

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**



**EVOLUÇÃO MAGMÁTICA DOS MACIÇOS MAUÁ
E MOGI DAS CRUZES E POTENCIAIS
MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS.**

Adriana Alves

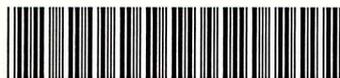
Orientador: Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

**TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2003/01)**

**SÃO PAULO
2003**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014574



**EVOLUÇÃO MAGMÁTICA DOS MACIÇOS MAUÁ E
MOGI DAS CRUZES E POTENCIAIS
MINERALIZAÇÕES ASSOCIADAS**

ADRIANA ALVES

Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi

Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach

Prof. Dr. Gergely Andres Julio Szabó

São Paulo

2003

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	1
2. CONTEXTO GEOLÓGICO	1
2.1 GEOLOGIA REGIONAL	1
2.2 OS GRANITOS DO BLOCO MOGI DAS CRUZES	4
2.3 OS MACIÇOS MAUÁ E MOGI DAS CRUZES	5
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	6
3.1 TRABALHOS DE CAMPO.....	6
3.2 SELEÇÃO DAS AMOSTRAS E ANÁLISES PETROGRÁFICAS.....	6
3.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	7
3.4 ANÁLISES QUÍMICAS	8
3.5 ANÁLISES ISOTÓPICAS.....	9
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS E PETROGRÁFICOS DO MACIÇO MAUÁ.....	9
4.1 BIOTITA GRANITOS PORFIRÍTICOS	10
4.2 BIOTITA GRANITOS EQUIGRANULARES.....	11
4.3 MUSCOVITA LEUCOGRANITOS.....	12
4.4 PRINCIPAIS ESTRUTURAS ASSOCIADAS	12
4.5 SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA	14
5. ASPECTOS GEOLÓGICOS E PETROGRÁFICOS DO MACIÇO MOGI DAS CRUZES.....	19
5.1 MUSCOVITA-BIOTITA GRANITOS INEQUIGRANULARES	19
5.2 TURMALINA GRANITOS E VENULAÇÕES.....	20
5.3 PRINCIPAIS ESTRUTURAS ASSOCIADAS	20
5.4 SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA	21
6.1 ELEMENTOS MAIORES E MENORES.....	28
6.1.1 <i>Maciço Mauá</i>	28
6.1.2 <i>Maciço Mogi das Cruzes</i>	33
6.2 ELEMENTOS TERRAS RARAS	34
7. GEOQUÍMICA ISOTÓPICA	36
9. EVOLUÇÃO MAGMÁTICA DO MACIÇO MAUÁ	38
10. EVOLUÇÃO MAGMÁTICA DO MACIÇO MOGI DAS CRUZES	39
11. CORRELAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS EVOLUTIVOS DOS MACIÇOS	40
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DESTACANDO GRANITOS DO BLOCO MOGI.	2
FIGURA 2. MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	3
FIGURA 3. MAPA DE PONTOS E DISTRIBUIÇÃO DE LITOTIPOS	7
FIGURA 4. DIAGRAMAS DE VARIAÇÃO QUÍMICA	29,30,31
FIGURA 6. DIAGRAMA AB DE DEBON & LE FORT	32
FIGURA 7. PADRÕES DE ELEMENTOS TERRAS RARAS	35
FIGURA 8. DIAGRAMA ISOTÓPICO $\epsilon Nd_{(T)}$ <i>VERSUS</i> $^{87}Sr/^{86}Sr$	37

ÍNDICE DE PRANCHAS

PRANCHA 1. FACIOLOGIAS PRINCIPAIS E FEIÇÕES ASSOCIADAS AO MACIÇO MAUÁ	15
PRANCHA 1A. PETROGRAFIA MACRO E MICROSCÓPICA DO MACIÇO MAUÁ.....	17
PRANCHA 1B. PETROGRAFIA MACRO E MICROSCÓPICA DO MACIÇO MAUÁ	18
PRANCHA 2. FACIOLOGIAS PRINCIPAIS E FEIÇÕES ASSOCIADAS AO MACIÇO MOGI	22
PRANCHA 2A. PETROGRAFIA MACRO E MICROSCÓPICA DO MACIÇO MAUÁ.....	24

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. LISTAGEM DAS AMOSTRAS ALVO DE ANÁLISES QUÍMICAS.....	25
TABELA 2. DADOS GEOQUÍMICOS E ISOTÓPICOS OBTIDOS PARA O MACIÇO MAUÁ..	26
TABELA 3. DADOS GEOQUÍMICOS E ISOTÓPICOS OBTIDOS PARA O MACIÇO MOGI...	27
TABELA 4. LISTAGEM DAS AMOSTRAS ALVO DE ANÁLISES ISOTÓPICAS.....	36
TABELA 5. ATRIBUTOS TECNOLÓGICOS DO GRANITO CINZA MAUÁ	38
TABELA 6. COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS QUÍMICO E ISOTÓPICOS DE MAUÁ E MOGI	41

RESUMO

Os maciços Mauá e Mogi das Cruzes são as intrusões graníticas mais jovens (~590 Ma) presentes no Domínio Embu (porção central da Faixa Ribeira) a leste da cidade de São Paulo. Contrastam com as demais ocorrências dessa região por mostrarem foliação de fluxo magmático bem preservada, abundantes enclaves microgranulares, e mais baixa fO_2 , refletida em seu baixo mg# (~20), no caráter paramagnético (indicado pela baixa susceptibilidade magnética, com $K < 0,2 \times 10^{-3}$ SI).

O maciço Mauá tem variação composicional mais ampla, sendo dominado por biotita granitos porfiríticos que passam, em seu extremo SW, a leucogranitos equigranulares portadores de muscovita. O maciço Mogi das Cruzes é formado exclusivamente por muscovita-biotita granitos inequigranulares com variações para termos equigranulares e pegmatitos portadores de turmalina.

Os dados químicos e isotópicos obtidos no presente trabalho sustentam a hipótese de que os dois maciços apresentam vínculo genético. Em particular, destacam-se os padrões de ETR moderadamente fracionados ($La/Yb(n) = 10-20$) e os $\epsilon Nd(t)$ semelhantes (-14 a -16). As tendências de evolução geoquímica são semelhantes, e as amostras de Mogi tendem a se agrupar com a variedade equigranular de Mauá. Um processo de cristalização fracionada pode responder por boa parte da variação composicional identificada em Mauá, e foi superposto nos granitos mais diferenciados, por alteração hidrotermal e possivelmente por alguma contaminação.

ABSTRACT

The Mauá and Mogi das Cruzes massifs are the youngest (~590 Ma) granitic intrusives within the Embu Domain (central portion of the Ribeira Belt) east of the city of São Paulo. They differ from other granites in this region by showing well-preserved flow foliation, abundant microgranular enclaves, and lower fO_2 , reflected in their low mg# (~20) and paramagnetic character (indicated by low magnetic susceptibility, $K < 0.2 \times 10^{-3}$ SI).

The Mauá massif has wider compositional variation, with predominant porphyritic biotite granites grading southwestwards to muscovite-bearing equigranular leucogranites. The Mogi das Cruzes massif is made up of inequigranular muscovite-biotite granites with more differentiated tourmaline aplites-pegmatites found as irregular patches along the flow foliation.

The chemical and isotopic data here obtained are consistent with a genetic link between the two massifs. In particular, the REE patterns are similar, with moderate

fractionation ($\text{La/Yb}(n) = 10\text{-}20$) and a well-defined Eu negative anomaly, and the $\epsilon\text{Nd}_{(t)}$ are coincident (-14 to -16). The geochemical trends are similar, and the Mogi granites usually group with the more fractionated facies from Mauá. A crystal fractionation process can respond for most of the compositional variation seen in Mauá and was overprinted, in the more differentiated granites, by hydrothermal alteration and possibly some contamination.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Valdecir de Assis Janasi, meu orientador, por sua dedicação, paciência, amizade e cumplicidade, pouco usuais em professores deste instituto. Devo todo o meu conhecimento científico e parte de minha atual personalidade a seus ensinamentos, que seguirão comigo por toda a vida.

Agradeço a meus pais, sobretudo à minha mãe (Ana Maria Alves) pela forja de meu caráter e pelo apoio financeiro e emocional dado durante toda uma vida. Mesmo que muito me esforce jamais serei capaz de retribuir à altura tudo que ela fez por mim. À minha irmã (Luciana Alves) e meu irmão (José Luis Alves) pelo eterno companheirismo e amizade.

Agradeço a meus sobrinhos (Stefany, Isabel, Tiago, Cleber, Juliana, André, Giovanna e Luis Henrique, ufah) pelas horas de desligamento dos problemas da faculdade.

Em especial agradeço a todos os meus amigos, que aguentaram as minhas rabugices e me ajudaram nos momentos mais difíceis. Márcia Silva Kolar e Marcos Araújo. (KY e Piolho), Pedro Machado Simões (Scroto), Anderson Milan (Feith), Fabrício Mirandola (Passivo), Carolina Hegedus (Urtiga) e Fernanda Dantas (Fê ou Eretah), à galera da república Pánapia (Cofrinho, Chá, Delano e Jonas) e a todos os outros que ingressaram no ano de 1999. Agradeço também a Fernando Alves (Lampião), Jaqueline Rodrigues (Transformer), Murilo (Boi) e Thiago Araújo (Ritinha), com os quais dividi momentos divertidíssimos no CRUSP. Aos pais dessa galera toda, que por tabela tiveram que me aguentar, minha mais sincera admiração e gratidão ao Tio Toninho e Tia Marlene (pais do Passivo), Sr. Luís e Da. Sônia (pais da KY), Sr. Clóvis e Da. Marlene (pais da Urtiga) e Da. Dalila e Aluísio (pais da Fê) muito obrigada por me deixarem fazer parte de seus lares.

Agradeço àqueles que tornaram o presente trabalho possível: à Sandra e à toda a equipe do laboratório de química desse Instituto. Ao José Paulo técnico do LTA pela ajuda com as amostras mais pesadas e pelos ensinamentos prestados. À equipe técnica do CepeGeo-USP, responsáveis pelas análises isotópicas presentes neste trabalho. À Angélica, do laboratório de óptica. Ao pessoal da gráfica pelo trabalho prestado ao longo de toda a graduação. Sobretudo à Soninha e Valéria, secretárias do GMG, por todo o apoio e simpatia.

Às agências de fomento Fapesp e CNPQ pelos anos de bolsa concedidos.

E finalmente, à Lucelene Martins, amiga inseparável e confidente a quem devo parte de meus conhecimentos e de meus melhores momentos nessa faculdade. Muito obrigada pelos conselhos regados a bolacha recheada e cafezinho.

1. INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

Diversos maciços graníticos de pequeno e médio porte ocorrem em uma área em forma de cunha situada a leste da cidade de São Paulo e delimitada a sul e a norte pelas Falhas de Cubatão e Taxaquara-Guararema, respectivamente. Esta área é aqui designada Bloco Mogi das Cruzes, em referência à cidade homônima, que ali se situa (Figura 1).

Os estudos disponíveis para tais maciços têm caráter apenas regional (Theodorovicz *et al.*, 1990) de modo que, para vários deles, observa-se carência de informações básicas de geoquímica, petrografia e levantamentos de campo. Exceções são o maciço Itapeti e Mauá, estudados mais detalhadamente por Morais (1995) e Filipov & Janasi (2001) respectivamente. Os dados petrográficos e geoquímicos obtidos por Filipov & Janasi (*op cit.*) foram utilizados na presente pesquisa, que aproveitou parte da amostragem desses autores para obter dados químicos complementares e isotópicos inéditos.

O presente trabalho contribui para a caracterização de dois desses corpos graníticos: os Maciços Mauá e Mogi das Cruzes (Figura 1, em destaque), a partir de levantamentos de campo de detalhe, estudos petrográficos, geoquímicos e isotópicos; e procura estabelecer correlações entre os processos atuantes na sua gênese e evolução.

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área estudada localiza-se leste da cidade de São Paulo e compreende as porções oeste e norte das Folhas Mauá (SF-23-Y-D-IV-1) e Mogi das Cruzes (SF-23-Y-D-IV-2) em 1:50.000 (IBGE, 1984). Tem como principais localidades de referência as cidades de Mauá e Mogi das Cruzes, que emprestam seus nomes aos maciços aqui pesquisados. Como se pode observar na Figura 2, o acesso à área estudada, partindo-se da capital, pode ser feito pelas rodovias Aírton Senna (SP-070) e Mogi-Dutra (SP-088), e a área, em boa parte urbanizada, é recortada por inúmeras avenidas e estradas vicinais de fácil acesso.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

A área pesquisada é parte da Faixa Ribeira (FR), um extenso cinturão de dobramentos de idade neoproterozóica que se estende ao longo da costa leste no sudeste do Brasil, com

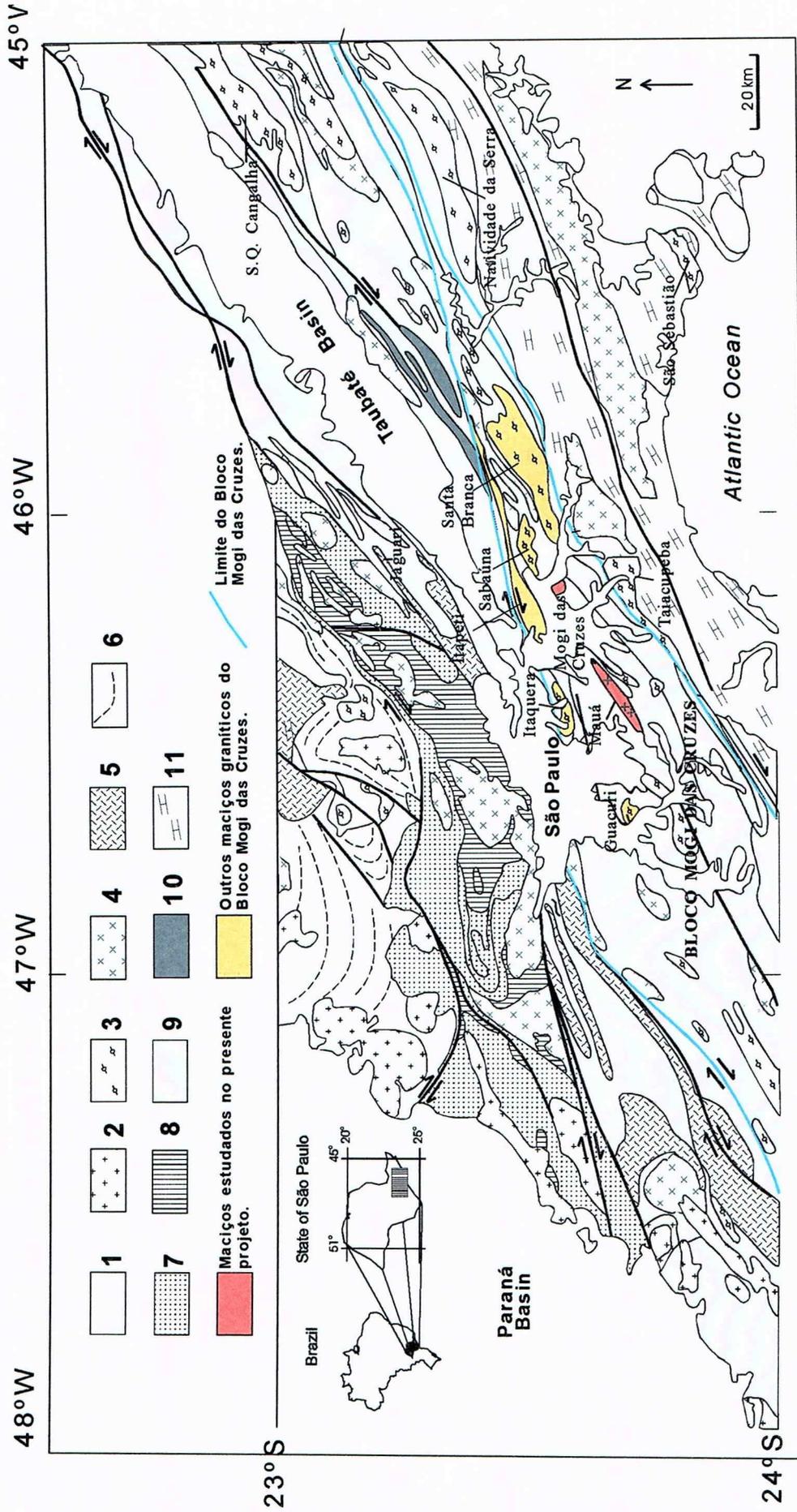


Figura 1- Mapa geológico esquemático da porção central do Cinturão Ribeira no Estado de São Paulo, Brasil (simplificado de Campos Neto, 2000). 1= Cobertura sedimentar e intrusivas fanerozoicas; 2= granitos tardi- e pós-orogênicos, Província Itu (ca. 590-570 Ma); 3 a 5: granitos sin-orogênicos (3= (granada)-(muscovita)-biotita granitos; 4= biotita granites porfíricos ; 5= homblenda-biotita granitos); 6= Nappe Socorro-Guaxupé (predomínio de paragneisses migmatíticos); 7= Grupo São Roque (predomínio de metapelitos and metapsamitos de baixo grau metamórfico); 8= Grupo Serra do Itaberaba (seqüências metavulcanossedimentares de médio grau metamórfico); 9, 10 = Domínio Embu (9 = metapsamitos de médio/alto e baixo grau, respectivamente Complexo Embu e Pilar do Sul; 10 = embasamento Paleoproteróico a Arqueano); 11 = Complexo Costeiro (migmatitos orto e paraderivados).

