

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EVOLUÇÃO TEXTURAL E DO QUIMISMO DE
MINERAIS EM GRANITOS DE TIPO A:
COMPARAÇÃO ENTRE AS ASSOCIAÇÕES ALUMINOSA
E ALCALINA DO MACIÇO MORRO REDONDO, PR - SC.**

Frederico Castro Jobim Vilalva

Orientador: Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF - 2004/10)

SÃO PAULO
2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Evolução Textural e do Químismo de Minerais em
Granitos de tipo A: Comparação entre as
Associações Aluminosa e Alcalina do Maciço
Morro Redondo, PR-SC**

Frederico Castro Jobim Vilalva

Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach _____

Prof. Dr. Oswaldo Siga Jr. _____

Prof. Dr. Ian McReath _____

São Paulo

2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EVOLUÇÃO TEXTURAL E DO QUIMISMO DE
MINERAIS EM GRANITOS DE TIPO A:
COMPARAÇÃO ENTRE AS ASSOCIAÇÕES
ALUMINOSA E ALCALINA DO MACIÇO MORRO
REDONDO, PR-SC.**

Frederico Castro Jobim Vilalva



Orientador: Prof. Dr. Silvio Roberto Farias Vlach

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2004/10)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900016385

SÃO PAULO
2004

TF
VG 96
FCJ.e

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOLOGIA

EVOLUÇÃO TEXTURAL E DO CUMBRIO DE
MINERAIS EM GRANITOS DE TIPO A:
COMPARAÇÃO ENTRE AS ASSOCIAÇÕES
ALUMINOSA E ALUMINOSA DO MACIO MORRO
REDONDO, RJ-80.

Frederico Carlos Lopes Viana

Orientador: Prof. Dr. São Paulo, 1984.

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-20010)

SÃO PAULO
1984



Antes de agradecer as pessoas que fizeram parte da minha vida, gostaria de agradecer a Deus por tudo que me deu, por me fazer ser quem sou, por me dar a vida, por me dar a saúde, por me dar a família, por me dar a educação, por me dar a oportunidade de conhecer a vida, por me dar a chance de ser feliz.

Para meu pai, Aparecido Vilalva, que me ensinou a ser homem, a ser responsável, a ser dedicado, a ser honesto, a ser trabalhador, a ser perseverante, a ser corajoso, a ser humilde, a ser grato, a ser feliz.

Para minha mãe, Maria da Glória, que me ensinou a ser mulher, a ser amorosa, a ser dedicada, a ser honesta, a ser trabalhadora, a ser perseverante, a ser corajosa, a ser humilde, a ser grata, a ser feliz.

Para meus irmãos, que me ensinaram a ser companheiro, a ser solidário, a ser respeitoso, a ser humilde, a ser grato, a ser feliz.

Para todos os professores, que me ensinaram a aprender, a crescer, a melhorar, a ser melhor.

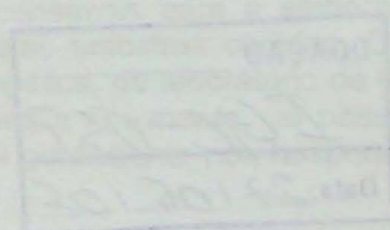
Para todos os amigos, que me ensinaram a ser amigo, a ser leal, a ser honesto, a ser grato, a ser feliz.

Para todos os que me ajudaram, que me apoiaram, que me incentivaram, que me encorajaram, que me fortaleceram, que me deram força, que me deram coragem, que me deram esperança, que me deram fé, que me deram amor, que me deram vida.

Para todos os que me fizeram ser quem sou, para todos os que me fizeram ser feliz, para todos os que me fizeram ser grato, para todos os que me fizeram ser humano.

Para todos os que me fizeram ser melhor, para todos os que me fizeram ser mais, para todos os que me fizeram ser mais feliz, para todos os que me fizeram ser mais grato, para todos os que me fizeram ser mais humano.

Para todos os que me fizeram ser quem sou, para todos os que me fizeram ser feliz, para todos os que me fizeram ser grato, para todos os que me fizeram ser humano.



