ ^t	3,35	3,34	3,24	3,07	3,20	2,42	1,94	4,31	7,56	6,62
MnO	0,07	0,05	0,07	0,05	0,07	0,05	0,04	0,09	0,15	0,13
MgO	1,50	1,44	1,32	1,25	1,28	1,00	0,73	1,64	3,83	3,47
CaO	2,60	2,15	2,14	1,94	2,06	1,79	1,65	2,72	4,03	3,57
Na ₂ O	3,60	3,71	3,65	3,70	3,58	3,42	3,48	3,71	3,51	4,37
K ₂ O	4,36	4,94	4,75	4,92	5,08	5,16	4,06	4,47	4,25	3,19
P ₂ O ₅	0,27	0,28	0,28	0,24	0,21	0,20	0,13	0,48	0,75	0,58
TOTAL	99,03	99,59	99,80	100,90	101,72	99,98	99,22	98,27	98,02	97,95
Cr	34,8	-	36,3	-	-	-	-	-	117,0	102,0
Sc	5,4	-	5,2	-	-	-	-	-	17,7	12,8
V	57	50	< 15	< 15	< 15	< 15	35	100	150	147
Rb	173	176	242	215	242	240	148	178	263	317
Cs	5,1	-	8,8	-	-	-	-	-	10,9	15,9
Ba	1388	1535	1110	1361	1261	1103	862	1438	1186	453
Sr	768	675	500	602	545	462	438	839	690	522
Ta	< 0,5	-	< 0,5	-	-	-	-	-	2,2	2,7
Hf	5,1	-	5,9	-	-	-	-	-	8,1	5,9
Zr	238	235	198	-	231	170	165	288	383	255
Y	12	-	-	45	8	9	-	15	30	43
Th	15,2	-	17,2	-	-	-	-	-	12,8	12,4
U	4,1	-	4,4	-	-	-	-	-	5,0	11,0
La	89,2	-	77,5	66	58	89	-	93	103,0	142,0
Ce	164	-	159	-	-	-	-	-	268	273
Nd	56	-	56	-	-	-	-	-	107	132
Sm	8,29	-	8,89	-	-	-	-	-	17,00	20,50
Eu	1,62	-	1,57	-	-	-	-	-	3,56	4,49
Tb	< 0,5	-	< 0,5	-	-	-	-	-	2,1	1,8
Yb	1,00	-	1,43	-	-	-	-	-	2,27	2,70
Lu	0,12	-	0,18	-	-	-	-	-	0,29	0,37
A/CNK	0,96	0,98	0,97	1,02	1,01	1,02	1,04	0,96	0,88	0,89
A/NK	1,39	1,31	1,30	1,34	1,34	1,31	1,35	1,39	1,51	1,43
N/K	1,25	1,14	1,17	1,14	1,07	1,01	1,30	1,26	1,26	2,08
Mg#	47,0	46,1	44,7	44,64	44,20	45,01	42,7	43,0	50,1	50,9
La _N /Yb _N	60,1	-	36,5	-	-	-	-	-	30,6	35,5
Ce _N /Yb _N	42,4	-	28,8	-	-	-	-	-	30,5	26,2

Figura 7 - Diagrama com a variação do Mg# ($\text{MgO} / (\text{MgO} + \text{FeO})$) em relação a SiO_2 para as rochas granitóides do maciço Piedade. Símbolos:

- MBgd, ◐ MBgd^b, ● MBgd^c = Muscovita - Biotita Granodioritos a Monzogranitos Porfiríticos
- MBmg = Muscovita - Biotita Monzogranitos Porfiríticos
- ▽ HBgde, ▽ HBgde^b = Hornblenda - Biotita Granodioritos Equigranulares
- ▲ Bmgr, △ Bmgr^b = Biotita Monzogranitos Inequigranulares Róseos
- BmgT, □ BmgT^b = Biotita Monzogranitos Porfiríticos c/ Titanita
- Enclaves presentes na unidade BmgT

As letras sobrescritas correspondem a variações químicas internas à unidade.

Figura 8 - Diagramas de variação para elementos maiores, utilizando-se SiO_2 como índice de diferenciação, para as rochas granitóides do maciço Piedade. Símbolos são os mesmos da Fig. 7.

e refletindo o fracionamento de minerais máficos e plagioclásios mais cálcicos. O Al_2O_3 apresenta-se como o melhor diferenciador entre associações de unidades, com teores relativamente mais elevados para MBgd e MBmg que refletem um “trend” mais aluminoso que o de BmgT, como se esperaria dos contrastes mineralógicos observados. Os teores de Na_2O são pouco variáveis, com 3,4 - 3,8 % para todas as unidades, exceto PD379 (~ 3 %), o enclave PD474A (~ 4,5 %) e HBgde (~ 4 %). Da mesma forma, K_2O ocorre entre 4 e 5 %, embora MBgd apresente um caso com 3,5 %; o enclave PD474A atinge valor mínimo (~ 3 %), enquanto PD379 é anômala (> 6 %). As razões Na/K (catiônicas) mostram equilíbrio, com leve predomínio de Na (1,0 - 1,3); PD379 é uma exceção, com mais baixo valor (0,74), ao passo que PD383 e PD415 apresentam valores relativamente mais altos (1,5 - 1,65), assim como também os enclaves e HBgde.

5.1.2. Elementos menores e traços

Na Fig. 9 estão apresentados diagramas correlacionando elementos menores e traços com SiO_2 . Os elementos Ti, P, Ba e Sr mostram uma marcada correlação negativa, indicando fracionamento de minerais ricos em titânio (principalmente ilmenita e/ou magnetita) e apatita para os dois primeiros elementos, respectivamente, enquanto o comportamento compatível de Ba e Sr é indicativo de fracionamento de feldspato $\pm$ biotita. O diagrama Rb x SiO_2 exibe um trend para MBgd e MBmg que mostra uma progressiva queda de Rb com a diferenciação de sílica, que deve ser devido ao fracionamento de biotita; por outro lado, as unidades Bmgr e BmgT parecem desenvolver um trend com maiores teores de Rb do que o apresentado por MBgd e MBmg. No diagrama Zr x SiO_2 , embora não haja uma correlação comum para as unidades, estas exibem trends algo independentes com forte correlação negativa, sugerindo caráter saturado em Zr para os magmas.

Figura 9 - Diagramas de variação para elementos menores e traços, utilizando-se SiO_2 como índice de diferenciação, para rochas granitóides do maciço Piedade. Ver legenda da Fig. 7 para as simbologias.

O diagrama Rb x Sr (Fig. 10a) define claramente um trend para a associação das unidades MBgd e MBmg em que há diminuição dos teores de Rb com a diferenciação, tomando como base o decréscimo de Sr, enquanto o oposto ocorre com BmgT. O fracionamento de Rb encontrado no primeiro caso revela a presença de importante atuação de biotita como uma fase mineral sendo extraída progressivamente com a evolução magmática, um aspecto que não ocorre com a diferenciação de BmgT.

O diagrama K/Rb x SiO₂ (Fig. 10b) corrobora as observações acima de duas tendências principais, visto que as unidades MBgd e MBmg têm num contínuo aumento desta razão com o fracionamento, enquanto uma progressiva diminuição ocorre em BmgT.

Já o comportamento químico mostrado no diagrama para as razões de Th/U x Rb/Cs (Fig. 10c) confere uma correlação positiva que envolve num contexto comum as associações metaluminosas e peraluminosas. Analisadas separadamente, essas razões mostram para ambas as associações principais do maciço, tendência a decrescer com o fracionamento, reflexo do comportamento compatível de Rb e Th (fracionamento de biotita e monazita ou allanita, respectivamente) e incompatível de Cs e U.

Fogem claramente a esta tendência a amostra PD463, da fácies Bmgr (com valores muito altos para ambas as razões, embora seja rica em SiO₂) e, uma vez mais, a amostra PD379, com razão Th/U muito baixa, não correlacionável a Rb/Cs. De modo aparentemente paradoxal, os enclaves se mostram como as rochas com as menores razões Rb/Cs e Th/U. O enriquecimento em LILE destes últimos, tal como sugere Orsini *et al.* (1991) para as ocorrências de enclaves no batólito de Córsega-Sardenha, pode estar relacionado à transferência química destes elementos a partir do magma ácido.

Figura 10 - Diagramas de correlações entre elementos traços, suas razões e variações com a diferenciação de SiO_2 , para os granitóides do maciço Piedade. Símbolos são os mesmos da Fig. 7.