Os granitos do Domínio Embu exibem composições indicativas de derivação a partir da fusão parcial de material da crosta continental (Janasi *et al.*, 2003). Os dados geocronológicos obtidos por esses autores através de datação U-Pb em monazita indicam idades entre 600 e 580 Ma para os granitos do leste de São Paulo, o que coincide com as idades obtidas para o metamorfismo principal e para os granitos calcio-alcálicos da Faixa Ribeira no Rio de Janeiro e Espírito Santo (Machado *et al.*, 1996).

As Falhas Taxaquara-Guararema e Cubatão correspondem aos principais limites tectônicos do Domínio Embu na região a leste da cidade de São Paulo (Figura 1), e a primeira trunca claramente as estruturas predominantes NE-SW, separando blocos com conteúdo litológico e grau metamórfico distintos na região entre Mogi das Cruzes e Santa Isabel (cf. Alves, 1975; Theodorovicz *et al.*, 1990; Motidome, 1992). No bloco situado entre as Falhas de Guararema e Cubatão, aqui designado Bloco Mogi das Cruzes (Figura 1), predominam (cianita)-(granada)-mica-xistos e paragnaisses invadidos por diversas ocorrências graníticas, que são geralmente alongadas de modo concordante com o padrão regional de orientação ENE.

2.2 Os GRANITOS DO BLOCO MOGI DAS CRUZES

Os maciços graníticos aflorantes no Bloco Mogi das Cruzes são caracteristicamente subconcordantes com a orientação regional ENE, e têm dimensões médias em torno de 40-60 km².

Parecem ausentes os granitos caracteristicamente metaluminosos, portadores de hornblenda. Os termos mais máficos (com IC até 10) são os biotita granitos porfíricos, constituintes principais dos maciços Mauá, Itapeti e Santa Catarina. Muscovita-biotita leucogranitos equigranulares são abundantes, e constituem ocorrências expressivas, como os maciços Santa Branca, Guacuri e Mogi das Cruzes (Figura 1). As fácies mais diferenciadas são leucogranitos a turmalina e granada, que formam diversos corpos aplíticos-pegmatíticos intrusivos nos xistos regionais ou nos muscovita-biotita leucogranitos. Todas essas variedades podem estar presentes, em proporções variadas, nos maciços de maior porte, como Itapeti (Morais, 1995), Mauá (Theodorovicz *et al.*, 1990; Filipov & Janasi, 2001) e Guacuri- Três Lagos (Wernick *et al.*, 1985).

Embora sejam frequentemente descritos como “sin-tectônicos” na literatura, em vista de suas formas alongadas, os maciços graníticos do Bloco Mogi das Cruzes mostram graus de deformação muito variados. Em alguns as rochas têm apenas foliação de estado magmático e mostram texturas e enclaves característicos de ambiente subvulcânico (e.g., Mauá, Mogi

das Cruzes), enquanto outros têm aspecto gnáissico associado a intensa deformação de estado sólido (e.g., Itapeti).

Os resultados geocronológicos obtidos para os granitos do BMC são ainda preliminares. Alguns são de qualidade analítica muito boa, com baixas incertezas e idades concordantes, enquanto outros exibem razões $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ muito baixas (Janasi *et. al.*, 2003). Com relação aos granitos pesquisados os dados disponíveis indicam cristalização a 590 ± 12 Ma para o granito Mogi das Cruzes (Vlach, 2002) e 588 ± 2 Ma para o granito Mauá (Filipovi & Janasi, 2001), ambas obtidas por datação U-Pb em monazita. A proximidade entre as idades obtidas e a semelhança entre a fácies predominante do maciço Mauá (descrita por Filipov & Janasi, *op. cit.*) e o litotipo predominante do maciço Mogi das Cruzes, bem como a proximidade geográfica e a presença de enclaves em ambos, sugerem vínculo entre os processos que os geraram.

2.3 OS MACIÇOS MAUÁ E MOGI DAS CRUZES

Os maciços ora em apreço foram, até o momento, alvo de alguns estudos de cunho principalmente regional, que fornecem informações sobre os litotipos constituintes e suas feições estruturais. Estudo petrográfico e geoquímico de maior detalhe foi apresentado por Filipov & Janasi (2001) para o maciço Mauá.

Rideg (1974 *apud* Theodorovicz *et al.*, 1990) se refere ao “muscovita-biotita granito Mogi das Cruzes” e o considera associado a um núcleo antiformal, estabelecendo contatos bruscos com as rochas do Domínio Embu.

Janasi & Ulbrich (1992), descrevem o maciço como um corpo de forma alongada na direção N65E, intrusivo em xistos com intercalações gnáissicas e composto por biotita granito porfirítico com foliação gnáissica.

Theodorovicz *et al.* (1990) agrupam as rochas do maciço sob a categoria de granitóides calcio-alcálicos intrusivos em xistos e metarenitos e consideram o maciço como sendo composto predominantemente por biotita granitos porfiríticos, com foliação de fluxo definida pela orientação dos megacristais de 1-3 cm de feldspato alcalino. Para SW passam a predominar biotita-muscovita leucogranitos equigranulares, nos quais são registradas feições indicativas da atuação de processos hidrotermais (e.g. muscovita-quartzo *greisens* e cavidades miarólficas; cf. Filipov & Janasi, 2001). Menos expressivas são as ocorrências de turmalina granitos associados principalmente a veios e fraturas

O maciço Mauá também foi alvo de estudos de maior detalhe por Filipov & Janasi (*op cit.*), que descrevem a passagem das variedades porfiríticas e equigranulares como gradacional e, com base em dados geoquímicos, modelam as últimas como produto do processo de cristalização fracionada, admitindo que os leucogranitos equigranulares seriam

rochas de cúpula, com atividade hidrotermal pronunciada. Os dados U-Pb obtidos em cristais de monazita, indicam cristalização magmática a 588 ± 2 Ma (Filipov & Janasi, 2001).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de se atingir os objetivos propostos, as atividades foram divididas em nível crescente de detalhamento em levantamentos de campo, análises petrográficas, preparação das amostras, análises químicas, análises isotópicas e avaliação e interpretação dos dados. Todas as etapas são pormenorizadamente descritas nos tópicos subseqüentes.

3.1 TRABALHOS DE CAMPO

Foram visitados ao todo 20 novos afloramentos dos granitos Mauá e Mogi das Cruzes (Figura 3). Os pontos visitados correspondem principalmente a antigas pedreiras, em sua maioria inativas, além de exposições de rocha em cortes de estrada e matacões. Foram ainda revisitados pontos da porção oeste do Maciço Mauá descritos por Filipov & Janasi (2001).

Em todos os pontos procedeu-se à descrição e tomada de fotografias dos litotipos presentes enfatizando aspectos como constituição mineralógica, estruturas e relações entre eles.

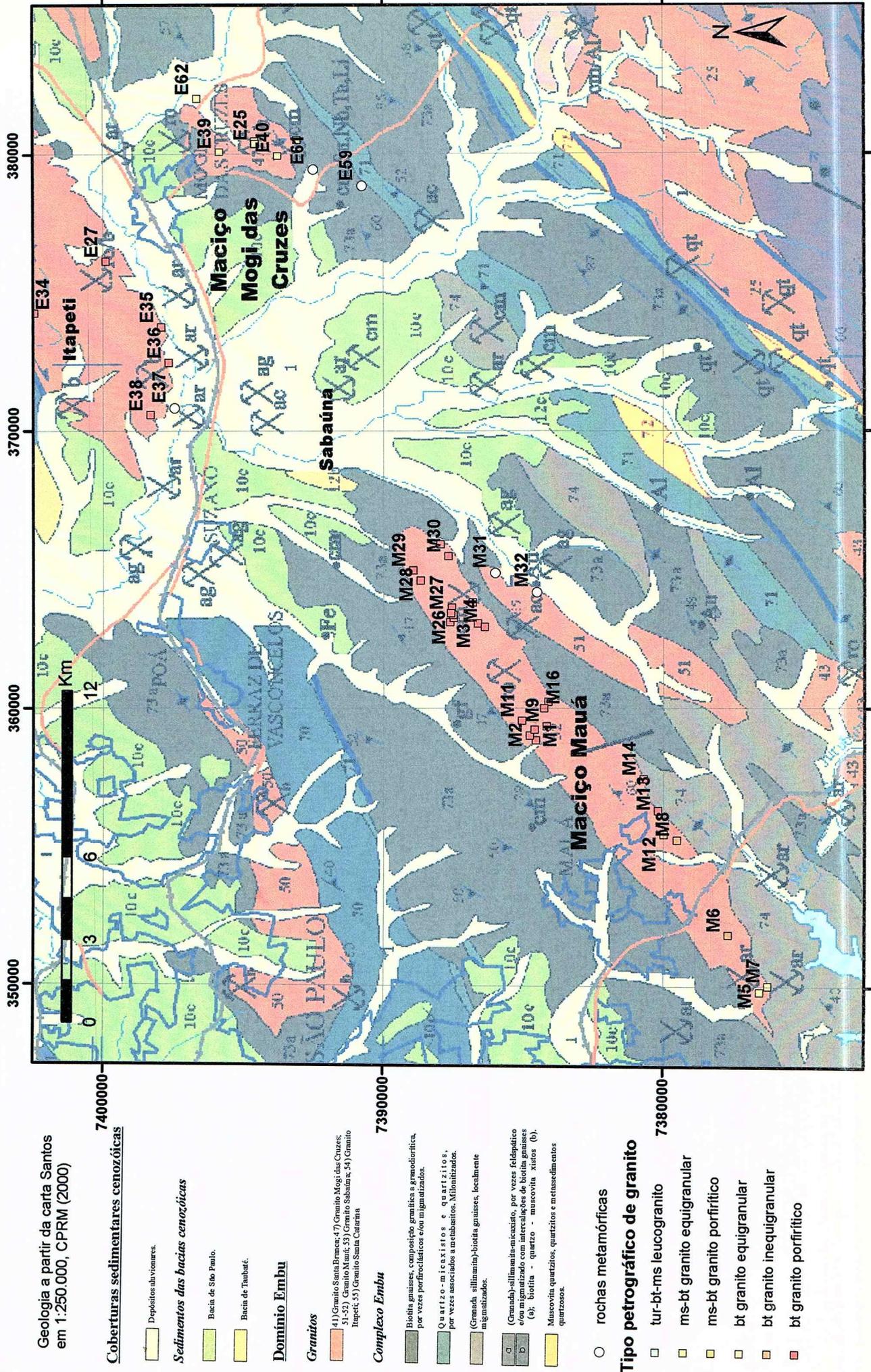
3.2 SELEÇÃO DAS AMOSTRAS E ANÁLISES PETROGRÁFICAS

Todas as amostras representativas dos principais litotipos e feições observados durante os trabalhos de campo foram novamente analisadas e selecionadas para confecção de seções delgadas. Nesta etapa aspectos texturais e mineralogia acessória foram devidamente identificados e fotografados, selecionando-se, desse modo, as amostras a serem alvo de análises químicas e isotópicas.

3.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A preparação das amostras incluiu os procedimentos usuais de pulverização e quarteamento, tal como descrito abaixo.

Figura 3- Mapa de pontos e distribuição dos tipos de granito nos maciços Mauá e Mogi das Cruzes



Geologia a partir da carta Santos em 1:250.000, CPRM (2000)

Coberturas sedimentares cenozoicas

- Depósitos aluvionares.

Sedimentos das bacias cenozoicas

- Bacia de São Paulo.
- Bacia de Taubaté.

Domínio Embu

Granitos

41) Granito Santa Branca; 47) Granito Mogi das Cruzes; 51-52) Granito Mauá; 53) Granito Sabaúna e 54) Granito Itapetiti; 55) Granito Santa Catarina

Complexo Embu

- Biotita gnáisses, composição granítica a gramodiorítica, por vezes porfiroclásticos e/ou migmatizados.
- Quartzito - micaxistos e quartzitos, por vezes associados a metabsiltitos. Migmatizados.
- (Granada - sillimanita)-biotita gnáisses, localmente migmatizados.
- (Granada)-sillimanita-muscovita, por vezes foldeado e/ou migmatizado com intervalos de biotita em (a); biotita - quartzo - muscovita xistos (b).
- Muscovita quartzitos, quartzitos e metasedimentos quartzosos.

rochas metamórficas

Tipo petrográfico de granito

- tur-bt-ms leucogranito
- ms-bt granito equigranular
- ms-bt granito porfirítico
- bt granito equigranular
- bt granito inequigranular
- bt granito porfirítico

Fragmentação e limpeza: foram retiradas todas as partes alteradas ou sujas das amostras com auxílio de martelos. Seguiu-se a quebra das mesmas em fragmentos de dimensões inferiores a 8 cm, para evitar o desgaste do britador e a conseqüente contaminação por ferro na etapa seguinte.

Britagem: as amostras foram britadas em britador de mandíbulas de aço até que atingissem a granulometria de brita (cerca de 5 mm). Para atingir tal tamanho cada amostra foi passada de 3 a 4 vezes pelo britador.

Quarteamento: nessa etapa separou-se uma alíquota 100 g da amostra. Seguiu-se a pulverização do material em moinho do tipo planetário de ágata por 15 minutos ou até atingir granulometria menor que 200 mesh.

3.4 ANÁLISES QUÍMICAS

A abertura das amostras foi efetuada por fusão alcalina do pó obtido na etapa anterior, utilizando como fundente uma mistura de meta e tetraborato de lítio.

Os procedimentos analíticos iniciam-se com a pesagem de aproximadamente 2 gramas de amostra em cadinhos de porcelana, que são posteriormente aquecidos a 100° C em estufa por cerca de duas horas. Após sua retirada da estufa os cadinhos são colocados em dessecador pelo período de uma hora, e então pesados para a obtenção da perda de umidade (H₂O), por diferença entre o peso inicialmente obtido e aquele verificado após aquecimento.