**Para meu pai, Aparecido Vilalva,
pelo amor e dedicação infinitos.**

**"Todo filho é um espelho de seu pai
e todo pai é um herói para seu filho" (anônimo)**

DOAÇÃO
IGL-USP
Data: 27/05/05

Agradecimentos

Antes de agradecer as pessoas que tornaram essa monografia possível e àquelas com quem convivi durante meus cinco anos de graduação, gostaria expressar meu MUITO OBRIGADO imensurável a duas pessoas que mais do que ninguém me ajudaram sempre que precisei, não somente durante esses cinco anos, mas durante toda a minha vida:

Papai, sem você nada disso seria realidade hoje. Sei o quanto você se esforçou pra me ver chegar até aqui. Obrigado por todo carinho, dedicação, apoio (financeiro principalmente!!) e por sempre confiar em mim. Mais do que justo esse trabalho é dedicado a você.

Mamãe, agradecer a você neste momento é algo muito singelo. Nunca irei conseguir, por mais que eu tente retribuir tudo o que você fez por mim. Todo o seu amor, carinho, bajulação (!) sempre foram e serão meu porto seguro. Obrigado pela confiança e respeitar minhas decisões.

Fefê, maninha, obrigado por sempre estar do meu lado quando precisei. Pelos momentos de distração e diversão - nossas extensas caminhadas (joelho!), passeios na Getúlio, os "causos" da Dona Marilda, os sashimis - e as ajudas com as digitações de intermináveis tabelas de dados e pinturas de mapas.

Inúmeras pessoas foram importantes durante minha graduação. Vai ser difícil lembrar de todas para agradecer, mas vou tentar:

Meu orientador e mestre, Prof. Silvio R. F. Vlach, por quem guardo profunda admiração, foi sem dúvida quem mais guiou meus passos dentro dessa ciência complexa mas apaixonante chamada Geologia. MUITO OBRIGADO pela atenção, dedicação, amizade e paciência em tentar me passar um pouquinho de seus enormes conhecimentos.

Aos amigos, formandos ou não, da turma de 2000, que me acolheram tão bem, muito obrigado. É uma honra estar me formando com vocês. Agradecimentos especiais aos mais que amigos, verdadeiros companheiros, com quem mais convivi durante todo esse tempo, João Paulo e Daniel (isso não é dupla sertaneja!), obrigado pela amizade, confiança, pelas inúmeras ajudas prestadas, pelas discussões geológicas e pelos momentos de diversão e descontração.

Aos amigos de outros anos que fiz, são vários que é tolice tentar listar nomes. Ao (futuramente) glorioso time de Handebol da Geologia, valeu pela descontração e pelo nervosismo também! Aos amigos do apê, com quem dividi muitos momentos especiais e engraçados, René e Maurício, este em especial pelas atenciosas ajudas prestadas. Ao meu grande amigo José Augusto, sempre presente nos momentos de diversão lá na "terrinha" que me fizeram esquecer dos problemas "da capital", mesmo que por apenas um ou dois dias.

Ao Marcos Mansueto, grande companheiro e amigo no laboratório de Microsonda. MUITO OBRIGADO pelas incontáveis quebradas de galho e pelos momentos que trabalhamos e nos divertimos juntos. Sua participação neste trabalho é enorme e muito importante.

Finalmente agradeço às pessoas que foram indispensáveis para a elaboração e finalização dessa monografia: Profs. Oswaldo Siga Jr., pelas amostras cedidas, Gergely Szabó, Ian McReath, Carlos Archanjo e Valdecir Janasi. Angélica, do laboratório de Óptica, Thatiana, Lucelene e Adriana da pós, ao pessoal da gráfica e finalmente, ao pessoal do Hotel Pousada Villa Passaredo em Tijucas do Sul (PR), que gentilmente nos hospedaram e auxiliaram durante a etapa de campo.

“De tudo, ficaram três coisas: a certeza de que ele estava sempre começando, a certeza de que era preciso continuar e a certeza de que seria interrompido antes de terminar. Fazer da interrupção um caminho novo, Fazer da queda um passo de dança, do medo uma escada, do sono uma ponte, da procura um encontro.” (Fernando Pessoa)

Resumo

O Maciço Morro Redondo, inserido na Província Granítica Serra do Mar e intrusivo em rochas granulíticas do Cráton Luís Alves, reúne pelo menos duas associações petrográficas distintas, uma *aluminosa* e outra *alcalina* de granitos de tipo-A, cuja distribuição indica constituírem plútons distintos. Esta monografia compara rochas dessas associações com base em suas características petrográficas, mineralógicas e de suscetibilidades magnéticas (SM).