5.1.3. Elementos Terras Raras

Os padrões dos Elementos Terras Raras (ETR) observados nas unidades do maciço Piedade são, de um modo geral, bastante semelhantes e fortemente fracionados. Em MBgd e MBmg (Fig. 11a), praticamente não há anomalias de Eu significativas, a não ser na amostra PD419, em que se observa uma aparente anomalia positiva em Tb, feição incomum que provavelmente deve estar relacionada a erro analítico. As razões La_N/Yb_N são variáveis e estão entre 63 e 127. A unidade Bmgr (Fig. 11b) exibe com fracionamento próximo ao valor médio de MBgd e MBmg, com razão La_N/Yb_N de 100, porém com anomalia de Eu relativamente mais pronunciada. Entretanto, Bmgr^b mostra-se com o padrão menos fracionado entre as unidades do maciço Piedade, dado por relativos empobrecimento em La e enriquecimento em ETR pesados, com razões La_N/Yb_N de 27. A unidade BmgT (Fig. 11c) apresenta valores entre 37 e 60, sendo a que exibe os padrões relativamente mais enriquecidos em ETR pesados; seus enclaves são ainda duas vezes mais enriquecidos nestes elementos e exibem maior similaridade quanto ao fracionamento, apresentando as razões La_N/Yb_N com 31 e 36. As anomalias de Eu são algo intermediárias entre as demais.

No diagrama La/Yb x A/CNK (Fig. 11d) verifica-se correlação positiva entre estas razões, mostrando que um maior fracionamento dos ETR é coerente com um progressivo aumento da peraluminosidade das rochas, refletindo, provavelmente, a maior proporção de monazita na unidade MBgd.

5.1.4. Aranhogramas

Apresenta-se na Figura 12 os diagramas de elementos incompatíveis normalizados pela média da crosta continental (segundo Weaver & Tarney, 1984) para amostras representativas das principais unidades do maciço Piedade.

Figura 11 - Padrões de distribuição de ETR, normalizados para condrito (Boynton, 1984), e diagrama La/Yb x A/CNK para os principais granitóides do maciço Piedade. Símbolos são os mesmos da Fig. 7.

Figura 12 - Padrões de distribuição de elementos incompatíveis, normalizados para a composição média da crosta continental (segundo Weaver & Tarney, 1984), para as três principais associações de fácies e enclaves do maciço Piedade. Símbolos são os mesmos da Fig. 7.

De um modo geral, observa-se que os granitóides do maciço Piedade têm enriquecimento médio entre 2 e 4 vezes a média crustal para a maioria dos elementos incompatíveis, com exceção mais notável para os elementos mais compatíveis que o Sr na amostra PD140A, em muitos casos abaixo da média crustal.

Destacam-se o caráter peculiar da amostra PD379 na linhagem peraluminosa (alto K, Ba, P, Zr, U/Th) e o contraste entre as duas amostras da unidade Bmgr (especialmente quanto a Th, U e ETR leves. Feição notavelmente destoante é o caráter geoquímico dos enclaves presentes na unidade BmgT, mais ricos em incompatíveis (à exceção de Ba, Th, K e Sr) que os granitos que os contém.

5.2. AFINIDADES GENÉTICAS

O conjunto de granitóides do maciço está discriminado como subalcalino em diagrama de Irvine & Baragar (1971) que envolve $\text{SiO}_2 \times \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (Fig. 13). Um enclave ocorre no campo alcalino, porém o comportamento geral do trend distingue estas rochas das tipicamente alcalinas.

No diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971) está bem definido um trend cálcio-alcalino para estas rochas (Fig. 14). Entretanto as rochas da unidade BmgT distinguem-se por definirem uma seqüência relativamente mais distante da aresta AF do que a definida pelas unidades MBgd e MBmg e Bmgr, reflexo de seu maior Mg#.

Na Fig. 15 encontra-se o diagrama $\text{SiO}_2 \times \text{K}_2\text{O}$ com os campos definidos por Peccerillo and Taylor (1976), mostrando uma predominância de termos que ocorrem dentro do campo da Série Cálcio-Alcalina de Alto Potássio, embora muitos ultrapassem o limite com o campo da Série Shoshonítica.

Figura 13 - Diagrama $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$ com os campos Alcalino e Subalcalino definidos por Irvine & Baragar (1971). Símbolos são os mesmos da Fig. 7.

Figura 14 - Diagrama AFM com a separação entre séries toleíticas e cálcio-alcalinas (Irvine & Baragar, 1971). Símbolos são os mesmos da Fig. 7.

No diagrama de Peacock (1931), a extrapolação dos teores de álcalis e de cálcio para o conjunto destas rochas aponta para o seu caráter rico em álcalis, que parece se situar entre os campos álcali-cálcico e alcalino (Fig. 16).

Através do diagrama A-B de Debon & Le Fort (1983), que reflete o caráter metaluminoso versus o peraluminoso das rochas (Fig. 17), as unidades MBgd, MBmg e Bmgr aparecem praticamente dentro do campo da biotita. Já a unidade BmgT, em contraste principalmente com MBgd, apresenta os termos mais máficos dentro do campo da biotita + hornblenda, embora a diferenciação leve ao campo da biotita, assemelhando-se com as composições da unidade Bmgr, com menor valor do índice “B”.

As afinidades químicas dos granitóides do maciço Piedade apresentam-se bem definidas no diagrama A/CNK x A/NK (Maniar & Piccoli, 1989) através de dois “trends” principais (Fig. 18). O primeiro é dado pela unidade BmgT, tipicamente metaluminosa a marginalmente peraluminosa nos termos mais diferenciados, embora com valores sempre abaixo do limite de 1,1, sugerido por Chapell & White (1974) como um valor máximo para os granitóides mais fracionados de uma suíte tipo I. O segundo trend é definido, a grosso modo, pelas unidades marginais MBgd e MBmg, de caráter peraluminoso, onde os termos menos diferenciados, MBgd, apresentam-se com os maiores valores de A/CNK, atingindo um máximo de 1,11, enquanto MBmg, mais diferenciado, ocorre com valores de A/CNK mais próximos a 1. Já a unidade Bmgr, a mais diferenciada do maciço, tem índice A/CNK médio de 1,03 que se sobrepõe aos dos termos mais fracionados tanto da seqüência metaluminosa quanto da peraluminosa.

O estudo das afinidades genéticas de granitóides tipo I ou S foi recentemente reavaliado no trabalho de Chapell & White (1992) sobre os granitóides do Lachlan Fold Belt (LFB), Austrália. Segundo estes autores “para confirmar se os granitos do LFB foram ou não derivados a partir de materiais originais de duas

Figura 15 - Diagrama K_2O x SiO_2 para os granitóides do maciço Piedade, com os campos das séries cálcio-alcalinas definidos por Peccerilo & Taylor (1976). Símbolos são os mesmos da Fig. 7.

Figura 16 - Diagrama de Peacock (1931) com os trends definidos pelos teores de cálcio e álcalis do maciço Piedade.

Figura 17 - Diagrama com os índices A e B de Debon & Le Fort (1983) para as unidades granitóides do maciço Piedade. Símbolos são os mesmos da Fig. 7.

Figura 18 - Diagrama com as variações dos índices A/CNK x A/NK para os granitóides do maciço Piedade. Símbolos são os mesmos da Fig. 7.

composições distintas, uma ígnea, a outra sedimentar, será mais instrutivo examinar as composições dos granitos mais máficos. As rochas mais máficas constituem a melhor imagem de suas origens...”. Desta forma, é visível que quanto mais máfica torna-se a associação MBgd e MBmg, o índice A/CNK torna-se progressivamente maior; o contrário ocorre com BmgT, tornando-se o índice A/CNK cada vez menor nas rochas máficas. Uma possível interpretação para este comportamento deve-se, portanto, a uma sucessão de termos com composições cada vez mais próximas àquelas de suas fontes.

A diferenciação de magmas graníticos distintos tende, ao longo de sua evolução, a uma contínua remoção de suas diferenças químicas, gerando-se composições cada vez mais próximas às “fusões de temperatura mínima”, com o índice A/CNK se aproximando cada vez mais de 1 (Chapell & White, 1992). É neste contexto que, provavelmente, ocorrem os granitos da unidade Bmgr, com valores de A/CNK que mostram um caráter levemente peraluminoso (Fig. 18), sobrepondo-se aos termos mais fracionados tanto do “trend” definido por MBgd e MBmg, assim como àqueles do trend definido por BmgT. Levando em conta este aspecto, a unidade Bmgr é de difícil caracterização quanto à sua afinidade genética, dada a grande semelhança entre os produtos altamente diferenciados de uma seqüência tanto metaluminosa, quanto peraluminosa.

As análises químicas realizadas em duas amostras de enclaves microgranulares presentes em BmgT revelam valores do índice A/CNK de 0,89 (PD474A) e 0,88 (PD481B), mostrando serem fortemente metaluminosas (Fig. 18).

5.3. COMPARAÇÃO COM GRANITÓIDES REGIONAIS

A comparação química entre o maciço Piedade e outros granitóides adjacentes que se acredita constituírem parte de maciços distintos é apresentada a seguir com base em aspectos químicos peculiares. Os resultados analíticos de 10 amostras dos granitos regionais são apresentadas na tabela 4.

Em diagramas de variação de Harker (Fig. 19), com SiO_2 como indicador de diferenciação, os granitóides tipo Ibiúna (HBgd) aparecem geralmente próximos aos termos mais máficos da unidade BmgT. As unidades MBmge (granitos equigranulares) e, principalmente, MBmgi (maciço Serra dos Lopes) ocorrem sempre próximos ou mesmo se sobrepõem aos granitos da unidade Bmgr. As rochas associadas ao maciço Serra da Bateia (Bsg e Bsgf) exibem os mais baixos valores de Al_2O_3 e CaO .