Para a fusão empregam-se 0,2500 ± 0,0001 g da amostra previamente seca, e 0,7500 ± 0,0003 g de fundente (mistura de meta e tetraborato de lítio na proporção 4:1), que são pesados separadamente em cadinhos de porcelana próprios. Amostra e fundente são cuidadosamente homogeneizados e transferidos para cadinho de grafite pré-limpo. A fusão é realizada em forno pré-aquecido a 1000 °C por 20 minutos. A massa fundida é então despejada em béquer plástico de 400 ml contendo solução ácida (150 ml de água destilada e 25 ml de HNO₃ 2N). A amostra é dissolvida com auxílio de bastões magnéticos em placa agitadora. A seguir, a solução é transferida para balões de 250 ml, completando-se o volume com água destilada.

A solução é finalmente filtrada em papel rápido para garantir a retirada de partículas de grafite que eventualmente se soltem dos cadinhos durante a fusão ou quando da transferência para os béqueres. Cerca de 50 ml da solução final é separada e recebe 3 gotas de HF; essa alíquota é utilizada para análise de elementos menores e traços, e a adição de HF visa manter o Zr em solução.

À análise espectrométrica da amostra compreende uma série de cuidados que envolvem calibração do equipamento e o controle de *drift*. A etapa de calibração resulta em curvas com coeficientes que representam a correlação entre a concentração do elemento e a intensidade do sinal e devem estar o mais próximo possível de 1 ($\geq 0,9997$). O controle da flutuação da intensidade do sinal durante a corrida se dá através do emprego de uma amostra de controle de *drift* que é intercalada às demais amostras em intervalos de tempo fixo (a cada seis amostras). Dois materiais de referência são também incluídos na corrida, de forma a permitir um controle da qualidade dos resultados analíticos.

As determinações de Perda ao Fogo são realizadas com a pesagem quantitativa de ~ 1,0 g de amostra em cadinhos de porcelana que a seguir são submetidas à queima em mufla a 1000 °C por uma hora. Após uma hora em dessecador para resfriamento as amostras são repesadas e determina-se, por diferença, a quantidade de voláteis nos materiais analisados.

3.5 ANÁLISES ISOTÓPICAS

Foram escolhidas para análise isotópica pelos sistemas Rb-Sr e Sm-Nd amostras de todas as tipologias de granitos e enclaves do maciço Mauá e duas amostras do granito Mogi.

Uma alíquota de 0,1 g do mesmo pó de amostra usado para geoquímica elemental foi misturada com soluções *spike* para os isótopos de interesse e dissolvida por ataque ácido com mistura de HF e HNO₃ por cinco dias. A solução obtida foi submetida a secagem e então redissolvida em HCl, efetuou-se então a extração de Rb e Sr em colunas de troca iônica carregadas com a resina Bio-Rad AG50W X8, a 200-400 mesh. A solução residual do procedimento anterior, extraída com HCl 6 N, contém os elementos terras raras, e foi então usada para a separação de Sm e Nd em colunas de troca iônica carregadas com a resina LAM-Spec, a 100-200 mesh. A análise espectrométrica foi efetuada em espectrômetro Finnigan MAT-262, do Centro de Pesquisas Geocronológicas da USP (Cepegeo). Maiores detalhes sobre o procedimento analítico podem ser encontrados em Sato et al. (1995).

4. Aspectos geológicos e petrográficos do maciço Mauá

Com cerca de 45 km², o maciço Mauá (Coutinho, 1972; Theodorovicz et al., 1990) tem forma bastante alongada na direção N35-40E (22 km x 2-3 km). É subconcordante e intrusivo em rochas metassedimentares, predominando filitos de baixo grau a norte e sillimanita-

muscovita xistos e gnaisses em sua porção sudeste (Filipov & Janasi, 2001). São ainda descritos como encaixantes ortognaisses do tipo lupeba (Theodorovicz et al., 1990).

As atividades de campo realizadas na presente pesquisa concentraram-se na porção leste do maciço a fim de complementar os trabalhos realizados por Filipov & Janasi (*op. cit.*). Os pontos descritos no referido trabalho, bem como as descrições e análises dos litotipos identificados, também são aqui considerados, de modo que se dispõe de amostras para toda a extensão do maciço.

Em termos faciológicos destacam-se biotita granitos porfiríticos de coloração cinza, que renderam às rochas do maciço a denominação comercial de Granito cinza Mauá, amplamente explorado como rocha ornamental nas últimas décadas. Tem-se, portanto, afloramentos contínuos e de qualidade representados principalmente por pequenas pedreiras ativas e inativas distribuídas por todo o maciço.

Observa-se significativa variação textural e composicional ao longo da extensão do maciço. Os biotita granitos porfiríticos gradam para versões inequigranulares, algo mais claras, que culminam na ocorrência de leucogranitos a muscovita no extremo SW. Associados às três fácies supracitadas, ocorrem inúmeros enclaves de tipologia diversa, que serão descritos com maior detalhe a seguir, além de rochas pegmatíticas/aplíticas.

Os termos inequigranulares e porfiríticos exibem foliação de fluxo magmático pronunciada (atitude média N70E/72SE), desenhada pelo alinhamento dos cristais maiores de feldspato e pelas palhetas de biotita. Nos afloramentos portadores de enclaves alongados, observa-se disposição do eixo maior dos mesmos ao longo da foliação.

4.1 BIOTITA GRANITOS PORFIRÍTICOS

O tipo petrográfico predominante no maciço Mauá corresponde a um biotita granito de textura porfirítica, com megacristais de feldspato potássico de 1 a 3 cm, e IC de aproximadamente 8 (Prancha 1 – Foto E). As rochas apresentam, invariavelmente, uma foliação de fluxo bem desenvolvida, representada pelo alinhamento dos megacristais tabulares de feldspato potássico e dos enclaves de morfologia alongada.

Microscopicamente, as amostras representativas da porção NE do maciço (pontos MAU-29 e MAU-30, cf. Figura 3), revelam composição monzogranítica e apresentam textura ígnea hipidiomórfica porfirítica preservada. No entanto, o estiramento observado nas porções onde predominam quartzo e feldspato, bem como a poligonização intensa observada, sugerem deformação superimposta à foliação de fluxo, o que, segundo Filipovi & Janasi (2001), não é comum na porção centro-sul do maciço.

Os cristais de plagioclásio exibem hábito tabular, mas com vértices arredondados, e apresentam teores de An variáveis entre 18 e 25% (mesmo teor observado para as demais variedades - oligoclásio). Em geral, apresentam geminação polissintética que, no entanto, pode ser difusa em alguns cristais, chegando a dificultar o seu reconhecimento.

Os cristais de feldspato alcalino apresentam-se xenomórficos (à exceção dos fenocristais) e contém algumas inclusões de plagioclásio e quartzo. Em alguns casos, mostram substituição local por muscovita secundária. Também ocorrem como megacristais idiomórficos ricos em inclusões arredondadas de quartzo, plagioclásio e biotita, esta última apresentando coloração mais clara que a observada na matriz.

O quartzo ocorre como inclusões ou como cristais xenomórficos na matriz da rocha, exhibe extinção ondulante e poligonização indicativas de deformação de estado sólido, também evidenciada pelo estiramento dos bolsões granoblásticos e pela orientação dos cristais de biotita.

A biotita exhibe coloração castanha, que contrasta com o observado na porção central do maciço, onde Filipov & Janasi (2001) descrevem termos menos deformados nos quais a biotita alinha-se segundo foliação de fluxo e exhibe coloração castanho-avermelhada.

Dentre os minerais acessórios destacam-se titanita, allanita, apatita e, ocasionalmente, turmalina. Muscovita e epidoto exibem relações texturais indicativas de origem pós-magmática (Prancha 1A - Fotos A e B). Em algumas amostras da porção central e meridional do maciço, são observados cristais de monazita que, quando inclusos em biotita, definem expressivos halos pleocróicos. Em alguns casos, cristais isolados na matriz apresentam feições indicativas de reação, com substituição parcial por uma mistura de apatita, allanita e epidoto (Prancha 1A – Foto E)

4.2 BIOTITA GRANITOS EQUIGRANULARES

Corresponde a uma variedade mais clara (IC ~4-5), porém texturalmente semelhante à anterior, exceto pela inobservância de megacristais de feldspato potássico, que nessa fácies, a despeito do destaque em relação à matriz, conferem aspecto apenas inequigranular às rochas (Prancha 1 – Foto E).

A amostra MAU-25B apresenta matriz de granulação sensivelmente mais grossa se comparada à fácies predominante do maciço. Sua mineralogia é essencialmente a mesma da variedade porfirítica; no entanto, chama atenção a menor abundância em biotita. Os cristais de plagioclásio exibem hábito tabular preservado e forte zonamento composicional, ao contrário do observado para a fácies predominante (Prancha 1A – Foto D). Diferencia-se

também pela ocorrência de cristais de muscovita mais abundantes que na variedade anterior e, em parte, aparentemente primária. Não se observa foliação de fluxo, já que os cristais maiores de feldspato potássico, plagioclásio e palhetas de biotita apresentam-se aleatoriamente dispostos (Prancha 1A – Foto C). As feições indicativas de deformação, apesar de presentes, mostram-se menos pronunciadas que na fácies porfirítica.

4.3 MUSCOVITA LEUCOGRANITOS

Restringem-se à porção SW do maciço. A rocha corresponde a um biotita-muscovita granito equigranular de coloração cinza clara e índice de cor inferior a 5. Associam-se freqüentemente a pegmatitos, *greisens* e turmalina granitos.

Microscopicamente, as amostras apresentam textura alotriomórfica, com alguns poucos cristais de feldspato potássico apresentando hábito algo preservado. A mineralogia essencial compõe-se, além do último, por quartzo, plagioclásio, muscovita e alguma biotita. Não são observadas evidências de deformação, ou mesmo foliação de fluxo. A mineralogia acessória inclui cristais de apatita, turmalina e fluorita (Prancha 1B – Foto B). São comuns também as substituições parciais de feldspato potássico por muscovita.

4.4 PRINCIPAIS ESTRUTURAS ASSOCIADAS

➤ Bandamentos:

Em praticamente todos os afloramentos foram observadas concentrações félsicas de contornos difusos. Em alguns casos, trata-se claramente de concentrações de megacristais de feldspato alcalino que acompanham o fluxo magmático, e são especialmente comuns em torno de enclaves. Algumas manchas félsicas apresentam bordas delimitadas por bandas mais escuras, sugerindo segregação por fluxo.

Em um local foi observado bandamento definido pela maior concentração de minerais máficos e de megacristais de feldspato nas porções próximas às paredes do granito adjacente, originando uma configuração que remete a estruturas cumuláticas (ponto MAU-22 B – Prancha 1 Foto G). Microscopicamente, esta rocha apresenta foliação de fluxo sugerida pela orientação preferencial dos fenocristais de plagioclásio e pelo alinhamento das palhetas de biotita. A textura remete à foliação gnáissica em virtude do bandamento bem marcado (Prancha 1B – Foto C); no entanto, não se observam feições indicativas de deformação de estado sólido. A mineralogia essencial contém plagioclásio, feldspato alcalino (que ocorre em quantidades pouco expressivas na matriz), quartzo e biotita. Entre os acessórios destacam-se a presença de abundante allanita (Prancha 1B – Foto D), além de titanita, turmalina, apatita e

minerais opacos. Muscovita e epidoto apresentam feições texturais indicativas de origem pós-magmática.

➤ **Enclaves:**

Em todos os afloramentos visitados observou-se presença marcante de enclaves de tipologia diversa que ocorrem disseminados pelo granito. Predominam os enclaves de origem ígnea e composição granítica, que apresentam coloração escura – devido à sua granulometria fina - a despeito do baixo IC. Ocorrem ainda variedades de origem metamórfica. Todos os tipos de enclaves observados são descritos abaixo:

- Enclaves micáceos: em alguns dos afloramentos observou-se a presença de enclaves de granulação fina, de foliação muito pronunciada, e composição de um biotita gnaisse. A morfologia desses enclaves é principalmente ovalada e seus contornos não apresentam indícios de reação com o granito hospedeiro (Prancha 1 – Foto H). Microscopicamente, as amostras representativas dessa categoria exibem foliação de estado sólido muito proeminente desenhada pelo alinhamento das palhetas de biotita e das porções granoblásticas compostas por quartzo e feldspato.
- Enclaves graníticos cinza claros: possuem composição granítica, e granulometria mais fina que a observada no granito adjacente. Assemelham-se em coloração e textura à variedade mais clara do granito (IC ~4). Apresentam raros megacristais de feldspato potássico de orientação diversa, menores do que os do granito hospedeiro, e não apresentam foliação. A morfologia desses enclaves é predominantemente arredondada (Prancha 1 - Foto F). Microscopicamente, esse enclave (MAU-25C) apresenta textura alotriomórfica inequigranular e mineralogia bastante semelhante à da fácies mais clara do maciço (MAU-25A), exceto pela menor porcentagem de biotita e maior riqueza em muscovita observadas.
- Enclaves micrograníticos cinza médio: tipologia mais abundante de enclaves do maciço. Possuem composição semelhante à do granito, porém sua textura é algo diferente, pois apresentam granulometria mais fina e não têm fenocristais. Quase sempre observam-se pequenas concentrações biotíticas dispersas que lhes conferem aspecto “mosqueado” (Prancha 1 – Foto B). É possível reconhecer, no granito hospedeiro, uma concentração preferencial de megacristais de feldspato cuja orientação, grosso modo, segue os contornos desses enclaves. Os aglomerados biotíticos são reconhecíveis também em escala microscópica (Prancha 1B – Foto B). A amostra MAU-22C apresenta mineralogia essencial bastante semelhante à observada para os biotita granitos porfiríticos, porém chama atenção a ocorrência de concentrações preferenciais de contorno subcircular de cristais de biotita.

- Enclaves micrograníticos cinza-escuros: apresentam coloração mais escura do que a verificada na tipologia anterior e, assim como eles, apresentam granulometria mais fina que a do granito. O que chama atenção é a ocorrência constante de xenocristais de feldspato capturados, que possuem orientação semelhante ou muito próxima à dos fenocristais do granito (Prancha 1 – Fotos A e C). Em um dos pontos observou-se rompimento de um desses enclaves por cisalhamento com componente lateral direita (Ponto MAU-30, Figura 3).

Microscopicamente, de um modo geral, os enclaves micrograníticos exibem composição idêntica à da variedade predominante do granito. Os cristais de biotita definem foliação pouco proeminente e localmente concentram-se em bolsões conferindo aspecto manchado às amostras. São observados cristais ocelares de quartzo e plagioclásio em cujas bordas é possível reconhecer feições indicativas de desequilíbrio como reentrâncias e birrefringência mais clara. Apresentam como minerais acessórios apatita, turmalina, epidoto e alguns poucos minerais opacos.

- Xenólitos gnáissicos: são relatados apenas nos pontos MAU-06 e MAU-08. Trata-se de xenólitos métricos angulosos, de contato abrupto com o granito, marcado por uma concentração de cristais de feldspato potássico (Prancha 1 – Foto D). São formados por um gnaiss de granulação média e coloração cinza clara.