A associação *aluminosa* inclui sienogranitos e monzogranitos *subsolvus*, com oligoclásio (An₁₁₋₂₄) e feldspato alcalino (Or₆₄₋₆₉) coexistentes e paragênese máfica primária biotita annítica +/- hornblenda + titanita +/- allanita + magnetita + ilmenita (+ apatita + zircão), indicando a natureza moderadamente peraluminosa das rochas. Por outro lado a associação *alcalina* é formada por álcali-feldspato granitos *hipersolvus*, com apenas feldspato alcalino (Or₆₀₋₇₃) primário; porém algumas rochas apresentam evidências de albita quase pura, mais tardia, mas ainda magmática, que caracterizaria o primeiro exemplo de granitos peralcalinos *subsolvus* na província. As paragêneses máficas primárias são caracterizadas pela presença de anfibólio sódico e/ou egrina e ausência de allanita e magnetita. Típico dessas rochas é também a presença de minerais acessórios raros, de ocorrência única na província, como enigmatita, neptunita, britholita, narsarsukita e zirconossilicatos de Na. As diferenças mineralógicas se refletem claramente nos valores de SM, bem inferiores para as rochas da associação *alcalina*.

Na associação *alcalina* os anfibólios sódicos (arfvedsonita e riebeckita) e a egrina apresentam variações composicionais melhor marcadas, com trajetórias evolutivas relacionadas ao progressivo enriquecimento em Na e Fe³⁺ e empobrecimento em Ca e Fe²⁺. Os minerais máficos da associação *aluminosa*, biotita e hornblenda, são composicionalmente mais homogêneos e, como regra geral, apresentam valores do parâmetro *mg#* sempre maiores.

As pressões de cristalização foram estimadas entre 0,6-1,1 ± 0,6 Kbar (Al-em-hornblenda) para rochas da associação *aluminosa* e são compatíveis com evidências geológicas e petrográficas de colocação rasa dessas rochas. As temperaturas de cristalização obtidas estão entre 605-625° (± 50) C (plagioclásio-hornblenda), compatíveis para os estágios finais de cristalização magmática.

Os valores mais altos de SM e a presença da assembléia titanita + magnetita + quartzo + hornblenda, caracteriza condições de cristalização relativamente oxidantes, próximas ao tampão TMQAI para as rochas da associação *aluminosa*. Na associação *alcalina*, os baixos valores de SM, a ocorrência de arfvedsonita, egrina e enigmatita e a ausência de ilmenita no caso das amostras com enigmatita, mostram que para essas rochas as condições de cristalização foram mais redutoras, próximas e/ou abaixo do tampão QFM.

Abstract

The Morro Redondo Massif from the Serra do Mar Granitic Province is intrusive in granulitic rocks from Luís Alves Craton, and consists of at least two distinct petrographic associations of A-type granites, one *aluminous* and the other one *alkaline*. The distribution of which points to the existence of two distinct *plutons*. This monography compares rocks from these associations based on their petrographical, mineralogical and magnetic susceptibility characteristics.

The *aluminous* association includes *subsolvus* syenogranites and monzogranites, with coexisting oligoclase (An_{11-24}) and alkaline feldspar (Or_{64-69}) and the primary mafic paragenesis annitic biotite +/- hornblende + titanite +/- allanite + magnetite + ilmenite (+ apatite + zircon), suggesting the moderately peraluminous nature of these rocks. In the other hand, the *alkaline* association is formed by *hypersolvus* alkali-feldspars granites with only alkaline (Or_{60-73}) as a primary feldspar; however, some rocks show textural evidences of almost pure magmatic albite, what would characterize the first example of *subsolvus* alkali-feldspar granites in the Province. The primary mafic paragenesis includes sodic amphibole and/or aegirine; allanite and magnetite are absent. These rocks contain as well several rare accessory minerals that had never been recognized in the Serra do Mar Province, like aenigmatite, neptunite, britholyte, narsarsukite and zircon-sodium silicates. These mineralogical differences reflect clearly in the magnetic susceptibility (MS) values, much lower in rocks from this association.

In the *alkaline* association, the sodic amphiboles, arfvedsonite and riebeckite and aegirine show compositional variations well marked, with evolution trends of progressive enrichment in Na and Fe^{3+} and depletion in Ca and Fe^{2+} . The mafic phases from the *aluminous* association, biotite and hornblende, are compositionally more homogeneous and have always higher *mg#* values.