Um importante discriminante, o $\text{Mg\#}$ distingue grupos granitóides com valores bem definidos (Fig. 20), como também constatado anteriormente para as unidades do maciço Piedade. Os granitóides HBgd apresentam valores intermediários entre a associação MBgd - MBmg e unidade BmgT, em torno de 42. Já MBmgi e MBmge não diferem significativamente de Bmgr, em torno de 35, embora ocorram alguns valores mais baixos. Enquanto isto, os granitóides do maciço Serra da Bateia apresentam os mais baixos valores, entre 20 e 23.

No diagrama $\text{A/CNK} \times \text{A/NK}$ (Fig. 21), HBgd ocorre no campo metaluminoso, com índices de A/CNK de 0,97 e 0,98, valores semelhantes aos mais baixos de BmgT. A unidade MBmgi, de caráter peraluminoso, mostra-se com valores de A/CNK próximos aos mais altos de Bmgr, embora ocorra um caso isolado com valor em torno de 1,1; os A/CNK de MBmge sobrepõem-se aos mais baixos de Bmgr. Os granitos do maciço Serra da Bateia apresentam o índice A/CNK junto ao limite entre os campos metaluminoso e peraluminoso e têm os mais baixos índices A/NK , refletindo o baixo conteúdo em Al_2O_3 .

TABELA 4 - Composição química dos granitóides vizinhos ao maciço Piedade. Ver Fig. 19 para abreviações.

	HBgd		MBmge		MBmgi				Bsg	Bsgf
	PD511	PD233	PD170	PD1159B	PD358	PD251B	PD146B	PD336	PD193	PD304
SiO ₂	66,86	67,75	69,02	73,94	70,59	71,10	72,04	74,20	71,93	72,42
TiO ₂	0,63	0,61	0,52	0,14	0,43	0,35	0,37	0,20	0,35	0,40
Al ₂ O ₃	15,07	14,67	14,83	14,33	14,87	14,66	15,26	13,96	13,62	13,53
Fe ₂ O ₃ ^t	4,00	3,98	2,81	1,33	2,44	2,09	2,22	1,38	2,71	2,80
MnO	0,07	0,07	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,15	0,07
MgO	1,47	1,51	0,71	0,30	0,62	0,52	0,65	0,26	0,34	0,42
CaO	2,50	2,53	1,83	1,39	1,54	1,48	1,62	1,08	0,93	1,15
Na ₂ O	3,55	3,54	3,57	3,27	3,54	3,80	3,74	3,42	4,08	3,44
K ₂ O	4,60	4,39	5,22	5,55	5,24	4,82	5,25	4,82	4,95	5,35
P ₂ O ₅	0,20	0,21	0,15	0,03	0,16	0,12	0,15	0,07	0,09	0,16
TOTAL	98,95	99,26	98,72	100,32	99,47	98,98	101,34	99,43	99,15	99,74
Cr	-	-	-	-	-	6,2	8,9	6,2	12,4	-
Sc	-	-	-	-	-	2,7	2,6	1,9	5,2	-
V	25	27	< 15	< 15	23	-	-	-	25	-
Rb	-	-	-	-	211	258	222	204	-	-
Cs	-	-	-	-	-	6,2	5,4	3,5	9,8	-
Ba	1285	1407	1163	1211	1070	860	1133	635	340	477
Sr	683	704	416	472	390	340	434	270	75	113
Ta	-	-	-	-	-	< 0,5	< 0,5	1,2	2,9	-
Hf	-	-	-	-	-	5,7	6,3	4,0	7,7	-
Zr	220	218	284	84	209	189	218	101	328	256
Y	25	57	6	3	-	-	-	-	-	31
Th	-	-	-	-	-	23,6	19,4	16,9	25,2	-
U	-	-	-	-	-	3,3	4,2	5,3	17,6	-
La	57	52	66	25	-	77,8	100,0	48,3	83,1	-
Ce	-	-	-	-	-	140	184	89	170	-
Nd	-	-	-	-	-	41	52	24	57	-
Sm	-	-	-	-	-	6,41	6,95	4,30	10,30	-
Eu	-	-	-	-	-	1,07	1,35	0,84	0,99	-
Tb	-	-	-	-	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-
Yb	-	-	-	-	-	0,56	0,54	0,35	4,79	-
Lu	-	-	-	-	-	0,06	0,11	< 0,05	0,57	-
A/CNK	0,98	0,97	1,00	1,03	1,04	1,04	1,03	1,09	0,99	1,00
A/NK	1,39	1,39	1,29	1,26	1,29	1,28	1,29	1,29	1,13	1,18
N/K	1,17	1,23	1,04	0,9	1,03	1,2	1,08	1,08	1,25	0,98
Mg#	42,12	42,90	33,35	30,88	33,5	33,0	36,7	27,2	19,9	22,9
La _N /Yb _N	-	-	-	-	-	138,9	185,2	138	17,3	-
Ce _N /Yb _N	-	-	-	-	-	250	340,7	254,3	35,5	-

Figura 19 - Diagramas de variação para elementos maiores dos granitóides do maciço Piedade e adjacentes, utilizando SiO_2 como índice de diferenciação. Símbolos: Maciço Piedade - $\circ$ MBgd e MBmg, $\square$ BmgT, $\blacktriangle$ Bmgr; $\blacksquare$ Maciço Ibiuna (HBgd); $\times$ Maciço Serra dos Lopes (MBmgi); $+$ Granitos equigranulares róseos (MBmge); $\diamond$ Maciço Serra da Bateia (Bsg e Bsgf).

No diagrama Sr x Ba (Fig. 22), a unidade HBgd corresponde aos termos mais ricos nestes elementos incompatíveis, junto aos termos menos fracionados de BmgT e MBgd. Enquanto MBmge mostra-se com teores similares a Bmgr, MBmgi define um “trend” com baixo conteúdo nestes elementos. Notavelmente, as associações Serra da Bateia ocorrem com os mais baixos conteúdos em Ba e Sr, com médias em torno de 400 e 100 ppm, respectivamente.

As análises químicas de ETR foram realizadas apenas para as unidades MBmgi e Bsg. A primeira, com razão La_N/Yb_N média de 160, define um padrão relativamente mais fracionado do que o presente para maciço Piedade (Fig. 23a). Já Bsg tem semelhanças com as unidades do maciço Piedade em relação ao conteúdo em ETR leves, mas difere destas por uma anomalia de Eu um pouco mais pronunciada e, principalmente, pelo notável enriquecimento em ETR pesados, definindo o padrão menos fracionado entre as rochas analisadas (Fig. 23b). Uma interpretação possível para o maior ou menor fracionamento dos padrões de ETR destas rochas pode estar relacionado, respectivamente, à presença ou não de anfibólio e/ou granada residuais na fonte destas rochas, atuando portanto na retenção de ETR pesados, haja visto que tais minerais apresentam um alto K_d (coeficiente de partição para o equilíbrio cristal-líquido) para estes elementos. Por outro lado, deve ser considerada também a possibilidade de que variações nos padrões de ETR dos granitóides reflitam variações originalmente presentes nas fontes. Além disto, trabalhos mais recentes têm mostrado que em muitos casos, o comportamento geoquímico dos ETR pesados pode não ser governado por processos em equilíbrio, mas especificamente pelo tempo e processos de extração dos magmas, dados os baixos coeficientes de difusão desses elementos em minerais como granada e zircão (e.g. Harris, 1996).

Figura 20 - Diagrama de variação de Mg#, com SiO₂ como índice de diferenciação, para as rochas do maciço Piedade e granitóides adjacentes. Símbolos são os mesmos da Fig. 19.

Figura 21 - Diagrama com os índices A/CNK x A/NK para os granitóides do maciço Piedade e de áreas vizinhas. Símbolos são os mesmos da Fig. 19.

Figura 22 - Diagrama correlacionando Ba e Sr para os granitóides do maciço Piedade e de áreas circunvizinhas. Símbolos são os mesmos da Fig. 19.

Figura 23 - Padrões de ETR para granitos do maciço Piedade e maciços vizinhos, normalizados para condrito (Boynton, 1984). Em a) são comparados os granitos do maciço Serra dos Lopes (MBmgi) com os da unidade Bmgr do maciço Piedade. Em b), uma amostra do maciço Serra da Bateia é comparada com granitos das unidades MBgd, MBmg e BmgT do maciço Piedade. Símbolos são os mesmos da Fig. 19.