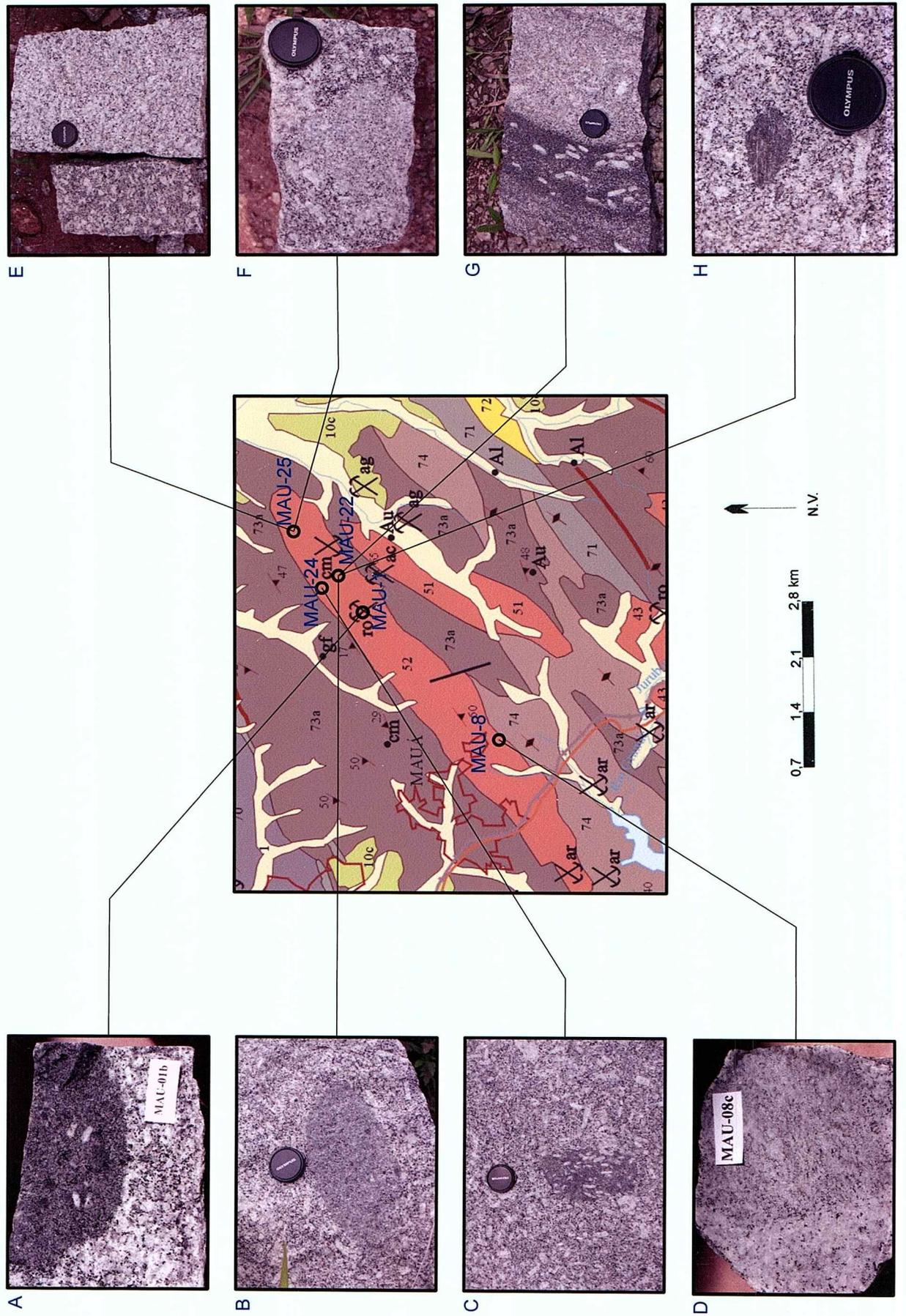
➤ **Veios pegmatíticos/aplíticos:** são raros, pouco espessos, e ocorrem truncando a foliação; aspecto peculiar é a presença de abundante pirita secundária nas paredes dos veios.

4.5 SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA

Os valores de susceptibilidade magnética (SM) medidos nas rochas predominantes no maciço são invariavelmente baixos (intervalo $0,13$ a $0,23 \times 10^{-3}$ SI), porém superiores aos observados no maciço Mogi das Cruzes.

Apenas uma amostra do termo mais diferenciado presente na metade sul-ocidental do maciço apresenta valores fora do intervalo supramencionado ($0,08 \times 10^{-3}$ SI - ponto MAU-9; cf. Figura 3).

A despeito da proximidade dos valores, pode-se observar um padrão de distribuição geográfica com valores mais altos ocorrendo no extremo NE do maciço e valores mais baixos restritos em direção a SW. Tal fato é comum em granitos paramagnéticos, nos quais a SM é diretamente proporcional ao teor de minerais máficos.



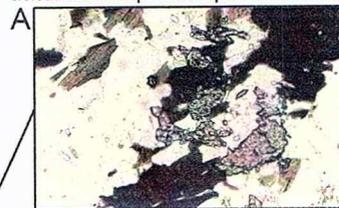
PRANCHA 1 - Faciologias principais e feições associadas ao granito Mauá

Petrografia macro e microscópica

Mineralogia acessória incluindo abundantes cristais aciculares de apatita e epidoto secundário



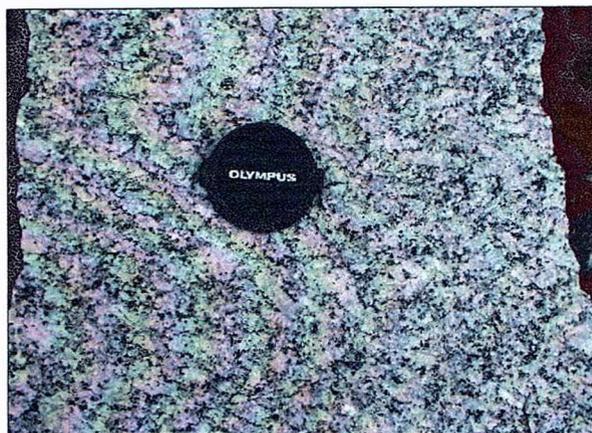
Ponto MAU-30 biotita granito porfírico, fácies predominante do maciço Mauá



Nicós cruzados



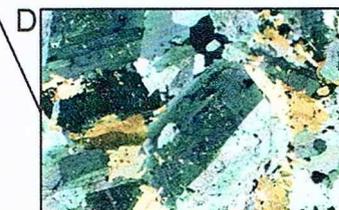
Nicós des cruzados



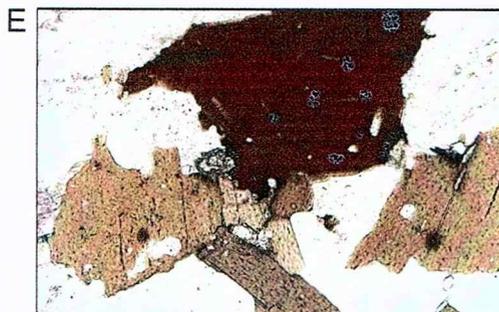
Ponto MAU-25 Biotita granito, fácies mais clara do maciço.



Textura geral. Notar presença de megacrystal de FK zonado e cristais de biotita sem orientação aparente



Cristal de plagioclásio demonstrando forte zonamento composicional, indicando cristalização em níveis rasos da crosta

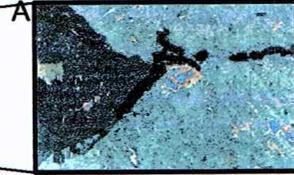


Inclúes de monazita e zircão em biotita denunciadas pela presença de halos pleocróicos. Cristal maior isolado de monazita ao centro da foto apresenta bordas parcialmente alteradas para allanita, epidoto e apatita

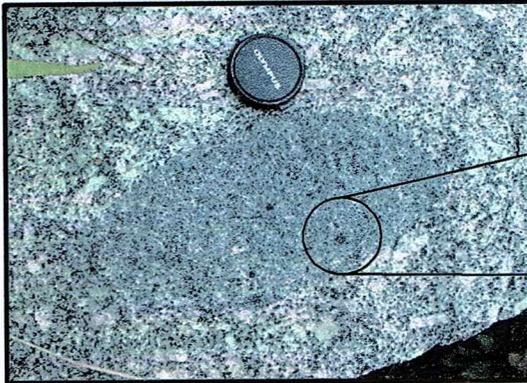
Petrografia macro e microscópica



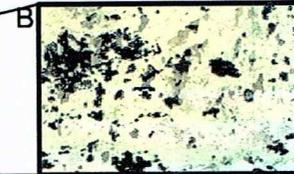
Ponto MAU-6B Muscovita biotita granito equigranular



Produtos da atuação de processos hidrotermais sobre as rochas da porção SW do maciço: mscovita substituiu parcialmente feldspato potássico e fluorita se cristalizou nos contatos.



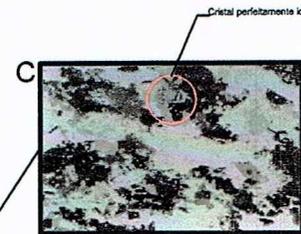
Ponto MAU-22 Enclave granítico cinza médio



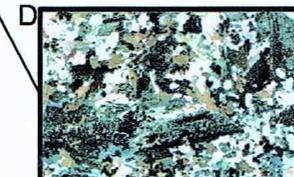
Concentrações de biotita em enclave microgranular: aspectos macro e microscópicos.



Ponto MAU-22B Bandamento magmático em cumulato rico em biotita e plagioclásio, com megacristais tabulares de feldspato potássico de contornos retilíneos paralelos à foliação.



Cristal perfeitamente idiomórfico de allanita



Cristais de plagioclásio com hábito preservado e zonamento composicionais indicativos de origem ígnea do cumulato

PRANCHA 1 B - Petrografia macro e microscópica da fácies mais diferenciada e dos enclaves do maciço Mauá

Legenda da Prancha 1

Foto A – Enclave microgranular do ponto MAU-1. Notar ocorrência de esparsos xenocristais de feldspato alcalino e concentrações biotíticas conferindo aspecto manchado ao enclave. Atentar para coloração mais escura em relação aos demais enclaves.

Foto B – Enclave microgranítico cinza médio. Atentar para ausência de xenocristais e pequenas concentrações circulares de biotita.

Foto C – Enclave microgranítico cinza escuro com abundantes xenocristais de feldspato alcalino com eixo maior disposto segundo à foliação de fluxo magmático.

Foto D – Enclave gnáissico de morfologia circular e coloração muito próxima à do granito hospedeiro.

Foto E – Fácies inequigranular e porfírica (predominante do maciço) coexistindo no mesmo afloramento. Atentar para diferença textural e de IC.

Foto F – Enclave granítico cinza claro composicionalmente semelhante à fácies mais clara do granito.

Foto G – Bandamento cumulático com concentração de megacristais tabulares de feldspato alcalino. Notar contatos retilíneos e foliação paralela à parede do granito.

Foto H – Enclave micáceo de foliação gnáissica proeminente.

5. Aspectos geológicos e petrográficos do maciço Mogi das Cruzes

O maciço Mogi das Cruzes é uma pequena ocorrência de forma subcircular, com cerca de 8 km² de área, com algum alongamento na direção N40E. Aflora principalmente na área urbana a SW da cidade de Mogi das Cruzes. É intrusivo em mica-xistos com intercalações de gnaisses (Janasi & Ulbrich, 1992).

As exposições ocorrem principalmente em pequenas pedreiras, ativas ou abandonadas, e cortes em estradas na área urbana do referido município.

Ao contrário do observado para o maciço Mauá, não são observadas variações faciológicas significativas. Observa-se apenas que, nas bordas do maciço (e.g., ponto E-62, cf. Figura 3), a rocha tem tendência a porfírica e apresenta foliação de estado sólido, marcada principalmente pelo estiramento do quartzo. As heterogeneidades identificadas correspondem principalmente a enclaves e venulações félsicas. Chama atenção, no entanto, a ocorrência, em grande parte dos afloramentos, de termos mais diferenciados compostos principalmente por feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e grandes prismas de turmalina idiomórfica, porém tais ocorrências definem corpos de dimensões restritas em meio ao granito predominante, e não configuram, portanto, uma unidade que possa ser distinguida em mapas na escala aqui adotada

5.1 MUSCOVITA-BIOTITA GRANITOS INEQUIGRANULARES

Representam o litotipo predominante e correspondem a muscovita-biotita granitos brancos com IC em torno de 5. Observam-se alguns cristais maiores de feldspato potássico tabulares (até 1,5 cm) que se destacam da matriz e dão à rocha aspecto inequigranular ou até porfírico (Prancha 2 – Foto A) . Observa-se foliação de fluxo pouco proeminente definida pela orientação dos cristais maiores de feldspato potássico.

Microscopicamente, as amostras do granito típico aflorante na metade meridional do corpo granítico (E-25 – Prancha 2A Foto A, E- 40A) apresentam em geral textura ígnea bem preservada (não são identificadas feições indicativas de deformação). A amostra da porção norte do maciço (E-39 – Prancha 2A Foto A) apresenta feições indicativas de recristalização sugerida pela poligonização dos cristais de quartzo e sua extinção ondulante. Os cristais de plagioclásio de todas as amostras apresentam-se idiomórficos e têm seus núcleos intensamente alterados (principalmente para muscovita) e bordas límpidas, refletindo zonamento composicional. O teor de anortita estimado na porção de núcleo dos cristais é de 20%. O microclínio é comumente perfitico, e possui inclusões de quartzo e plagioclásio

arredondados. São observados ainda vários intercrescimentos mirmequíticos. Os cristais de biotita apresentam expressivo volume de inclusões de zircão e monazita (Prancha 2A – Foto C). Ocorrem também grandes cristais idiomórficos de muscovita, alguns dos quais exibem feições de sobrecrecimento (Prancha 2A – Foto D). A mineralogia acessória compreende cristais de turmalina, apatita acicular, além de zircão e monazita, que em geral mostra evidências de reação que praticamente destruiu a maior parte dos cristais, e dificulta bastante a sua datação (cf. Janasi et al., 2003). A mineralogia secundária compõe-se de muscovita e carbonato. Na amostra E-39, do extremo norte do maciço, foi encontrado um pequeno cristal de granada.

5.2 TURMALINA GRANITOS E VENULAÇÕES

Associados principalmente às exposições do núcleo do maciço ocorrem turmalina granitos de textura pegmatítica e contornos difusos, definindo manchas dispostas paralelamente à foliação de fluxo. A rocha apresenta textura equigranular grossa e, em relação aos granitos predominantes, é empobrecida em biotita (Prancha 2 – Foto C). No ponto E-25 A (Figura 3), os cristais de turmalina são centimétricos e claramente intersticiais. A forma dos cristais maiores aparentam obedecer os contornos dos cristais de plagioclásio (Prancha 2A – Foto B) e as ramificações, também de turmalina, aparentemente preenchem as fraturas dos cristais de plagioclásio e quartzo que o circundam.

Microscopicamente a turmalina revela zonamento pronunciado e o caráter intersticial determinado em campo é confirmado. No entanto a amostra do ponto E-40 apresenta concentrações de cristais de turmalina isolados, de caráter não intersticial (Prancha 2A – ponto E-25D).

5.3 PRINCIPAIS ESTRUTURAS ASSOCIADAS

As heterogeneidades observadas no maciço correspondem principalmente a manchamentos félsicos e diferentes tipos de enclaves.

➤ **Manchamentos:** em alguns dos pontos visitados foram observadas concentrações subverticais de material félsico segregado, paralelas à foliação de fluxo do granito. A rocha tem textura equigranular grossa, e apresenta muscovita primária em abundância. Comumente tais venulações são delimitadas por faixas centimétricas de material mais rico em biotita, remetendo a *schlieren* (Prancha 2 – Foto E).

Os enclaves observados são de origem magmática (enclaves cinza-médios e escuros) e metamórfica:

- Enclaves cinza-médios finos: variedade mais abundante de enclaves. Possuem morfologia ovóide alongada segundo a foliação. Contêm megacristais de feldspato menores que os do granito hospedeiro, alguns deles ocelares, que se dispõem segundo orientação próxima à observada no granito (Prancha 2 – Foto F).
- Enclaves magmáticos cinza-escuros finos: são normalmente subcirculares e pequenos (centimétricos). Apresentam mineralogia semelhante à da tipologia anterior, porém são mais ricos em biotita e não têm xenocristais. Em um caso, ocorrem dentro de um enclave cinza-médio (Prancha 2 - Foto B).
- Enclaves metamórficos: foram observados enclaves angulosos de mica-xisto (Prancha 2 – Foto D) e de rocha cálcio-silicática portadora de granada (ponto E-25).