5.4. POSSÍVEIS AFINIDADES TECTÔNICAS

Os granitóides mais abundantes na região de Piedade foram primeiramente enquadrados num contexto tectônico por Hasui (1973), que os descreveu como “numerosos corpos sin-tectônicos parautoctones constituídos pelo chamado granito tipo Pirituba”, enquanto aqueles presentes a oeste desta área, formadores dos maciços Serra dos Lopes e Pilar do Sul, foram considerados como pós-tectônicos. Posteriormente, Stein (1984) caracterizou outras ocorrências, agrupadas como maciço Serra da Bateia, também de caráter pós-tectônico. Janasi *et al.* (1990) definiram as rochas porfiríticas portadoras de hornblenda a leste de Piedade como “tipo Ibiúna” e consideraram como equivalentes menos deformados do tipo Santa Isabel (Campos Neto *et al.*, 1983), de caráter sin-tectônico; no caso das rochas definidas como tipo Piedade, estes autores retrataram o fato destas se assemelharem a outros tipos definidos, tornando a sua separação difícil, mas supuseram um contexto tectônico sin-orogênico.

O estudo do maciço Piedade procura, à medida do possível, dispor as unidades aqui definidas numa estratigrafia baseada em escassas relações de contato, diferenças quanto ao grau de deformação, disposição de corpos granitóides segundo um zoneamento faciológico e grau de diferenciação química. Como uma ferramenta adicional, a caracterização dos granitóides em relação ao ambiente tectônico é sugerida a seguir a partir do comportamento químico de elementos maiores e traços e, embora estes dados devam ser analisados com cautela, é possível extrair algumas importantes diferenças entre as unidades granitóides aqui definidas.

No diagrama de discriminação tectônica que utiliza os índices R1 x R2 (Batchelor & Bowden, 1985), definidos para elementos maiores, é possível observar que a variedade granitóide presente na área encontra-se predominantemente dentro do campo dos granitóides tardi-orogênicos (Fig. 24). Entretanto, em um contexto mais restrito, as unidades aparecem definidas próximas a campos de

diferentes contextos tectônicos. Assim, é visível, em primeira instância, que os granitóides pertencentes ao maciço Serra da Bateia se distinguem por características químicas mais próximas às de caráter “anorogênico”. Já as unidades MBgd e MBmg mostram ambigüidade entre os campos de granitóides pós-colisionais e tardi-orogênicos, assim como ocorre com HBgd e, em menor grau, BmgT. A unidade Bmgr aparece bem definida no campo tardi-orogênico junto à maioria dos termos mais equigranulares (MBmge e Mbmgi). Isoladamente, dois granitóides representantes de BmgT e MBmgi ocorrem no campo sin-orogênico.

Utilizando elementos traços, a discriminação tectônica a partir do diagrama $Yb + Ta \times Rb$ de Pearce *et al.* (1984) mostra um predomínio de granitóides junto ao campo de “granitos sin-colisionais”, embora alguns granitóides MBgd e MBmg possuam alguma semelhança com aqueles originados em arco vulcânico (Fig. 25).

Na Fig. 26, o diagrama Rb-Hf-Ta de Harris *et al.* (1986) mostra que os granitóides encontram-se principalmente no campo definido como magmatismo de “arco vulcânico”, numa região do diagrama onde existe superposição com granitos “colisionais” (campo não delimitado no diagrama original).

Figura 24 - Situação dos granitóides do maciço Piedade e de áreas vizinhas no diagrama R1-R2 para discriminação tectônica (Batchelor & Bowden, 1985). Símbolos são os mesmos da Fig. 19.

Figura 25 - Diagrama Rb x Yb + Ta (Pearce *et al.*, 1984) para discriminação tectônica dos maciços Piedade e Serra dos Lopes. Símbolos são os mesmos da Fig. 19.

Figura 26 - Diagrama Rb x Hf x Ta (Harris *et al.*, 1986) para a discriminação tectônica dos maciços Piedade e Serra dos Lopes. Símbolos são os mesmos da Fig. 19.

CAPÍTULO 6

GEOCRONOLOGIA

6.1. SISTEMA Rb-Sr

Na Tabela 5 encontram-se os dados isotópicos de Rb-Sr para 6 amostras da unidade BmgT. A escolha deste conjunto de amostras buscou garantir, à medida do possível, caráter cogenético (exclusivamente amostras de uma unidade) e dispersão de pontos adequada para a confecção de isócrona. A idade assim obtida foi de 681 ± 21 Ma (Fig. 27a), com razão inicial $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ de $0,70960 \pm 0,00025$, a partir de um espalhamento das razões $^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$ entre 0,6 e 1,5. O MSWD é relativamente baixo (1,742), refletindo ser esta uma isócrona *s.s.*. De fato, como sugerido por Brooks *et al.* (1972) e posteriormente sumariado por Rollinson (1993), o valor de MSWD que melhor reflete o ajuste ideal para a regressão isocrônica deve ser igual ou menor a 1 se aplicado a um número de amostras infinitamente grande; no caso de um número de amostras relativamente pequeno, o valor de MSWD igual a 2,5 foi definido como aceitável para a definição de isócrona. Acima deste valor, a regressão linear entre os pontos obtidos passa a ser uma “errócrona” (Brooks *et al.*, 1972).

A idade obtida posiciona estes granitóides estratigraficamente próximos às manifestações magmáticas brasileiras mais antigas do Estado de São Paulo, de caráter sin-orogênico, em torno de 650 - 625 Ma (e.g. Vlach, 1993; Janasi *et al.*, 1995), com pico aparente para o intervalo mais jovem entre 630-625 Ma, a julgar por dados U-Pb mais recentes (Topfner, 1996). A idade dos granitóides do maciço Piedade estudados definitivamente não se enquadra no intervalo reconhecido para o magmatismo tardi a pós-orogênico (Cinturão Itu), de idade entre 610 e 580 Ma (Vlach *et al.*, 1990; Vlach, 1993).

A razão inicial $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ de 0,7096 é bastante semelhante àquelas dos granitóides cálcio-alcálinos de outros maciços sin-orogênicos do Estado de São Paulo, como dos maciços Pinhal-Ipuiúna (Haddad, 1995), Socorro, Itaquí e Cantareira (Tassinari, 1988; Topfner, 1996).

Observando a isócrona da Fig. 27a é possível notar que as razões isotópicas Rb-Sr para as amostras PD1037 e PD474B são as que mostram alinhamento menos satisfatório com as demais. Do mesmo modo, na Tabela 4, as razões iniciais destas amostras para 680 Ma apresentam-se menos uniformes, com o mais baixo valor para PD474B ($0,7088 \pm 0,0004$) e mais alto para PD1037 ($0,7102 \pm 0,0004$). As causas para estas diferenças podem ser diversas, tais como derivações de magmas não consangüíneos, com razões iniciais diferentes, ou alternativamente a atuação de processos de alteração hidrotermal ou mesmo alterações superficiais.

Através da exclusão da amostra PD474B do conjunto, não houve mudança significativa que pudesse mostrar um MSWD de melhor ajuste, nem mesmo acarretou mudanças em relação à inclinação da isócrona. Já no caso da amostra PD1037, é visível que a sua presença conduz a isócrona a uma maior declividade e termina por gerar uma idade mais elevada para estas rochas. Dessa forma, na isócrona da Fig. 27b, na qual se opta pela exclusão da amostra PD1037, a idade obtida é 654 ± 24 Ma, com razão inicial $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ de $0,70986 \pm 0,00027$ e MSWD de 1,163, mostrando um melhor ajuste em relação à isócrona anterior. Esta tentativa encontra suporte também nas razões iniciais de $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ obtidos para 650 Ma (Tabela 3), com valores concentrados em torno de 0,710, enquanto PD1037 teria 0,711. Neste caso, a idade apresenta-se mais próxima à maior concentração de dados ora existente para os granitóides sin-orogênicos regionais. Como no conjunto de amostras estudadas há uma forte correlação negativa entre Rb e Sr que só é quebrada por essa amostra (Tabela 4), pode ter havido uma abertura de sistema relacionada, possivelmente, à perda de Rb. Portanto, opta-se, provisoriamente, pela isócrona da Fig. 27b, com menor MSWD, e apenas com pontos coerentes dentro de um comportamento geoquímico comum para

Rb e Sr, definindo uma idade em torno de 650 Ma a se confirmar, futuramente, com análise isotópica U-Pb.

6.2. SISTEMA Sm-Nd

Na Tabela 3 encontra-se, além dos dados isotópicos para Rb-Sr, uma única análise isotópica Sm-Nd realizada para a amostra PD481A. O ϵ_{Nd} obtido para 650 Ma apresenta o valor de -11,7, similar àqueles obtidos em granitóides sin-orogênicos regionais (e.g. Tassinari *et al.*, 1989; Vlach, 1993).

Num âmbito geral, as composições isotópicas do sistema Sm-Nd sugerem uma derivação a partir de fusão parcial de material de origem crustal com baixo Sm/Nd, representada por um protolito que se diferenciou de um manto empobrecido (DM) no Proterozóico médio ($T_{\text{DM}} = 1,77$ Ga). Embora este modelo possa estar relacionado à formação de crosta continental, ele também pode representar a formação de um reservatório mantélico enriquecido (Condie, 1986, 1989, Jacobsen and Dymek, 1988). Este último evento parece feição comum a partir de 2,5 Ga quando, então, a reciclagem de crosta continental para dentro do manto, ou seja, a adição de componentes enriquecidos através da subducção, passa a ter atuação cada vez mais importante (De Paolo, 1983).

Tabela 5 - Dados isotópicos para os granitóides BmgT do maciço Piedade

Amostra	Rb	Sr	$^{87}\text{Rb} / ^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$	$(^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr})_{680}$	$(^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr})_{650}$
PD481A	164,4	807,2	$0,5901 \pm 0,0084$	$0,71532 \pm 0,00007$	$0,709594 \pm 0,000107$	$0,709848 \pm 0,000105$
PD438	184,4	660,1	$0,8090 \pm 0,0230$	$0,71765 \pm 0,00006$	$0,709800 \pm 0,000231$	$0,710148 \pm 0,000222$
PD64	216,4	600,0	$1,0450 \pm 0,3000$	$0,71978 \pm 0,00009$	$0,709641 \pm 0,000305$	$0,710090 \pm 0,000292$
PD1021	248,7	569,4	$1,2660 \pm 0,0360$	$0,72177 \pm 0,00008$	$0,709486 \pm 0,000358$	$0,710031 \pm 0,000343$
PD474B	265,2	545,4	$1,4090 \pm 0,0400$	$0,72251 \pm 0,00007$	$0,708839 \pm 0,000394$	$0,709445 \pm 0,000377$
PD1037	239,5	466,7	$1,4880 \pm 0,0420$	$0,72468 \pm 0,00008$	$0,710242 \pm 0,000415$	$0,710882 \pm 0,000398$
Amostra	Sm	Nd	$^{147}\text{Sm} / ^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$	$(^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd})_{650}$	ϵNd_{650}
PD481A	$8,209 \pm 0,004$	$55,220 \pm 0,024$	$0,090460 \pm 0,000063$	$0,511589 \pm 0,000022$	$0,511204 \pm 0,000022$	-11,7

a)

b)

Figura 27 - Diagramas isocrônicos Rb-Sr em rocha total para o maciço Piedade

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES SOBRE A GÊNESE E EVOLUÇÃO DO MACIÇO PIEDADE

7.1. SITUAÇÃO DO MACIÇO PIEDADE NO CONTEXTO REGIONAL

Na literatura prévia as rochas da região de Piedade foram agrupadas como parte de um corpo maior que tem recebido diferentes denominações, Complexo Piedade (Hasui, 1973), Batólito Ibiúna (AlgarTE *et al.*, 1974), Batólito Agudos Grandes (Bettencourt *et al.*, 1971).

Neste trabalho, define-se o maciço Piedade como uma intrusão independente, situada estratigraficamente junto aos granitos sin-orogênicos brasileiros (e.g. tipo Ibiúna de Janasi *et al.* 1990), e anterior aos granitos tardios (Serra dos Lopes de Hasui, 1973, e Serra da Bateia, de Stein, 1984). Esta posição estratigráfica é confirmada pela datação Rb-Sr aqui apresentada (opção por 654 ± 24 Ma, cf. item 6.1). Um aspecto ainda carente de esclarecimento é a posição estratigráfica dos granitos mais félsicos do maciço Piedade (unidade Bmgr) que são intrusivos naqueles mais máficos (MBgd e MBmg) e que mostram algumas semelhanças petrográficas e geoquímicas com maciços considerados tardi-orogênicos (cf. item 5.3). No atual estágio prefere-se considerá-los de idade semelhante devido à consistência petrográfica e estrutural em relação às demais unidades do maciço.

7.2. A ESTRUTURAÇÃO DO MACIÇO PIEDADE: CONSIDERAÇÕES SOBRE MECANISMOS DE ALOJAMENTO.

Algumas evidências estruturais obtidas para o maciço Piedade estão a seguir resumidas, conforme o conjunto de dados disponíveis até o momento:

- as unidades do maciço Piedade apresentam zoneamento concêntrico, com bordas mais máficas, seguidas pelas porções mais félsicas e um núcleo de índice de cor intermediário, composicionalmente diferente das unidades de borda.

- a disposição da foliação e do *strain* acompanha a forma do maciço. Nas bordas as foliações são mais intensas e apresentam-se com mergulhos fortes direcionados para dentro do maciço.

- as rochas porfíricas, em geral, mostram um alinhamento de megacristais eudrais de feldspato alcalino, indicadores do caráter magmático da foliação, e também mostram evidências de recristalização no estado sólido, particularmente na matriz.

- a unidade central tem geometria que sugere truncamento do zoneamento concêntrico do maciço, que parece acompanhado por um padrão próprio de distribuição da foliação.

A identificação dos mecanismos de alojamento dos magmas que formaram o maciço requer estudos específicos que ainda não foram realizados. Algumas das feições estruturais mencionadas sugerem que o maciço Piedade constitui uma intrusão forçada que deformou as rochas encaixantes para obter o seu espaço e registrou internamente o esforço na forma de foliações magmáticas. Entre estas feições, destacam-se: a forma subcircular do plúton e seu zoneamento

aproximadamente concêntrico; o caráter concordante entre as foliações do plúton e as das rochas encaixantes, que têm mergulhos acentuados, e são mais intensas junto aos contatos.

A distinção entre diapirismo e “ballooning” como mecanismos de alojamento está basicamente relacionada, respectivamente, ao movimento de ascensão versus a expansão radial. Os dados existentes não permitem uma opção entre estes dois mecanismos, haja visto que não foram realizados estudos de indicadores cinemáticos (lineações de estiramento nas rochas encaixantes ou avaliações sobre o tipo de *strain* registrado nos granitos e encaixantes).

De qualquer forma, a disposição da foliação, em particular nas bordas oriental e meridional do plúton sugere que o nível de erosão atual encontra-se abaixo da linha do diâmetro equatorial do plúton.

7.3. A EVOLUÇÃO DO MACIÇO PIEDADE: CONSIDERAÇÕES PETROLÓGICAS

7.3.1. A identificação de linhagens petrológicas

Uma conclusão importante, evidenciada pela petrografia e confirmada pela geoquímica, é a presença de duas linhagens magmáticas no maciço Piedade.

A primeira está presente nas unidades de borda do maciço (MBgd e MBmg) e é constituída por monzogranitos, ocasionalmente granodioritos, peraluminosos, portadores de muscovita magmática, apresentando monazita como acessório comum.

A segunda (unidade BmgT) é, por outro lado, constituída por um corpo interno, formado por monzogranitos metaluminosos portadores de titanita e allanita magmáticas.

As rochas mais félsicas do maciço (unidade Bmgr) têm caráter levemente peraluminoso e são compatíveis com diferenciados de ambas as linhagens, parecendo constituir os pulsos mais jovens.

A existência de duas linhagens químicas distintas constituindo o maciço Piedade coloca em questão a existência de algum vínculo genético entre estes magmas.

Uma primeira hipótese é que se trata de magmas originados a partir de fontes distintas que foram ativadas em um mesmo evento tectônico. Nesse sentido, há de se destacar que a linhagem metaluminosa guarda clara semelhança com magmatismo granítico cálcio-alcalino continental rico em LILE, de afinidades com os de tipo I na nomenclatura de Chapell & White (1974). Em contraste, os granitos da linhagem peraluminosa não são compatíveis com fracionados de séries cálcio-alcalinas, uma vez que os termos mais máficos exibem os maiores índices A/CNK. Tal feição assemelha-se àquela observada em granitos tipo S, em consonância com o modelo restítico (Chapell & White, 1992). Deve-se considerar, contudo, que há diferenças importantes entre os granitos peraluminosos estudados e aqueles do Lachlan Fold Belt (LFB), sejam elas petrográficas (ausência de cordierita), sejam químicas (A/CNK sempre inferior a 1,11). Desse modo, para o maciço Piedade, seria possível considerar uma contribuição metassedimentar de caráter imaturo ou mesmo uma fonte mista, ígnea + metassedimentar.

Uma segunda hipótese genética pode ser levantada levando-se em consideração algumas semelhanças petrográficas e químicas entre os termos de mesmo índice de cor das linhagens peraluminosa e metaluminosa (unidades MBmg e

BmgT, respectivamente). Entre outros aspectos comuns às duas unidades, destaca-se o caráter porfirítico e o comportamento geoquímico para a maior parte dos elementos maiores, menores e traços, incluindo Ba, Sr, Zr e outros. Nesse sentido, faz-se necessária uma explicação para a origem das diferenças entre estas unidades, que se concentram no aspecto mineralógico devido ao contraste muscovita / monazita x titanita / allanita e químico, no comportamento de Al_2O_3 (obviamente com teores mais altos na unidade peraluminosa) e de alguns traços, como dos ETR, que tem padrões mais fracionados na unidade MBmg, que deve certamente refletir a presença de monazita. Uma hipótese simples, que poderia vincular as duas linhagens seria a origem dos magmas peraluminosos devido à contaminação por material metassedimentar durante a ascensão. Tal contaminação teria correspondência, satisfatoriamente, no incremento do índice A/CNK e, eventualmente, também no aumento do teor de ETR leves se o componente sedimentar contribuiu com alguma monazita. Neste modelo, a diminuição do Mg# poderia estar relacionada a um caráter mais reduzido do contaminante, o que de fato é típico da maioria das rochas metassedimentares. Esta hipótese é consistente com aquela lançada previamente para os granitos regionais (Wernick *et al.*, 1989) e com os modelos do magmatismo granítico mesozóico/cenozóico da costa oeste norte-americana, propostos por Ague & Brimhall (1987).