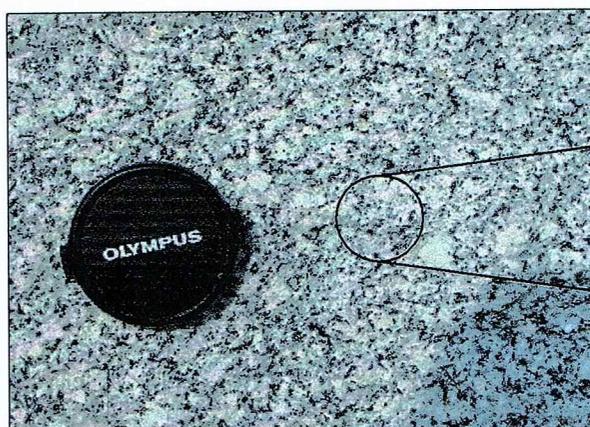
5.4 SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA

Os valores de SM medidos nas amostras do maciço são invariavelmente baixos e se situam no intervalo $0,05$ e $0,12 \times 10^{-3}$ SI, sendo muito sutilmente inferiores aos registrados para as variedades da metade centro-leste do maciço Mauá e idênticos aos determinados para a porção centro-sul deste, onde as amostras apresentam valores de susceptibilidade entre $0,08$ e $0,13 \times 10^{-3}$ SI. Portanto, também para Mogi, pode-se assumir caráter reduzido do magma, com baixa $f(O_2)$ e cristalização de ilmenita em detrimento de magnetita, com conseqüente caráter paramagnético das rochas do maciço.



PRANCHA 2 - Granito Mogi das Cruzes e principais feições associadas

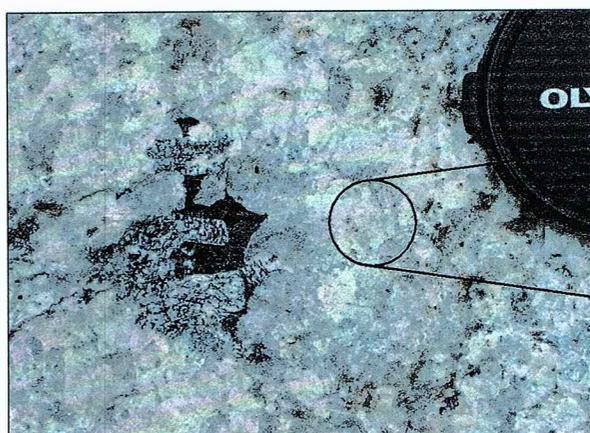
Petrografia macro e microscópica



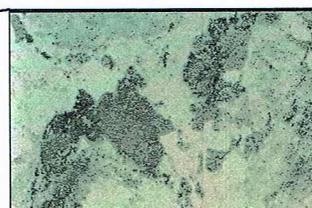
Ponto E-39 Muscovita-biotita granito típico do maciço Mogi das Cruzes



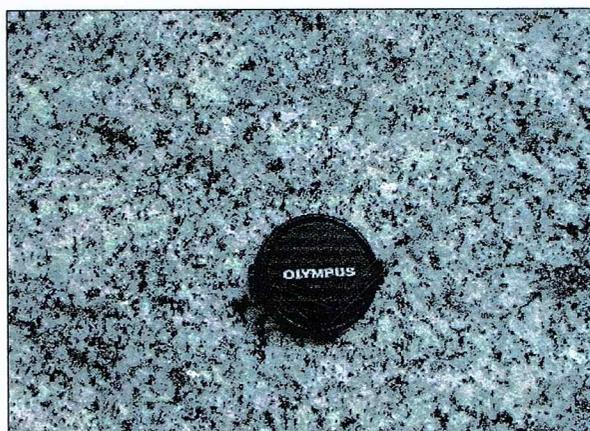
Textura geral do granito. Atentar para presença de muscovita primária e para a baixa porcentagem de biotita da rocha



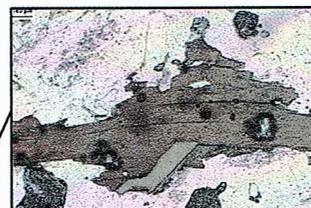
Ponto E-25D - Turmalina granito que ocorre associado ao granito predominante



Cristais idiomórficos de turmalina zonada da banda de granito mais claro.



Ponto E-25 Muscovita-biotita granito típico



Presença de inclusões de monazita e zircão evidenciada pela ocorrência de halos pleocróicos em cristal de biotita



Cristal de muscovita primária com sobrecrecimento secundário

PRANCHA 2 A - Petrografia macro e microscópica das rochas do maciço Mogi das Cruzes

Legenda da Prancha 2

Foto A – muscovita-biotita granito inequigranular típico do maciço.

Foto B – Enclave microgranítico cinza médio de morfologia ovalada, com eixo maior disposto discordantemente da foliação de fluxo. Atentar para presença de xenocristais de feldspato alcalino alinhados segundo à foliação, e enclave microgranítico cinza escuro também seguindo foliação.

Foto C – turmalina-muscovita leucogranito grosso que ocorre associado à fácies predominante do maciço.

Foto D – Enclave micáceo, provavelmente xenólito, em virtude dos contornos angulosos e da composição essencialmente biotítica.

Foto E – Schlieren biotítico contornando porção difusarica em feldspatos e quartzo.

Foto F – Enclave microgranítico sem xenocristais de feldspato. Notar morfologia singular de sua porção inferior..

6. Geoquímica elemental

Dispõe-se de análises de vinte e seis amostras de rochas representativas dos litotipos principais e associados aos maciços estudados. Dezesseis delas correspondem às mesmas amostras analisadas por Filipov & Janasi (2001), que foram aqui objeto de reanálise, uma vez que os fechamentos originais eram mais baixos do que o desejado.

A Tabela 1 apresenta o código de campo e o litotipo correspondente a cada uma das amostras analisadas. Os resultados químicos completos são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 1 - Listagem das amostras alvo das análises químicas

Maciço	Amostra	Litotipo
Maciço	E-00-25a	Muscovita-biotita granito
	E-03-25a	
	E-02-39	
Mogi das Cruzes	E-02-40a	Turmalina pegmatito Enclave microgranular félsico Enclave gnáissico calcio-silicático
	E-02-40B	
	E-02-40C	
	E-00-25D	
	MAU-1A	
	MAU-4	
	MAU-9	
	MAU-11A	
	MAU-14A	
	MAU-25A	
	MAU-29	
	MAU-5	
	MAU-6B	
Mauá	MAU-8A	Biotita granito inequigranular
	MAU-25B	
	MAU-2A	
	MAU-3B	
	MAU-6A	
	MAU-11B	
	MAU-14A	
	MAU-10B	
	MAU-16A2	
	MAU-22B	

Fácies amostra	biotita granitos porfiríticos				(ms)-bi granito equigranular				enclaves magmáticos				encl. gnáiss			enclaves micáceos			
	MAU-1A	MAU-4	MAU-9	MAU-11A	MAU-14A	MAU-25A	MAU-29	MAU-3B	MAU-6B	MAU-8A	MAU-5	MAU-25B	MAU-2A	MAU-3B	MAU-11B	MAU-14B	MAU-10B	MAU-16A	MAU-22B
SiO ₂	71,52	70,43	70,81	70,38	71,80	70,49	70,34	74,33	75,40	73,61	74,33	70,50	69,62	70,45	73,80	70,75	56,72	59,55	59,31
TiO ₂	0,34	0,45	0,37	0,42	0,19	0,43	0,39	0,12	0,12	0,25	0,05	0,30	0,45	0,43	0,55	0,35	0,90	0,83	1,33
Al ₂ O ₃	14,04	14,00	13,37	14,04	14,42	13,97	13,97	12,24	12,24	13,08	13,61	15,38	14,49	14,36	11,79	14,42	17,05	15,95	15,05
Fe ₂ O ₃	3,26	3,89	3,29	3,62	3,27	3,58	3,58	1,71	1,71	2,70	1,34	2,67	3,79	4,04	4,80	3,48	9,64	9,42	11,18
MnO	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,14	0,05	0,07	0,06	0,09	0,07	0,16	0,16	0,18
MgO	0,42	0,53	0,40	0,48	0,38	0,51	0,42	0,09	0,09	0,27	0,03	0,34	0,56	0,60	0,64	0,43	2,27	1,80	1,52
CaO	1,58	1,73	1,65	1,68	1,53	2,01	1,74	0,67	0,67	1,22	0,10	1,72	1,63	1,81	1,67	1,47	0,94	0,65	2,54
Na ₂ O	3,39	3,16	3,34	3,23	3,37	3,27	3,22	3,36	3,36	3,14	4,10	3,20	3,28	3,23	2,75	3,19	2,24	2,10	2,97
K ₂ O	4,98	4,79	4,23	4,98	5,19	4,96	5,11	4,63	4,63	4,88	4,50	6,52	5,22	5,01	3,65	5,24	8,51	8,28	5,03
P ₂ O ₅	0,18	0,18	0,15	0,17	0,14	0,21	0,16	0,03	0,03	0,10	0,02	0,17	0,16	0,19	0,22	0,14	0,09	0,07	0,54
LOI	0,65	0,62	1,44	0,00	0,86	0,65	0,65	1,16	1,16	0,92	1,25	0,40	0,40	0,39	0,46	0,73	0,99	1,38	
Total	100,42	99,85	99,12	99,07	101,22	99,98	99,65	99,51	99,51	100,23	99,47	100,85	99,67	100,57	100,42	100,27	99,51	100,19	99,65
FeO(t)	2,93	3,50	2,96	3,26	2,94	3,26	3,22	1,54	1,54	2,43	1,21	2,40	3,41	3,64	4,32	3,13	8,67	8,48	10,06
mg#	20,33	21,25	19,41	20,80	18,71	21,70	18,85	9,44	9,44	16,53	4,25	20,24	22,64	22,73	20,89	19,66	31,80	27,45	21,24
A/CNK	1,01	1,03	1,02	1,02	1,03	1,00	1,00	1,04	1,04	1,03	1,15	1,00	1,03	1,02	1,02	1,06	1,17	1,17	1,01
A/NK	1,28	1,35	1,33	1,31	1,29	1,34	1,29	1,16	1,16	1,25	1,17	1,25	1,31	1,34	1,39	1,32	1,32	1,28	1,46
NiK	1,03	1,00	1,20	0,99	0,99	1,00	0,96	1,09	1,09	0,98	1,38	0,75	0,95	0,98	1,15	0,93	0,40	0,39	0,90
K	41340	39265	35530	41340	43084			39929	40344	38518		42503	42503	41590	30881	43084	73467	67656	
Rb	226	717	696	888	839	1112	1101	257	153	426	63	1485	205	231	371	455	543	671	
Ba	162	186	149	167	144	198	184	45	45	104	17	213	604	636	371	455	708	671	
Sr	2038	2638	2278	2518	1858	228	239	899	899	1559	480	2578	2578	2578	3417	2038	5336	4796	149
Ti	230	266	195	237	210	228	239	74	74	167	54	190	246	236	313	197	357	157	697
Zr	60,7	65,3	74	56,00	51	45	55,15	35	35	63	22	40	52	64	75	76,94	31,00	37,55	248
La	106,8	136,14	114,89	12,76	12,76	12,96	97,8	66,0	66,0	126,0	36,0	127,2	122,8	122,8	13,70		64,0		
Ce	12,37	15,28	12,76	46,51	46,51	45,4	45,4	33,0	33,0	52,0	17,0	47,7	44,2	44,2	13,70		26,0		
Pr	41	52,59	8,75	8,75	8,75	8,35	8,35	6,59	6,59	8,79	4,86	8,90	8,90	8,30	4,83		4,83		
Nd	7,9	9,15	1,18	1,18	1,18	1,37	1,37	0,50	0,50	1,20	0,40	1,24	1,24	1,21	1,20		1,20		
Sm	6,30	7,53	6,41	6,41	6,41	7,19	7,19	1,90	1,90	1,50	1,70	1,10	1,10	1,00	1,70		1,70		
Eu	1,00	1,05	1,15	1,15	1,15	1,05	1,05	5,82	5,82	5,82	5,82	5,50	4,70	4,70	5,50		5,50		
Gd	4,90	5,35	6,09	6,09	6,09	6,09	6,09	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,10	1,20		1,20		
Tb	1,00	1,11	1,21	1,21	1,21	1,31	1,31	3,98	3,98	3,98	3,98	3,40	3,30	3,30	3,40		3,40		
Dy	3,10	3,05	0,39	0,39	0,39	4,29	4,29	3,70	3,70	4,20	6,70	2,90	2,90	2,70	2,90		2,90		
Er	2,90	2,65	0,39	0,39	0,39	0,73	0,73	0,49	0,49	0,56	0,92	0,43	0,43	0,41	0,41		0,41		
Lu	0,42	0,39				12,86	12,86	9,46	9,46	15,00	3,28	17,93	17,93	23,70	23,70		23,70		
La/Yb	20,93	24,63	142,79	5,32	5,83			3,40	3,40	4,10	3,71	4,05	4,05	4,24	3,40	4,50	5,53	6,27	
Ba/Sr	4,43	5,86	4,67					257,08	257,08	333,7	333,7	243,3	243,3	243,3	333,7		543,3		
Rb								34,34	34,34	19,1	19,1	153,7	153,7	153,7	153,7		343,4		
Sr								21,9821	21,9821	52,7740	52,7740	4,6000	4,6000	4,6000	4,6000		11,9570		
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr								0,0390	0,0390	0,1837	0,4440	0,0510	0,0510	0,0510	0,0510		0,1550		
Erro								0,7379	0,8556	1,1783	0,7489	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,8077		
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr								0,0001	0,0003	0,0004	0,0004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000		
Erro								0,7110	0,6707	0,7343	0,7343	0,7102	0,7102	0,7102	0,7102		0,7288		
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(t)								9,0510	7,0380	5,1500	9,1310	10,7700	10,7700	10,7700	10,7700		5,6190		
Sm(t)								48,0620	28,3580	15,3040	15,3040	50,7340	50,7340	50,7340	50,7340		27,7970		
Nd(t)								0,1139	0,1501	0,2035	0,2035	0,0888	0,0888	0,0888	0,0888		0,1222		
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd								0,0004	0,0005	0,0008	0,0008	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004		0,0004		
Erro								0,5116	0,5118	0,5119	0,5119	0,5115	0,5115	0,5115	0,5115		0,5118		
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd								0,000011	0,000009	0,000016	0,000016	0,000012	0,000012	0,000012	0,000012		0,000009		
Erro								-14,5	-13,4	-14	-14	-16	-16	-16	-16		-11,1		
eNd(t)								-20,7	-16,9	-13,4	-13,4	-22,6	-22,6	-22,6	-22,6		-16,7		
eNd(0)								2,2	3,1	---	---	2,28	2,28	2,28	2,28		2,11		
TDIM(DP)								0	0	---	---	17,7	17,7	17,7	17,7		16,5		
erro								-0,24	-0,24	0,03	0,03	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45		-0,38		
f																			

Tabela 2 - Resultados químicos e isotópicos das amostras do maciço Mauá. Dados isotópicos calculados considerando a idade de 590 Ma.