7.3.2. A origem dos enclaves

Enclaves microgranulares máficos a intermediários estão presentes em todas as unidades do maciço. Xenólitos *s.s.* ocorrem quase que somente nas regiões de contato, onde a unidade de borda invade as rochas encaixantes xistosas.

As feições de campo e petrografia dos enclaves microgranulares decimétricos, sugerem que estes constituem manifestações de magmatismo mais máfico que invadiu e que cristalizou dentro do magma granítico hospedeiro (cf. itens

3.2.2.7 e 4.2.7). Estes magmas mostram sinais de interação com magmas graníticos, tal como mostram as bordas ricas em micas e megacristais provavelmente desprendidos do granito envolvente.

Os enclaves menores, centimétricos, são geralmente micáceos. Por outro lado, em alguns locais encontram-se enxames de diques. Ocasionalmente, rochas máficas a intermediárias junto às bordas do maciço formam pequenos diques irregulares (unidade HBgd). Uma possível interpretação para estas observações seria que as rochas máficas a intermediárias finas a médias, presentes no maciço, derivam todas de um único tipo de magma e que as diferenças petrográficas e químicas observadas refletem sua interação em graus diferentes. Assim, as ocorrências de maiores dimensões (diques) preservariam melhor o caráter metaluminoso primitivo desse magma, e o caráter metaluminoso ou peraluminoso dos enclaves seria um reflexo do granito encaixante.

Alternativamente, também seria possível a existência de uma diversidade de contribuições de magmas intermediários presentes no maciço. Uma possível evidência para isto poderia ser devido à presença de enclaves portadores de muscovita magmática.

7.3.3. Processos de fracionamento nas linhagens petrológicas

A variação petrográfica e química observada dentro das duas linhagens principais verificadas no maciço Piedade pode ser explicada por processos de fracionamento cristal-líquido, seja cristalização fracionada, seja separação de restitos. Com base nas observações petrográficas, especialmente a ordem de cristalização dos minerais, e variações geoquímicas internas às unidades granitóides, podem ser feitas algumas avaliações preliminares sobre o fracionamento no maciço Piedade.

É possível inferir que a diferenciação dentro da linhagem peraluminosa (unidades MBgd e MBmg) envolveu a extração das fases principais plagioclásio e biotita ($\pm$ muscovita), o que responde pelo caráter compatível de Mg, Ca, Fe, Al, Ti, Ba, Sr e Rb. Adicionalmente, a diminuição dos teores de P e Zr com o fracionamento é coerente com a cristalização precoce destes minerais nas rochas estudadas. Em parte, a diminuição dos teores de Fe e Ti pode ser atribuída à extração de um óxido opaco, provavelmente ilmenita. A participação de monazita no fracionamento é sugerida devido ao comportamento de Th e ETR leves. A evidente correlação entre La/Yb e A/CNK, que diminui com o fracionamento, reforça a atuação conjunta de biotita e monazita.

Na linhagem metaluminosa (unidade BmgT), tendências de variações observadas para elementos maiores parecem similares às observadas. Assim, o papel do fracionamento de plagioclásio, zircão, apatita e minerais opacos é análogo ao caso anterior. O comportamento do índice A/CNK e do Rb, que parece portar-se como incompatível, sugere que a biotita não tem participação tão significativa no fracionamento como ocorre com a linhagem peraluminosa. Embora ainda não existam evidências geoquímicas mais seguras, é possível que titanita e allanita participem, ao menos nas fases mais avançadas da diferenciação destes magmas.

Como foi enfatizado anteriormente, a unidade Bmgr corresponde a magmas diferenciados que são, a grosso modo, coerentes com a composição de termos mais diferenciados de ambas as linhagens. Por outro lado, não se exclui a possibilidade de que correspondam inclusive a manifestações mais jovens, o que deve ser investigado por estudos geoquímicos e isotópicos futuros.

BIBLIOGRAFIA

- Ague, J. J. & Brimhall, G. H. - 1987, Regional variations in bulk chemistry, mineralogy, and the compositions of mafic and accessory minerals in the batholiths of California. *Geological Society of America Bulletin*, **100**: 891 - 911.
- Algarte, J. P.; Martins, A. J. M.; Morgental, A.; Daitx, E. C.; Andrade Jr, F. S.; Batolla Jr, F.; Ferreira, F. J. F.; Pinto, G. G.; Cunha, H. C. S.; Drumond, J. B. V.; Rodrigues, J. C.; Cavalcante, J. C.; Yamamoto, K.; Kaefer, L. Q.; Chieregati, L. A.; Pinho Filho, W. D. & Addas, W. - 1974, Projeto Sudeste do Estado de São Paulo. *Relatório final*. DNPM/CPRM, São Paulo, vol 1 e 2.
- Almeida, F. F. M. - 1953, Considerações sobre a geomorfogênese da Serra de Cubatão. *Boletim Paulista de Geografia*, São Paulo, **15**: 3 - 17.
- Almeida, F. F. M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B. B. - 1976, The Upper Precambrian of South America. *Boletim IG-USP*, São Paulo, **7**: 45 - 80.
- Amaral, G.; Bushee, J.; Cordani, U. G.; Kawashita, K. & Reynolds, J. H. - 1967, Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **31**: 117 - 142.
- Babinski, M. - 1989, Metodologia isotópica Pb/Pb. Aplicação aos migmatitos e rochas associadas da região de São José dos Campos, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), 101 p.
- Batchelor, R. A. & Bowden, P. - 1985, Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, **48**: 43 - 45.
- Bettencourt, J. S.; Fúlfaro, V. J.; Girardi, V. A. V. & Petri, S. - 1971, Geologia da Folha de Capão Bonito, SP. In: XXV Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, *Anais*, **1**: 99.
- Boynton, W. V. - 1984, Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: P. Henderson (ed.), *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, pp. 63 - 114.
- Brooks, C.; Hart, S. R. & Wendt, T. - 1972, Realistic use of two-error regression treatments as applied to rubidium-strontium data. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, **10** (2): 551 - 577.
- Campos Neto, M. C. - 1983, Contribuição à litoestratigrafia e estrutura do Grupo Açungui no sudeste do Estado de São Paulo. In: IV Simpósio Regional de Geologia, São Paulo, *Atas*, pp. 103 - 112.

- Campos Neto, M. C. & Basei, M. A. S. - 1983, Estruturação brasileira do nordeste de São Paulo. *In: IV Simpósio Regional de Geologia, São Paulo, Atas*, pp. 61 - 78.
- Campos Neto, M. C.; Bergmann, M.; Júnior, O. S. & Figueiredo, M. C. H. - 1990, Geologia da Folha Pilar do Sul, escala 1:25.000. *Relatório Final*. Secretaria da Indústria e Comércio Ciência e Tecnologia. Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais. Vol. 1, 143 p.
- Campos Neto, M. C.; Basei, M. A. S.; Artur, A. C.; Silva, M. E.; Machado, R.; Dias Neto, C. M.; Fragozo César, A. R. & Souza, A. P. - 1983, Geologia das Folhas Piracaia e Igaratá. *In: 1ª Jornada sobre a Carta Geológica do Estado de São Paulo, escala 1:50.000. PRÓ-MINÉRIO, São Paulo*, pp. 55 - 79.
- Chapell, B. W. & White, A. J. R. - 1974, Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, **8**: 173 - 174.
- Chapell, B. W. & White, A. J. R. - 1992, I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt, *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **83**: 1 - 26.
- Condie, K. C. - 1986, Origin and early growth rate of continents. *Precambrian Research*, **32**: 261 - 278.
- Condie, K. C. - 1989, *Plate Tectonics and Crustal Evolution* (3rd ed). Pergamon, 476 p.
- Cordani, U. G. & Bittencourt, I. - 1967, Determinação de idade Potássio-Argônio em rochas do Grupo Açungui. *In: XXI Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba, Anais*, pp. 218 - 233.
- Cordani U. G. & Kawashita, K. - 1971, Estudo geocronológico pelo método Rb-Sr, de rochas graníticas intrusivas no Grupo Açungui. *In: XXV Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba, Anais*, pp. 105 - 110.
- Cordani, U. G. & Teixeira, W. - 1979, Comentários sobre as determinações geocronológicas existentes para as regiões das Folhas Rio de Janeiro, Vitória e Iguape. *In: Schobbenhaus F^o, C., coord. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. DNPM, Rio de Janeiro*, pp. 175 - 208.
- Coutinho, J. M. V. - 1953, Petrologia da região de São Roque, SP. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, USP, Boletim 159, Mineralogia, **11**, 80 p.
- Coutinho, J. M. V. - 1972, Petrologia do pré-Cambriano em São Paulo e arredores. *Boletim IGA-USP*, **3**: 5 - 99.