Fácies	(ms)-bt granitos inequigranulares				pegmatito	encl. féls.	encl. mica
amostra	E-00-25a	E-03-25a	E-02-39	E-02-40a	E-02-40B	E-02-40C	E-00-25D
SiO ₂	74.12	74.44	74.04	73.77	73.84	75.48	61.17
TiO ₂	0.19	0.23	0.19	0.14	0.07	0.19	0.87
Al ₂ O ₃	13.39	14.16	14.12	14.32	15.04	14.24	17.44
Fe ₂ O ₃	1.89	2.35	2.14	1.65	0.85	2.07	7.08
MnO	0.05	0.05	0.06	0.04	0.03	0.05	0.15
MgO	0.24	0.27	0.26	0.21	0.10	0.27	1.74
CaO	1.00	1.12	1.34	0.96	1.04	1.13	0.97
Na ₂ O	3.35	3.15	3.68	3.44	3.22	3.80	2.63
K ₂ O	4.60	5.52	4.53	4.85	6.79	4.54	8.28
P ₂ O ₅	0.10	0.16	0.14	0.08	0.14	0.10	0.12
LOI	0.49			0.77			
Total	99.42	101.45	100.48	100.23	101.12	101.87	100.45
mg#	20.09	18.65	19.12	20.13	19.41	20.22	32.79
A/CNK	1.09	1.07	1.05	1.13	1.03	1.08	1.16
A/NK	1.28	1.27	1.29	1.31	1.19	1.28	1.31
N/K	1.11	0.87	1.23	1.08	0.72	1.27	0.48
Rb	260						
Ba	416	389	495	325	595	486	854
Sr	87	62	106	79	102	75	130
Ti	0						
Zr	39.5	47	34	81.6	12	56	41
La	75.8			168.29			
Ce	7.95			17.4			
Pr	29			58.56			
Nd	5.4			9.96			
Sm	0.65			1.65			
Eu	5.32			8.1			
Gd	0.95			1.09			
Tb	5.70			5.54			
Dy	1.15			1.14			
Ho	3.73			3.11			
Er	4.02			2.63			
Yb	0.56			0.37			
Lu	155	136	110	74	33	162	176
La/Yb	9.83			31.03			
Ba/Sr	4.78						
Rb	251.7			284.2			
Sr	85.3			75.7			
⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	8.6030			10.9530			
Erro	0.03100			0.09200			
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0.7826			0.7948			
Erro	0.0000			0.0001			
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr(t)	0.7102			0.7027			
Sm(i)	4.8960			4.1010			
Nd(i)	24.5460			20.1840			
¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	0.1206			0.1229			
Erro	0.0004			0.0004			
¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0.511602			0.511556			
eNd(t)	-14.5			-15.6			
eNd(0)	-20.2			-21.1			
TDM(DP)	2.37			2.5			
erro	17.5						
f	-0.39			-0.38			

Tabela 3 - Resultados químicos e isotópicos das amostras do maciço Mogi das Cruzes. Dados isotópicos calculados considerando idade de cristalização de 590 Ma.

6.1 ELEMENTOS MAIORES E MENORES

6.1.1 Maciço Mauá

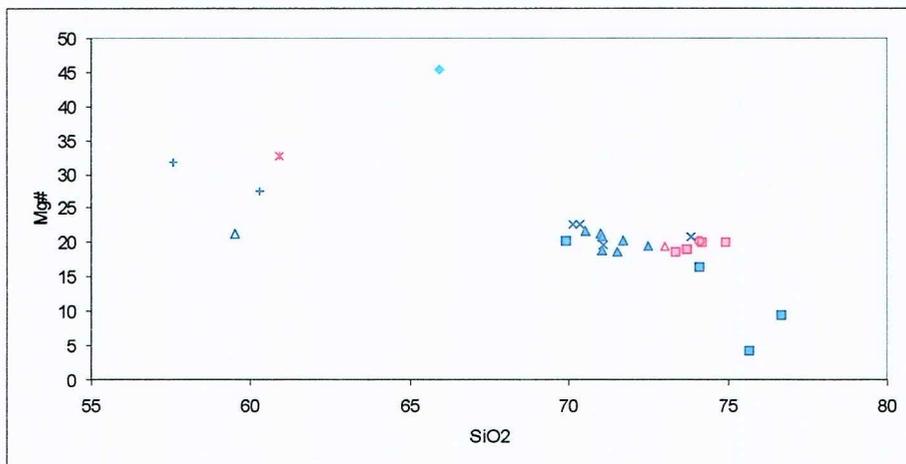
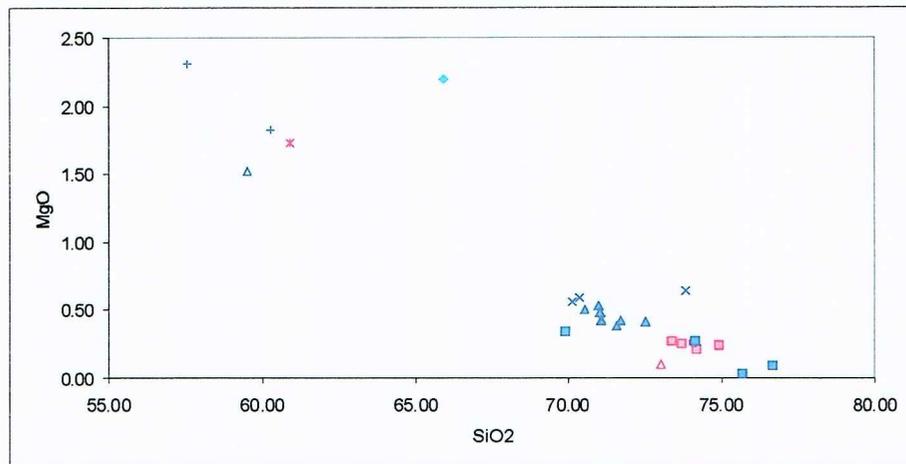
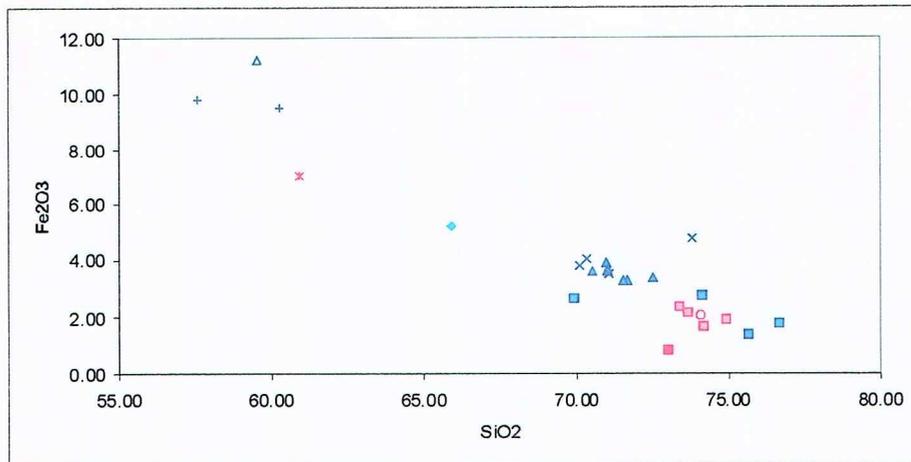
Os diagramas de variação para os óxidos dos elementos maiores, utilizando sílica como índice de diferenciação, são apresentados na Figura 4. Todas as amostras de granitos porfíricos e enclaves microgranulares cobrem um pequeno intervalo composicional, com teores de SiO_2 variando no intervalo 70-72%; a única exceção é o enclave cumulático do ponto MAU-22, cujo teor aproxima-se muito do determinado para os enclaves gnáissicos e micáceos (~60% SiO_2). As amostras da variedade inequigranular de granitos apresentam teores de sílica bastante elevados e correspondem, portanto, ao conjunto mais diferenciado (entre 74 e 76% de SiO_2).

Nota-se que, para praticamente todos os óxidos, as tendências evolutivas separam claramente os termos menos diferenciados do conjunto, determinado pelas amostras de granito porfírico e de enclaves microgranulares das amostras de granitos inequigranulares, mais diferenciadas. A única exceção é a amostra de granito inequigranular MAU-25B, que em campo coexiste com a variedade porfírica, e apresenta teor de sílica semelhante ao observado para a mesma.

Notório também é o comportamento dos enclaves microgranulares, que se revela bastante semelhante ao da fácies porfírica do granito. O mg#, sobretudo, é idêntico para as duas categorias e sensivelmente superior ao determinado para a fácies equigranular.

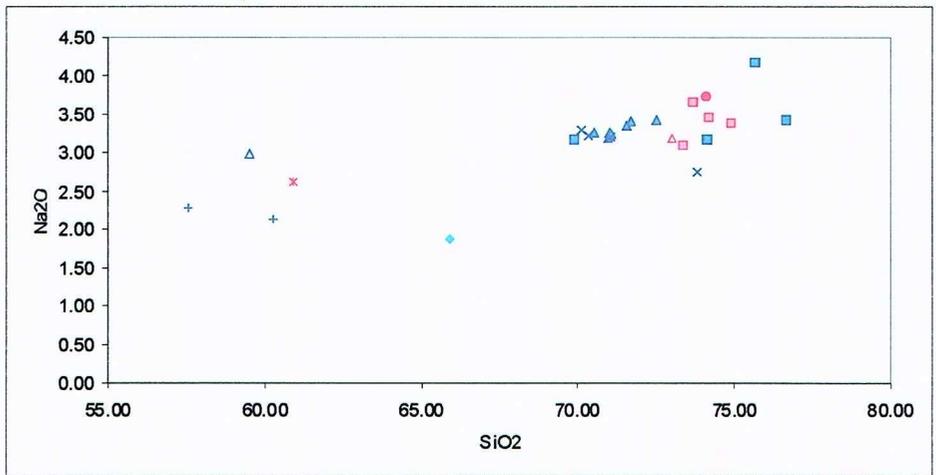
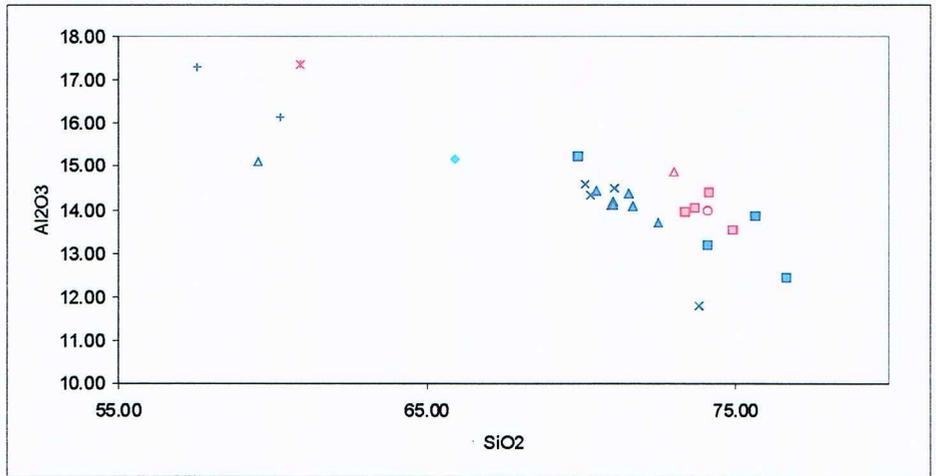
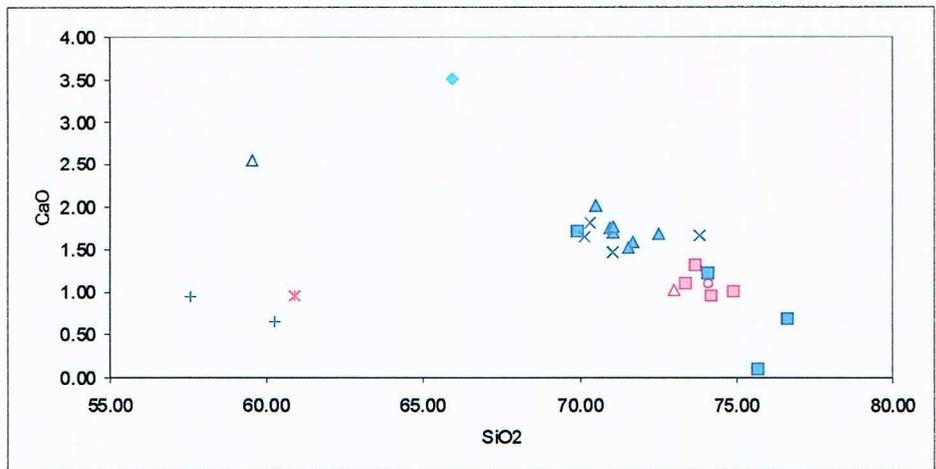
Destaque deve ser dado ao xenólito gnáissico do ponto MAU-6A, que apresenta mg# muito superior ao observado para o conjunto (45), o que somado ao seu alto teor de Na (índice $\text{N/K} = 1,80$) e outras características geoquímicas, sugere que o mesmo é quimicamente correlacionado ao gnaiss encaixante da porção SE do maciço ortognaisse lupeba (Janasi, com. pessoal).

O índice A/CNK, por sua vez, destaca somente as amostras de enclaves micáceos e a amostra MAU-5 como francamente peraluminosas (A/CNK 1,15 a 1,17), enquanto as demais amostras apresentam índice máximo de 1,17 (registrado em duas das amostras de enclaves microgranulares). Tal comportamento certamente reflete a maior riqueza em minerais aluminosos, como biotita e muscovita, observada em enclaves e na variedade mais diferenciada do granito, respectivamente. O índice A/CNK das amostras de biotita granito porfírico da porção centro-sudoeste do maciço (1,02-1,04) é levemente superior ao das amostras do seu extremo NE (1,00), fato que deve refletir a maior riqueza em Al da biotita, que tem cor avermelhada.



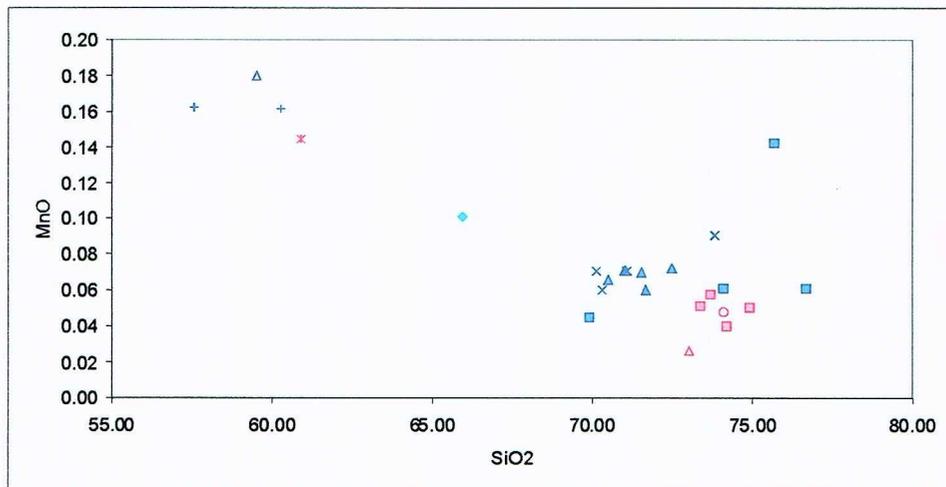
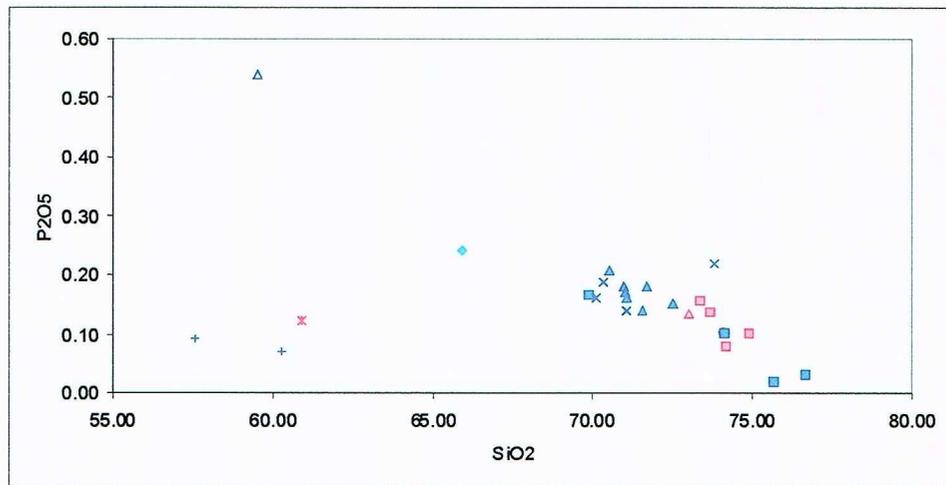
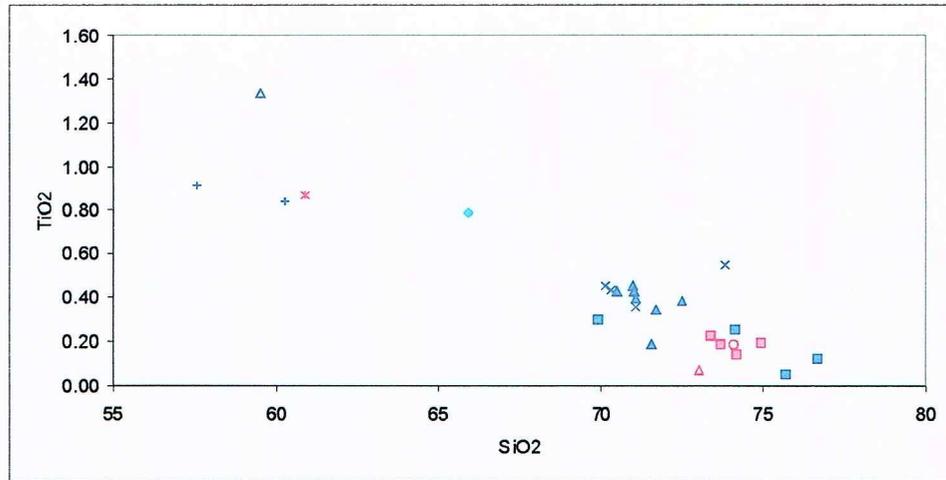
- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| □ Mogi das Cruzes | ■ Maua-inequi |
| △ Mogi das Cruzes-pegmat | × Maua- encl magm |
| ○ Mogi das Cruzes - encl fels | ◆ Maua- xenol gn |
| × Mogi das Cruzes-encl mica | + Maua- encl mica |
| ▲ Maua | ▲ Maua-encl cumul |

Figura 4 - Diagramas de variação de óxidos de elementos maiores para os maciços Mogi das Cruzes e Mauá, utilizando SiO_2 como índice de diferenciação. (Valores em % em peso).



- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| ■ Mogi das Cruzes | ■ Maua-inequi |
| △ Mogi das Cruzes-pegmat | × Maua- encl magm |
| ○ Mogi das Cruzes - encl fels | ◆ Maua- xenol gn |
| × Mogi das Cruzes-encl mica | + Maua- encl mica |
| ▲ Maua | ▲ Maua-encl cumul |

Figura 4 (cont.) - Diagramas de variação de óxidos de elementos maiores para os maciços Mogi das Cruzes e Mauá, utilizando SiO₂ como índice de diferenciação. (Valores em % em peso).



- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| □ Mogi das Cruzes | ■ Maua-inequi |
| △ Mogi das Cruzes-pegmat | × Maua- encl magm |
| ○ Mogi das Cruzes - encl fels | ◆ Maua- xenol gn |
| × Mogi das Cruzes-encl mica | + Maua- encl mica |
| ▲ Maua | ▲ Maua-encl cumul |

Figura 4 (cont.)- Diagramas de variação de óxidos de elementos maiores e menores para os maciços Mogi das Cruzes e Mauá, utilizando SiO₂ como índice de diferenciação. (Valores em % em peso).

IV são os do NE do maciço; o mesmo ocorre com o cumulado (MAU-22B), e deve refletir a composição menos rica em Al da biotita dessas rochas.

Os granitos equigranulares mostram a tendência ao incremento de A e diminuição de B com o fracionamento, culminando no leucogranito a muscovita MAU-5.

6.1.2 Maciço Mogi das Cruzes

Todas as amostras de granitos e do enclave félsico do maciço Mogi das Cruzes analisadas apresentam alto teor de sílica (entre 73 e 75%) e são quimicamente muito semelhantes. Tal como sugerido pela presença de muscovita primária, todas apresentam índice A/CNK elevado (entre 1,03 e 1,13) como reflexo de seus elevados teores de Al. A única diferença observada corresponde aos teores sutilmente superiores Ba, Zr e Y das amostras do ponto E-25.

O pegmatito analisado (E-40B) apresenta como diferenças seus mais elevados teores de Al, Ba e K e teores de Mg, Ti e Mn inferiores aos registrados para as demais amostras, refletindo suas mais altas porcentagens de feldspato potássico, comportamento intrínseco a pegmatitos.

O enclave micáceo é a única amostra do maciço que exhibe comportamento claramente discordante. Exceto para os elementos Ca, Na e Sr e para a sílica, a amostra é significativamente enriquecida em todos os demais, agrupando-se em conjunto com as amostras de enclaves micáceos do maciço Mauá.

Em todos os diagramas construídos o enclave microgranular félsico (E-40C) agrupa-se em conjunto com os granitos, corroborando a similaridade composicional sugerida pela semelhança mineralógica entre ambos.

A Figura 6 apresenta o diagrama AB para as amostras de leucogranitos e enclaves analisadas. Os granitos e enclave microgranular situam-se no campo II (granitos a muscovita e biotita), e no intervalo dos "leucogranitos", formando um agrupamento claramente contrastado com o maciço Mauá.

6.2 ELEMENTOS TERRAS RARAS

Dispõe-se de análises de elementos terras raras para cinco das amostras aqui estudadas, duas da fácies principal do granito Mogi das Cruzes e três da fácies porfirítica do maciço Mauá, que estão entre as primeiras obtidas por ICP-MS no laboratório de Química do Instituto de Geociências – USP. São considerados também os resultados obtidos previamente por Filipov & Janasi (2001) para a variedade inequigranular do maciço Mauá.

A Figura 6 mostra que os granitos porfiríticos do maciço Mauá apresentam padrões de ETR pouco fracionados, com anomalias negativas de Eu bem definidas. No entanto, é notório o maior enriquecimento em terras raras pesadas da amostra da porção NE do maciço (MAU-29). A razão La/Yb normalizada pelo condrito (La/Yb(n)) também evidencia a diferença: o resultado obtido para a amostra MAU-29 (~8) é claramente distinto em relação ao observado para as amostras da mesma faciólogia que ocorrem no restante do maciço (valores entre 12 e 16; cf. Filipov & Janasi, 2001)

Os padrões de ETR dos enclaves microgranulares são muito semelhantes aos dos granitos porfiríticos (Filipov & Janasi, 2001), confirmando as afinidades entre ambos, já evidentes no comportamento dos elementos maiores. Os granitos equigranulares têm padrões de ETR que se tornam menos fracionados com a diferenciação, culminando em um padrão “asa de gaivota” do leucogranito MAU-5, o que é atribuído por Filipov & Janasi (op. cit.) à extração de um mineral acessório rico em ETR leves (monazita).

As duas amostras do maciço Mogi das Cruzes (E-40a e E-25a) também mostram variação do padrão de elementos terras raras (Figura 6). E-40a tem padrão bastante parecido com o dos granitos porfiríticos do maciço Mauá, mas é mais pobre em ETR pesadas, o que se reflete em sua maior razão La/Yb(n) (22). A amostra E-25a, por sua vez, apresenta padrão mais pobre em terras raras leves tanto em relação à amostra E-40a quanto em relação ao maciço Mauá; há um maior enriquecimento em terras raras pesadas, também refletido em sua razão La/Yb(n) (7), valor que se aproxima ao observado para a amostra Mau-29.

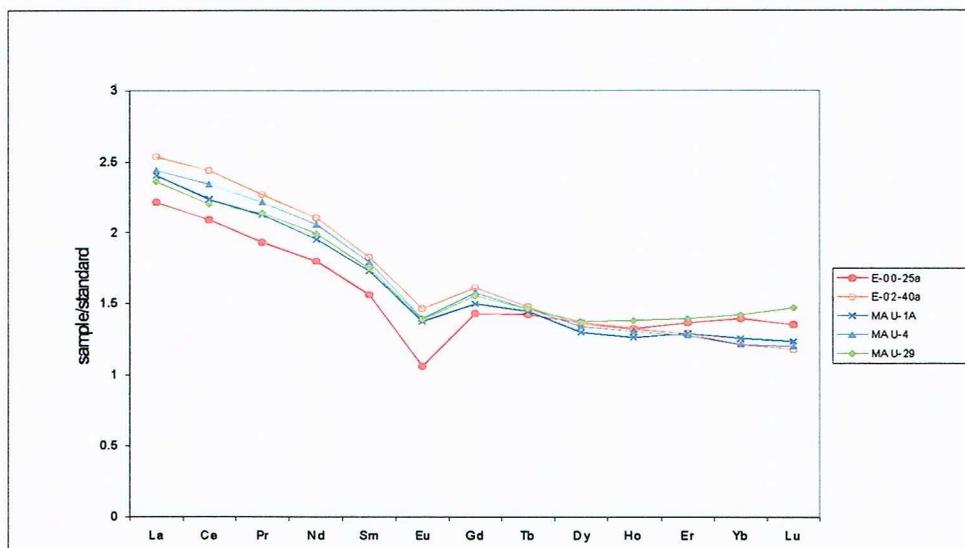
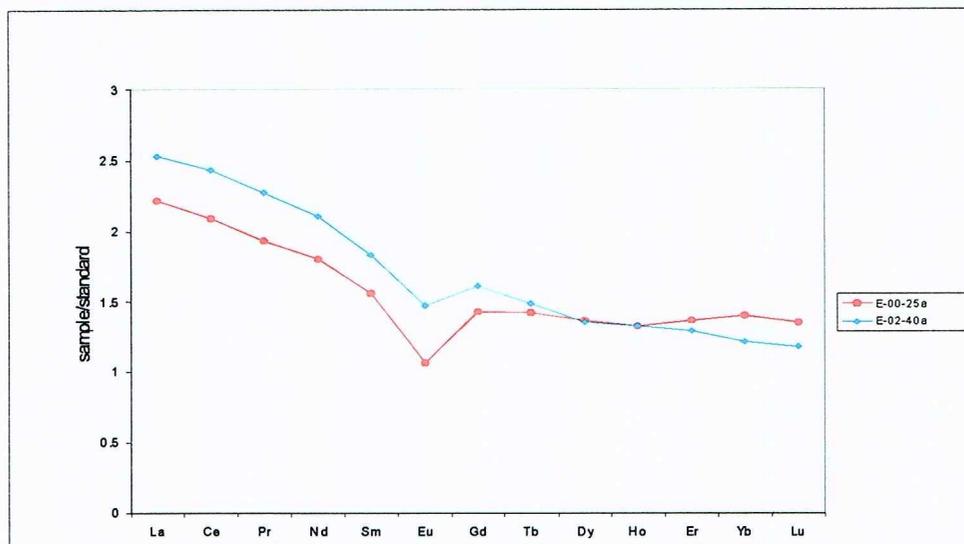
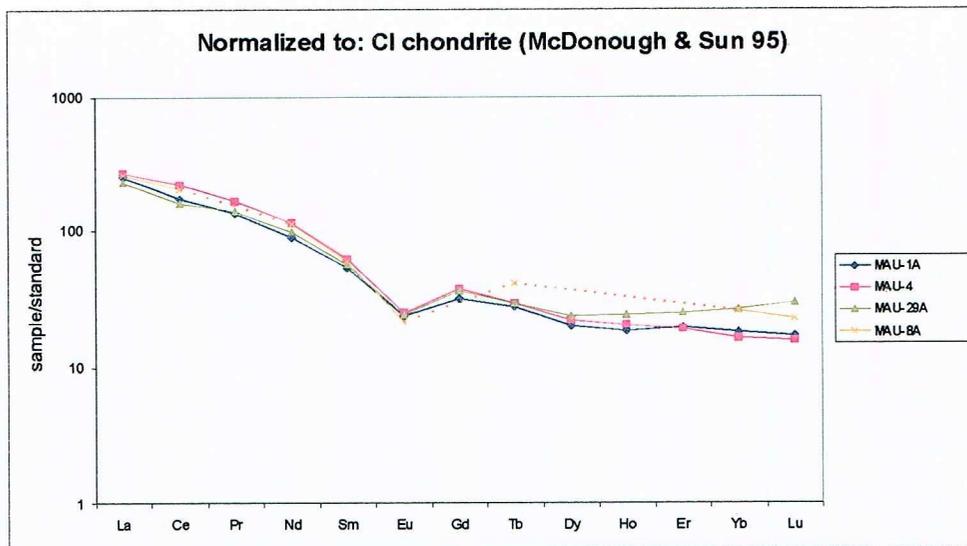


Figura 6 - Padrões de elementos terras raras para amostras das rochas graníticas dos maciços estudados.

7. Geoquímica isotópica

Duas amostras do maciço Mogi das Cruzes e seis amostras do maciço Mauá foram alvo de análises isotópicas. Os resultados são apresentados nas Tabelas 2 e 3. Os números de campo e os litotipos correspondentes às amostras são apresentados na Tabela 4.

Maciço	Amostra	Litotipo
Mogi das Cruzes	E-00-25a	Muscovita-biotita granito
	E-03-25a	
	MAU-29A	Biotita granito porfírico
Mauá	MAU-5	
	MAU-6A	Biotita granito inequigranular
	MAU-6B	
	MAU-2A	Enclave magmático
	MAU-10B	Enclave micáceo

Como pode ser observado na Figura 7, o $\epsilon\text{Nd}_{\text{T}(590)}$ dos granitos estudados varia muito pouco (entre -14 e 15,6; o valor mais negativo para o enclave microgranular). As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{T}}$ são também bastante próximas, tanto para os granitos quanto para as duas amostras de enclave analisadas. No entanto, para as amostras da fácies mais diferenciada do maciço Mauá (MAU-5) observa-se um significativo incremento no valor dessa razão, fato que, muito provavelmente, reflete processos de lixiviação do Rb.

As duas amostras do maciço Mogi das Cruzes analisadas mostram $\epsilon\text{Nd}_{\text{T}}$ semelhante (~ -15) e sutilmente mais negativo que o registrado para Mauá. A estimativa de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{T}}$, no entanto, é muito imprecisa em virtude do baixo teor de Sr apresentado. Assim, o valor de 0,702 calculado para a amostra E-02-40a, provavelmente não reflete a real razão inicial da amostra. Por outro lado, o valor calculado para E-25a é muito semelhante ao do granito Mauá (~ 0.710).

O valor de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{T}}$ mais baixo observado no conjunto analisado é o do enclave micáceo do maciço Mauá, confirmando seu caráter “primitivo”, e mostrando ser improvável uma origem metassedimentar.

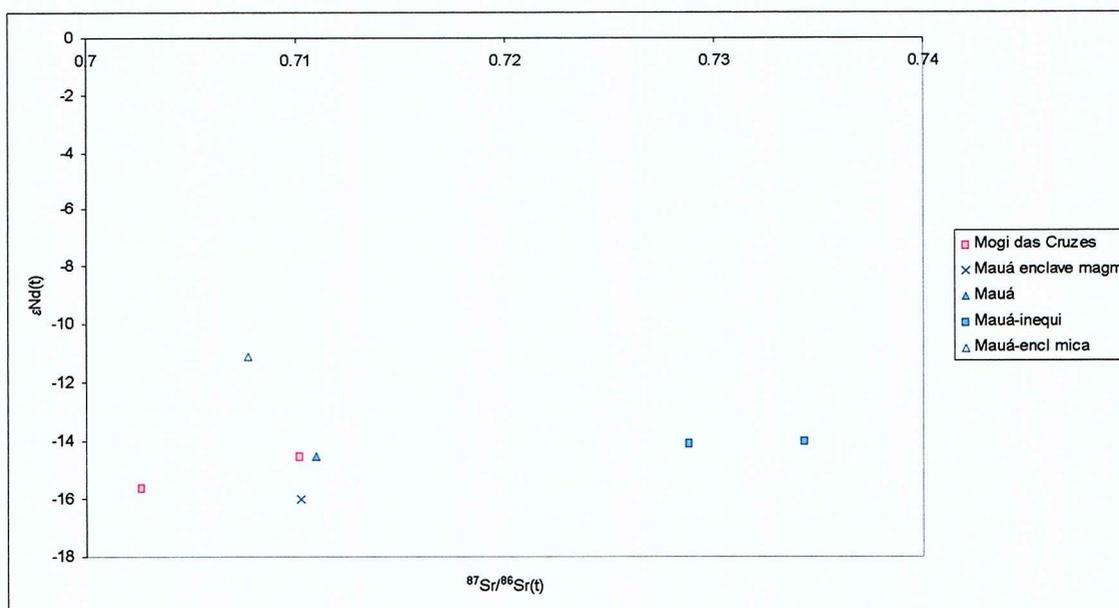


Figura 7 – Diagrama ϵNd versus $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_T$ representando comportamento isotópico dos maciços estudados. Para cálculo dos referidos parâmetros utilizou-se a idade de 590 Ma (Vlach, 2002 e Janasi *et al.*, 2003)

8. Aspectos econômicos

Knetch (1950), descreve afloramentos de pegmatitos mineralizados a cassiterita e wolframita nos arredores do maciço Mogi das Cruzes. Em visitas de campo realizadas neste projeto, só foram encontradas apenas antigas cavas alagadas, portanto de acesso muito restrito, além de afloramentos muito alterados de pegmatitos, cuja mineralogia original encontra-se completamente substituída.