- Debon, F. & Le Fort, P. - 1983, A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **73**: 135 - 149.
- DePaolo, D. J. - 1981, Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization, *Earth and Planetary Science Letters*, **53**: 189 - 202.
- DePaolo, D. J. - 1983, The mean life of continents: estimates of continents recycling rates from Nd and Hf isotopic data and implications for mantle structure. *Geophysical Research Letters*, **10**: 705 - 708.
- DePaolo, D. J. - 1988, *Neodymium isotope geochemistry: an introduction*. Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Felicíssimo Jr, J. - 1968, Carbonatitos do Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **40**: 93 - 115.
- Ferreira, F. J. F.; Janasi, V. A. & Vlach, S. R. F. - 1991, Comportamento aerogamaespectrométrico e aeromagnetométrico dos principais granitóides de parte dos Domínios Embu e São Roque, SP. *In*: II Simpósio de Geologia do Sudeste, *Atas*, pp. 149 - 150.
- Godoy, A. M.; Oliveira, M. A. F. & Hackspacher, P. C. - 1996, Geoquímica das rochas granitóides da Folha São Roque, SP. *Geociências*, **15**: 67 - 68.
- Godoy, A. M.; Zanardo, A.; Artur, A. C.; Oliveira, M. A. F.; Morales, N.; Hackspacher, P. C.; Galembeck, T. M. B. - 1992, Rochas granitóides da Folha São Roque, SP. *In*: XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, *Anais*, pp. 356 - 357.
- Hackspacher, P. C.; Dantas, E. L.; Schumus, W. R. V. & Fetter, A. - 1997, Terrenos exóticos na Faixa Ribeira, sim ou não?. *In*: VI Simpósio Regional de Estudos Tectônicos, *Atas*, pp. 69 - 71.
- Hackspacher, P. C.; Morales, N.; Zanardo, A.; Godoy, A. M.; Oliveira, M. A. F. & Artur, A. C. - 1992, A tectônica transcorrente-transpressiva brasileira da Folha São Roque. *In*: XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo, *Anais*, pp. 348 - 350.
- Haddad, R. - 1995, O batólito granitóide Pinhal-Ipuiúna (SP - MG): um exemplo do magmatismo cálcio-alcálico potássico neoproterozóico no sudeste brasileiro. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, USP, 270 p.

- Harris, N. B. W., Pearce, J. A. & Tindle, A. G. - 1986, Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. *In*: M. P. Coward & A. C. Ries (eds.), *Collision Tectonics*, Geological Society Special Publication, **19**: 67 - 81.
- Harris, N. B. W. - 1996, Radiogenic isotopes and the interpretation of granitic rocks. *Episodes*, **19** (4): 107 - 113.
- Hasui, Y. - 1973, Tectônica da área das Folhas de São Roque e Pilar do Sul, São Paulo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP, 190 p.
- Hasui, Y. - 1975a, Evolução polifásica do pré-Cambriano a oeste de São Paulo. *Boletim IG-USP*, **6**: 95 - 107.
- Hasui, Y. - 1975b, Geologia da Folha de São Roque. *Boletim IG-USP*, **6**: 157 - 183.
- Hasui, Y. & Sadowski, G.R. - 1976, Evolução Geológica do pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, **6**: 182 - 200.
- Hasui, Y.; Penalva, F. & Hennies, W. T. - 1969, Geologia do Grupo São Roque. *In*: XXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, *Anais*, pp. 101 - 134.
- Hasui, Y.; Carneiro, C. D. R. & Coimbra, A. M. - 1975, The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, **5** (4): 257 - 266.
- Hasui, Y.; Carneiro, C. D. R. & Bistrichi, C. A. - 1978, Os granitos e granitóides da Região de Dobramentos Sudeste nos Estados de São Paulo e Paraná. *In*: XXX Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, *Anais*, **6**: 2594 - 2608.
- Hasui, Y.; Fonseca, M. J. G.; Ramalho, R. & Coutinho, M. G. N. - 1981, Região VI. *In*: Texto explicativo da Carta Geológica do Brasil, escala 1:2.500.000. (C. Schobbenhaus Filho, coord.), Brasília, DNPM.
- Hennies, W.T.; Hasui, Y. & Penalva, F. - 1967, O falhamento transcorrente de Taxaquara. *In*: XXI Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba, *Anais*, pp. 159 - 168.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) - Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. IPT / PRÓ-MINÉRIO.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) - 1990, Avaliação da potencialidade mineral na área de Pilar do Sul, São Paulo, IPT, 120 p.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A. - 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **8**: 523 - 548.

- Jacobsen, S. B. & Dymek, R. F. - 1988, Nd and Sr isotope systematics of clastic metasediments from Isua, West Greenland. *Journal of Geophysical Research*, **93**: 338 - 354.
- Janasi, V. A. & Ulbrich, H. H. G. J. - 1992, Inventário Bibliográfico de Granitos do Estado de São Paulo. *Boletim IG-USP. Publicação Especial*, **11**, 253 p.
- Janasi, V. A.; Vasconcelos, A. C. B. C.; Vlach, S. R. F. & Motidome, M. J. - 1990, Granitóides da região entre as cidades de São Paulo e Piedade (SP): faciologia e contexto tectônico. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, *Anais*, **4**: 1925 - 1935.
- Janasi, V. A.; Leite, R. J. & Ulbrich, H. H. G. J. - 1995, Diversidade do magmatismo granítico tardi-brasiliano na região de Piedade, SP: aspectos petrográficos e geoquímicos. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú, *Anais*, pp. 131 - 133.
- Janasi, V. A.; Vlach, S. R. F. & Ulbrich, H. H. G. J. - 1995, O magmatismo granítico brasileiro na porção paulista da Faixa Ribeira. In: IV Simpósio de Geologia do Sudeste, Águas de São Pedro, SP, *Atas*. No prelo.
- Janasi, V. A.; Andrade, S. & Ulbrich, H. H. G. J. - 1995, A correção do *drift* instrumental em ICP-AES com espectrômetro sequencial e a análise de elementos maiores, menores e traços em rochas. *Bol. IG-USP, Série Científica*, **26**: 45 - 58.
- Johannsen, A. - 1932, *A descriptive petrography of the igneous rocks. Vol 2: The Quartz-Bearing Rocks*. University of Chicago Press, Chicago, 428 p.
- Kawashita, K. - 1969, Um sensível espectrômetro de massa de fonte sólida e sua aplicação nas análises de K, Rb e Sr. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, USP.
- Kinoshita, H. - 1976, Aplicabilidade do método $^{40}\text{Ar} / ^{39}\text{Ar}$ em rochas policíclicas. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, USP, 63 p.
- Knecht, T. - 1960, Notas preliminares sobre novas ocorrências de rochas alcalinas no Estado de São Paulo. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, **9**: 71 - 76.
- Leinz, V. - 1940, Petrologia das jazidas de Ipanema, SP. Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Fomento da Produção Mineral, *Boletim* **88**, 52 p.
- Le Maitre, R. W. - 1989, *A classification of igneous rocks and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological-Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Blackwell, Oxford (UK), 193 p.

- Maniar, P. D., Picolli, P. M. - 1989, Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, **101**: 635 - 643.
- Melcher, G. C.; Gomes, C.B.; Cordani, U. G.; Bettencourt, J. S.; Damasceno, E. C.; Girardi, V. A. V. & Melfi, A. J. - 1973, Geologia e petrografia das rochas metamórficas e graníticas associadas do Vale do Rio Ribeira de Iguape, SP e PR. *Revista Brasileira de Geociências*, **3** (2): 97 - 123.
- Minioli, B. - 1971, Determinações Potássio - Argônio em rochas localizadas no litoral norte do Estado de São Paulo. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **43** (2): 442 - 448.
- Moraes Rego, L. F. & Santos, T. D. S. - 1938, Contribuição para o estudo dos granitos da Serra da Cantareira. *Boletim do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo*, **18**, 162 p.
- Orsini, J. B.; Cocirta, C. & Zorpi, J. - 1991, Genesis of enclaves through differentiation, mingling and chemical exchanges. In: J. Didier & B. Barbarin (eds.), *Enclaves and Granite Petrology*, pp. 445 - 464.
- Paterson, S. C.; Vernon, R. H. & Tobisch, O. - 1989, A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids. *Journal of Structural Geology*, **11** (3): 349 - 363.
- Peacock, M. A. - 1931, Classification of igneous rocks series. *Journal of Geology*, **39**: 54 - 67.
- Pearce, J. A.; Harris, N. B. W. & Tindle, A. G. - 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25** (4): 956 - 983.
- Peccerillo, R. & Taylor, S. R. - 1976, Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, **58**: 63 - 81.
- Pires, F. A.; Fernandes, A. J., Teixeira, A. L., Boggiani, P. C. & Massoli, M. - 1990, Mapeamento Geológico da Folha Salto de Pirapora (SP), escala 1:50.000. Relatório IG. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo - Coordenadoria de Informações Técnicas, Documentação e Pesquisa Ambiental (CINP), 88 p.
- Pitcher, W. S. - 1993, *The Nature and Origin of Granite*. Blackie Academic & Professional, 321 p.

- Raymond, L. A. - 1995, *Igneous Petrology*. Wm. C. Brown, Dubuque, USA, 742 p.
- Rollinson, H.R. - 1993, *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific & Technical, 352 p.
- Sartori, P. L. P. - 1978, Petrologia do complexo granítico São Sepé: modelo evolucionar para granitos do sul do Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, USP, 196 p.
- Sato, K.; Tassinari, C. C. G.; Kawashita, K. & Petronilho, L. - 1995, O Método Geocronológico Sm-Nd no IG/USP e suas Aplicações. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **67** (3): 313 - 336.
- Shand, S. J. - 1949, *Eruptive Rocks*. T. Murby, London, 3ª edição, 488 p.
- Stein, D. P. - 1984, Esboço da geologia pré-Cambriana da Folha Pilar do Sul, SP-SF.23-Y-C-IV-4. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, 179 p.
- Streckeisen, A. L. - 1976, To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, **12**: 1 - 33.
- Tassinari, C. C. G. - 1988, As idades das rochas e dos eventos metamórficos da porção sudeste do Estado de São Paulo e sua evolução crustal. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, USP, 236.
- Töpfner, C. - 1996, Brasiliano-granitóide in den Bundesstaaten São Paulo und Minas Gerais, Brasilien - eine Vergleichende studie, *Münchner Geologische Hefte*, **A17**, 259 p.
- Vandoros, P. & Franco, R. R. - 1966, Determinação de idade de granitos da região de Mogi das Cruzes, São Paulo, pelos métodos K - Ar e Rb - Sr. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **38** (2): 289 - 292.
- Vernon, R. H. - 1968, Microstructures of high-grade metamorphic rocks at Broken Hill, Australia. *Journal of Petrology*, **9**: 1 - 22.
- Vernon, R. H. - 1976, *Metamorphic Process*. Murby, London.
- Vernon, R. H. - 1986, K-feldspar megacrysts in granites - phenocrysts, not porphyroblasts. *Earth Science Reviews*, **23**: 1 - 63.
- Vernon, R. H. - 1990, Crystallization and Hybridism in Microgranitoid Enclave Magmas: Microstructural Evidence. *Journal of Geophysical Research*, **95**: 17849 - 17859.

- Vieira, S. R. S. S. & Tassinari, C. C. G. - 1988, Estudo Geocronológico das rochas da região de Embu-Guaçu, Estado de São Paulo. *In: XXXV Congresso Brasileiro de Geologia, Belém (PA), Anais, 3: 1391 - 1399.*
- Vlach, S. R. F. - 1993, Geologia e petrologia dos granitóides do maciço Morungaba, SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, USP, 414 p.
- Vlach, S. R. F.; Janasi, V. A. & Vasconcellos, A. C. B. C. - 1990, The Itu belt: associated calc-alkaline and aluminous A-type late brasiliano granitoids in the States of São Paulo and Paraná, southern Brazil. *In: XXXVI Congresso Brasileiro Geologia, Natal, Anais, 4: 1700 - 1711.*
- Weaver, C. E. & Tarney, J. - 1984, Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature, 310: 575 - 577.*
- Wernick, E.; Oliveira, M. A. F.; Kawashita, K.; Cordani, U. G. & Delhal, J. - 1976, Estudo geocronológico pelo método Rb-Sr em rochas do bloco Jundiá e regiões adjacentes. *Revista Brasileira de Geociências, 6: 125 - 135.*
- Wernick, E.; Rigo Jr; Galembeck, T. M. B. & Artur, A. C. - 1989, O Complexo Granitóide Ibiúna (SP): dados petrográficos e de tipologia de zircão. *In: I Simpósio de Geologia do Sudeste, Rio de Janeiro, Boletim de Resumos, pp. 157 - 158.*

Anexo 3 - Análises químicas de padrões internacionais para granitos e análises de brancos, por ICP.

Amostra	GS-N	GS-N*	JG-1a	JG-1a*	Branco	Branco
SiO₂	65,68	65,80	72,65	72,19	0,00	0,00
TiO₂	0,70	0,68	0,26	0,25	0,03	0,03
Al₂O₃	14,82	14,67	14,12	14,22	0,04	0,07
Fe₂O₃^T	3,86	3,75	2,07	2,05	0,05	0,05
MnO	0,06	0,06	0,07	0,06	0,00	0,00
MgO	2,30	2,30	0,71	0,69	0,00	0,00
CaO	2,55	2,50	2,24	2,13	0,08	0,08
Na₂O	3,83	3,77	3,35	3,41	0,00	0,03
K₂O	4,58	4,63	4,06	4,01	0,00	0,00
P₂O₅	0,27	0,28	0,07	0,08	0,00	0,00
TOTAL	98,67	98,44	99,60	99,09	0,20	0,26
V	41,40	65	14	23	< 15	< 15
Ba	1490	1400	481	458	28,79	28,43
Sr	610	570	185	185	5,66	5,52
Zr	243	235	124	121	< 15	< 15
Y	8	16	27,7	31,6	< 15	< 15
La	73	75	13,2	21,8	< 15	< 15

A 1^a e 3^a colunas para padrões internacionais e as colunas correspondentes aos brancos foram resultados obtidos;

* Valores recomendados, encontram-se listados em Janasi *et al.* (1995).

CRETÁCEO

Corpo Alcalino de Piedade

K<1c - shonkinitos pórfiros (Knecht, 1960).

NEOPROTEROZOÍCO

Maciço Serra da Bateia

Bsg - biotita sienogranitos ricos em megacristais eudrais de feldspato alcalino (40 - 50 %), com IC - 8.

Bsgf - biotita monzogranitos a sienogranitos equi-inequigranulares médios a grossos, com IC 7 - 8;

HBqmz - hornblenda-biotita quartz monzonitos maciços, com IC 10 - 12;

Granitoides róseos equi a inequigranulares

MBmge - muscovita-biotita monzogranitos equigranulares médios a grossos, com IC 3 - 7;

MBmgi - muscovita-biotita monzogranitos inequigranulares médios a grossos, com IC 6 - 7;

Maciço Piedade

Bmgr - biotita granitos inequigranulares, róseos, com IC 3 - 7;

Bmgs - biotita monzogranitos porfíroides grossos, com IC 6 - 8;

Bmgf - biotita monzogranitos inequigranulares médios a finos, com IC 6 - 7;

MBgd - muscovita-biotita granodioritos a monzogranitos porfíricos com IC 10 - 14;

MBmg - muscovita-biotita monzogranitos porfíricos com IC 8 - 10;

BmgT - biotita monzogranitos porfíricos com titanita, com IC 8 - 9;

Maciço Ibitúna

HBgd - hornblenda-biotita granodioritos a quartz monzonitos porfíricos com IC - 15

MESOPROTEROZOÍCO

xistos e gnaisses migmatíticos (Complexo Embu)

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

Atitude da foliação de granitoides com (ou sem) valor de mergulho

Atitude da foliação de granitoides com mergulho subvertical

Atitude da foliação principal de xistos e gnaisses migmatíticos com (ou sem) valor de mergulho

Atitude da foliação principal de xistos e gnaisses migmatíticos com mergulho subvertical

Atitude da foliação milonítica com valor de mergulho

Atitude da foliação milonítica com mergulho subvertical

Contatos geológicos

△ Diques equigranulares médios, maciços, com IC - 3 (MBmge);

○ Afloramento isolado de granitos MBmg;

⊕ Afloramento isolado de granitos Bmg;

□ Afloramentos de rochas limoníticas bandadas a maciças;

◇ Afloramentos de hornblenda-biotita granodioritos equigranulares (HBgd), com IC 8 - 10;

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

CIDADES OU POVOADOS

ESTRADAS PRINCIPAS

ESTRADAS SECUNDÁRIAS

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

(1:50.000)

Salto de Pirapora	Sorocaba	São Roque
Pilar do Sul	Jurupari	Jaquitiba
Foz do Açuangui	Pedro Barros	Rio São Lourenço

LOCALIZAÇÃO NO ESTADO

NG

ESCALA

1997

Geologia por Renato Jordan Leite

NG

- CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
- 485 AFLORAMENTOS
 - CIDADES OU POVOADOS
 - ESTRADAS PRINCIPAIS
 - ESTRADAS SECUNDÁRIAS
 - DRENAGENS PRINCIPAIS
 - REPRESAS

EQUIDISTÂNCIA ENTRE AS CURVAS DE NÍVEL: 25 METROS

ESCALA

1997

Renato Jordan Leite

LOCALIZAÇÃO NO ESTADO

ARTICULAÇÃO DAS FOLHAS

Salto de Pirapora	Sorocaba	São Roque
Pilar do Sul	Jurupará	Juquitiba
Foz do Açu	Pedro Barros	Rio São Lourenço