No entanto, é impossível ignorar o potencial mineral dos maciços graníticos aqui estudados, sob o ponto de vista das rochas ornamentais e de minerais industriais.

As rochas do maciço Mauá são exploradas há décadas e empregadas em várias construções, dentre as quais destacam-se algumas das estações do metrô de São Paulo. A exploração se dá tanto em pequenas pedreiras artesanais, nas quais são manufacturados paralelepípedos empregados na restauração de vias legais, quanto em grandes cavas, dedicadas à extração e beneficiamento de placas utilizadas como revestimento. A jazida principal ocorre a 8 km do município de Suzano e compõe-se principalmente de matacões com 5 a 7 metros de diâmetro, arestas arredondadas e superfície rugosa, na classificação utilizada pela Abirochas (2003). A rocha é comercialmente descrita como porfiroblástica com matriz cinza responsável pela coloração tanto *in natura* como polida.

Os ensaios tecnológicos realizados pela Abirochas na fácies porfírica do maciço (Tabela 5) indicam que a mesma pode ser utilizada tanto para revestimento interno quanto externo sem quaisquer restrições.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de caracterização tecnológica do granito cinza Mauá

Densidade	2.672 kg/m ³	Flexão	16,65 MPA
Porosidade	0,69%	Desgaste	0,76 mm
Absorção d'água	0,26%	Dilatação	6,70 x10 ⁻³ mm/m°C
Resistência à Compressão	147,30 MPA	Resistência à Compressão gelo/degelo	167,60 MPA

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de caracterização tecnológica do granito cinza Mauá. *Fonte : Abirochas (2003)*

A porção sudoeste do maciço, dominada por versões equigranulares hidrotermalizadas, destaca-se pela existência de minerações dedicadas à extração de areia residual proveniente da alteração das rochas graníticas. Em virtude da composição das rochas originais, tais areias apresentam características composicionais peculiares (riqueza em quartzo e traços de feldspato), que as habilitam à utilização como agregado no setor de construção civil, para uso industrial (indústrias vidreira e cerâmica).

As rochas do maciço Mogi das Cruzes são também exploradas, porém em escala reduzida. Predominam as pequenas pedreiras dedicadas à confecção de paralelepípedos e brita. No município destaca-se a exploração do caulim associado ao manto de intemperismo dos pegmatitos do maciço.

9. Evolução magmática do maciço Mauá

Os dados de geoquímica elemental e isotópica corroboram o fracionamento assumido por Filipov & Janasi (2001) para explicar a distribuição dos litotipos componentes do maciço.

O cumulado amostrado no ponto MAU-22B apresenta os menores teores de sílica e elevados teores de K, Na, Fe, Ti e elementos terras raras pesadas. Tal comportamento reflete sua mineralogia bastante rica em plagioclásio, biotita e allanita.

A composição mineralógica e química do cumulado dá pistas acerca da origem do empobrecimento relativo em ETR leves observado nas amostras das fácies mais diferenciadas aflorantes na porção SW do maciço, já que os mesmos teriam sido extraídos pela allanita, muito abundante na amostra MAU-22B.

As amostras do extremo sudoeste do maciço, de textura equigranular e portadoras de muscovita primária, apresentam os maiores teores de SiO₂ e índices A/CNK do conjunto,

sugerindo que os produtos do fracionamento do magma original enriqueceram-se progressivamente em Al.

A amostra MAU-25B, que corresponde a fácies mais clara do granito e coexiste no mesmo afloramento com a variedade porfírica, sugere uma hipótese para a origem das inúmeras segregações mais claras circundadas por concentrações biotíticas (*schillierens*) observadas em diversos afloramentos. O comportamento químico da referida amostra é bastante próximo ao observado para a variedade porfírica do maciço, o que descarta a hipótese de geração a partir do mesmo processo de fracionamento observado para o conjunto faciológico de Mauá, já que amostras de IC semelhante correspondem aos termos mais diferenciados. Em contrapartida, o enclave micáceo do ponto MAU-11B, tem comportamento oposto, sendo enriquecido em todos os óxidos para os quais a amostra MAU-25B apresenta empobrecimento. Hipoteticamente, a amostra MAU-25B poderia corresponder a uma “mega” banda equivalente às venulações félsicas observadas e a amostra MAU-11B poderia representar o *schillieren* do conjunto. No entanto, a última corresponde a um enclave magmático e, a despeito da peculiaridade de seu comportamento geoquímico em relação aos demais enclaves, não há evidências de campo ou isotópicas que ratifiquem tal hipótese.

Isotopicamente, pelo menos em termos de $\epsilon\text{Nd}_{(590)}$, as amostras do maciço são muito semelhantes, apontando um caráter comagmático para o conjunto. Também são pouco variadas as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(590)}$, excetuadas as amostras com baixo Sr para as quais a estimativa dessa razão é imprecisa e parece ter sido perturbada por processos secundários, com lixiviação de Rb ou de Sr.

Tanto a isotopia quanto a química elemental sugerem que a origem dos enclaves magmáticos é correlata à dos granitos componentes do maciço. Uma possível interpretação seria a de interação entre magmas em estágios de cristalização distintos, porém de composição semelhante. O enclave metamórfico, por sua vez, apresenta ϵNd muito diferente do esperado, já que suas características macro e microscópicas são sugestivas de origem metassedimentar. No entanto, o valor obtido parece compatível com derivação a partir de fonte mais primitiva que a dos granitos do maciço.

10. Evolução magmática do maciço Mogi das Cruzes

A principal variação observada para o maciço Mogi das Cruzes corresponde à deformação de estado sólido mais pronunciada que se observa nas variedades de borda. No mais, não são observadas variações texturais ou composicionais significativas dentre as rochas componentes do maciço. No entanto, Theodorovicz *et al.* (1990), citam variações sobretudo de cunho textural, e descrevem termos mais grossos e portadores de menores porcentagens de biotita no núcleo do maciço.

Os turmalina granitos ocorrem preferencialmente nas porções de núcleo, porém são observados também nos afloramentos de borda do corpo.

Todas as amostras analisadas são quimicamente muito semelhantes, embora algumas diferenças nos dados isotópicos e em particular no padrão de elementos terras raras tenham sido observadas.

O agrupamento da amostra do enclave félsico do ponto E-40C com as amostras de granito, sugere que sua gênese se deu através da interação de magmas composicionalmente idênticos aos geradores dos granitos, talvez em processo análogo ao admitido para a origem dos enclaves de Mauá. Os pegmatitos e turmalina granitos observados correspondem aos produtos finais do processo de diferenciação magmática.

O caráter reduzido do magma é sugerido pelos baixos valores de SM medidos ao longo de todo o maciço (todos pertencentes ao intervalo $0,13$ a $0,23 \times 10^{-3}$ SI), sugerindo baixa $f(O_2)$ refletida, principalmente na ocorrência de ilmenita e ausência de magnetita, o que mostra seu caráter paramagnético. Tal fato pode ser usado como evidência de vínculo genético entre o granito Mogi das Cruzes e os pegmatitos vizinhos portadores de cassiterita, já que mineralizações de Sn associam-se geralmente a granitos reduzidos (ex., Ishihara, 1981).

11. Correlação entre os processos evolutivos dos maciços

A correlação entre os processos evolutivos responsáveis pela atual configuração dos litotipos componentes dos maciços é sugerida por critérios como:

- proximidade geográfica;
- semelhanças texturais e composicionais entre suas rochas;
- marcante presença de enclaves magmáticos; e
- idade de cristalização idênticas.

Os dados oriundos da geoquímica de elementos maiores, menores e terras raras, bem como o comportamento isotópico das amostras dos maciços, confirmam a hipótese de correlação entre seus processos de fracionamento.

A semelhança macroscópica entre a fácies equigranular de Mauá e o litotipo predominante de Mogi é acentuada pela similaridade dos comportamentos químicos observados para as amostras representativas, sobretudo para os elementos maiores e menores.

A Tabela 6 sumariza os principais índices das fácies de granitos dos maciços, expressos em valores médios.

Maciço	mg#	A/CNK	A/NK	N/K	Ba/Sr	$\epsilon\text{Nd}(t)$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$
Mogi das Cruzes	19,50	1,09	1,29	1,07	4,96	-15,05	0,7064
Mauá equig,	12,61	1,05	1,21	1,05	4,54	-14,25	0,731
Mauá porf,	20,15	1,01	1,31	1,02	5,44	-14	0,7109

A marcante semelhança observada entre todos os índices apresentados para o granito Mogi correlaciona quimicamente suas amostras tanto à fácies porfirítica quanto à equigranular de Mauá.

As principais semelhanças entre o granito Mogi e a fácies equigranular de Mauá são suas já citadas similaridades texturais e a proximidade das razões A/CNK e A/NK, que refletem a riqueza em alumínio das duas variedades.

O mg# da variedade porfirítica de Mauá é praticamente idêntico ao determinado para Mogi. A forte queda no mg# da fácies equigranular de Mauá sugere a atuação de um processo distinto, responsável pelo empobrecimento mais acentuado em Mg (contaminação pelas rochas encaixantes? alteração hidrotermal?).

Os dados isotópicos, em particular os valores de $\epsilon\text{Nd}(t)$ dos dois maciços, são muito próximos, também sugerindo fontes semelhantes. O fracionamento pode ter envolvido processos adicionais à simples cristalização fracionada, como sugere a variação no mg# acima referida. Esses processos de difícil identificação com os dados isotópicos, uma vez que os contaminantes podem ter $\epsilon\text{Nd}(t)$ parecido com os granitos, e a estimativa de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$ é muito imprecisa nas amostras mais fracionadas, que têm teores muito baixos de Sr.

Diante do exposto, pode-se afirmar com certa segurança, que há fortes evidências de correlação genética entre os maciços pesquisados, tanto em termos de fontes envolvidas na geração dos magmas (os dados isotópicos apontam para tal), quanto em termos de processos de evolução magmática responsáveis pela atual configuração faciológica dos maciços (as amostras de ambos os maciços alinham-se conforme uma única linha de tendência para a maioria dos óxidos analisados). No entanto, as poucas diferenças observadas sugerem que as rochas do maciço Mogi não constituem produtos de fracionamento simples do magma gerador de Mauá, já que há diferenças entre essas e a variedade equigranular do maciço Mauá. A maior riqueza em alumínio (refletida em termos de muscovita modal mais abundante), bem como a variação do $\epsilon\text{Nd}(t)$ observado nas amostras do maciço Mogi, indicam que processos de fracionamento e contaminação combinados é que são os responsáveis pelas diferenças identificadas entre as rochas dos maciços pesquisados.

12. Referências bibliográficas

- Alves, F.R. 1975. *Contribuição à geologia da região de Salesópolis-Guararema, SP*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP. (inédita).
- Campos Neto, M.C. (2000) *Orogenic systems from South-western Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan-African cycle and orogenic collage in Southeastern Brazil*. In: Cordani, U.G., Milani, E.J.; Thomaz Filho, A.; Campos D.A. (eds.) *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro, p 335-365.
- CPRM, 2000, Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Folha Santos (inédito)
- Debon, F. & Le Fort, P. 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Trans. R. Soc. Edinburgh (Earth Sci.)*, 73 (for 1982): 135-149.
- Fernandes, A.J. 1991. O Complexo Embu no leste do Estado de São Paulo: contribuição ao conhecimento da litoestratigrafia e da evolução estrutural e metamórfica. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, 120 pp. (inédita).
- Filipov, M. & Janasi, V.A. 2001. The Mauá massif, Central Ribeira Belt, São Paulo: petrography, geochemistry and U-Pb dating. *Revista Brasileira de Geociências*, 31 : 341-348.
- Hasui, Y. 1973. *Tectônica da área das Folhas de São Roque e Pilar do Sul, São Paulo*. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, USP, 190p.
- Hasui, Y. & Sadowski, G.R. 1976. Evolução geológica do pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 6: 157-183,
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) 1984 – Levantamentos cartográficos do Estado de São Paulo em escala 1:50.000. Folhas Mauá (SF-23-Y-D-IV-1) e Mogi das Cruzes (SF-23-Y-D-IV-2).
- Janasi, V.A., Ulbrich, H.H.G.J., 1985. Evolução das Informações Disponíveis para Granitóides do Estado de São Paulo Anais do V Simpósio Regional de Geologia, São Paulo: 21-35.
- Janasi, V.A. & Ulbrich, H.H.G.J. 1992. Inventário bibliográfico de granitos do Estado de São Paulo. *Boletim IG-USP, Série Especial*, 11, 253 p.
- Janasi, V.A., Alves, A., Vlach, S.R.F. 2003. Granitos peraluminosos da Porção Central da Faixa Ribeira, Estado de São Paulo: Sucessivos Eventos de Reciclagem da Crosta

Continental no Neoproterozóico. Revista do Instituto de Geociências – USP, Série Científica, 3: 13-24.

Knetch, T. 1950. Boletim do Instituto de Geociências.

Machado, R., Demange, M., 1996. Classificação estrutural e tectônica dos granitóides neoproterozóicos do Cinturão Paraíba do Sul no Estado do Rio de Janeiro. Boletim Instituto de Geociências-USP, Série Científica 25 81-96.

Morais, S.M. 1995. *Granito Itapeti, SP: petrografia, litoquímica e tipologia do zircão*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, SP, 130 pp.

Motidome, M.J. 1992. *Geologia do Complexo Embu na região entre Santa Isabel e Biritiba-Mirim, SP*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, 173 pp. (inérita)

Sun, S.-S. & McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. Eds., *Magmatism in Ocean Basins*. Geol. Soc. Spec. Publ., London, pp. 313–345.

Theodorovicz A., Yamato A.A., Takahashi A.T., Vasconcelos C.S.; Santarém P.C. & Silva V.A. 1990. Projeto Santa Isabel/Mogi das Cruzes/Mauá. Relatório Final, CPRM-Pró-Minério, 194 pp.

Vlach, S.R.F. (2002) Quimismo e Datação Th-U-Pb_T em xenotima e monazita: exemplo do granito Mogi das Cruzes, leste da Faixa Ribeira, SP, e implicações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41. João Pessoa, 2002. *Boletim de Resumos*. João Pessoa, 2002, SBG, p. 479.

Wernick, E.; Weber-Diefenbach, K. & Soave, L.A. 1985. Dados químicos e tipologia de zircão em granitos (Três Lagos e Guacuri) e tonalitos (Parelheiros) dos arredores de São Paulo: uma interpretação preliminar. In: Simpósio Regional de Geologia, 5, São Paulo. Atas, 1: 3-18.