The crystallization pressures estimated at $0,6-1,1 \pm 0,6$ Kbar (Al-in-hornblende) for rocks from *aluminous* association are compatible with geological and petrological evidences pointing to shallow intrusion levels for these rocks. The crystallization temperatures are between $605-625^{\circ} (\pm 50)$ C (plagioclase-hornblende) for the same rocks and are compatible with the final stages of magmatic crystallization.

The higher MS and the presence of assemblage titanite + magnetite + quartz + hornblende, indicate relatively oxidized crystallization conditions, close to TMQAI buffer, for rocks from *aluminous* association. In the *alkaline* association, the lowest MS and the occurrence of arfvedsonite, aegirine and aenigmatite and the absence of ilmenite in samples with aenigmatite point to more reduced crystallization conditions, close to and/or below the FMQ buffer.

Índice

1. Introdução	1
2. Objetivos	1
3. Trabalhos Prévios	2
3.1 Geologia Regional	2
3.2 Geologia Local	3
4. Materiais, métodos e desenvolvimento do trabalho	4
4.1 Atividades de campo	4
4.2 Atividades de laboratório	6
4.3 Atividades de gabinete	9
6. Resultados Obtidos: apresentação, discussão e interpretação	10
6.1. Petrografia das rochas graníticas	10
6.1.1. Associação alcalina	10
6.1.2. Associação Aluminosa	15
6.2. As modas das rochas graníticas	19
6.3. Suscetibilidade magnética (SM) das rochas graníticas	21
6.4. Quimismo e variações composicionais	22
6.4.1. Minerais Máficos	23
6.4.1.1. Piroxênio	23
6.4.1.2 Anfibólios	26
6.4.1.3. Biotita	31
6.4.2. Minerais Félsicos	34
6.4.2.1. Plagioclásio	34
6.4.2.2. Feldspato alcalino	34
7. Síntese final e conclusões	36
8. Referências Bibliográficas	42

Anexo I: Mapa geológico, de pontos e prancha de fotos macroscópicas do Maciço Morro Redondo

Anexo II: Pranchas de fotos microscópicas de amostras das associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo

Prancha 1: Associação Alcalina

Prancha 2: Associação Aluminosa

Anexo III: Composições modais de amostras representativas das associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo

Tabela 1: Composições modais de amostras representativas de granitos da associação alcalina do Maciço Morro Redondo

Tabela 2: Composições modais de amostras representativas de granitos da associação aluminosa do Maciço Morro Redondo

Anexo IV: Valores de suscetibilidade magnética em amostras representativas das associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo

Tabela 1: Valores de suscetibilidade magnética em amostras representativas da associação alcalina do Maciço Morro Redondo

Tabela 2: Valores de suscetibilidade magnética em amostras representativas da associação aluminosa do Maciço Morro Redondo

Anexo V: Análises químicas quantitativas (WDS) das principais fases máficas e félsicas das associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo

Tabela 1: Análises químicas representativas (WDS) de egirina da associação alcalina do Maciço Morro Redondo

Tabela 2: Análises químicas representativas (WDS) de anfibólios da associação alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo

Tabela 3: Análises químicas representativas (WDS) de biotita da associação aluminosa do Maciço Morro Redondo

Tabela 4: Análises químicas representativas (WDS) de plagioclásio da associação aluminosa do Maciço Morro Redondo

Tabela 5: Estimativa de composições iniciais para feldspato alcalino e análises químicas representativas (WDS) de albita pura das associações aluminosa e alcalina do Maciço Morro Redondo

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa geológico regional simplificado da Província Serra do Mar (área demarcada) e adjacências (adaptado de Kaul & Cordani 2000, Siga Jr. 1995), destacando, acima, o Maciço Morro Redondo, com as principais unidades geológicas, estruturas e vias de acesso (adaptado de Kaul 1997).....	5
Figura 2: Diagrama modal Quartzo (Q) – Feldspato alcalino (A) – Plagioclásio (P) mostrando as variações composicionais das associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo. Campos: 1 – álcali-feldspato granito; 2 – sienogranito; 3 – monzogranito, segundo Streckeisen (1976), Le Maitre (2002).....	20
Figura 3: Diagrama binário mostrando a variação dos teores dos minerais máficos (M = somatória de minerais máficos) em função do parâmetro Q/(QAP) para as associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo.....	20
Figura 4: Histograma para os valores por amostra de SM ($\times 10^{-3}$ SI) para amostras representativas de granitos das associações alcalina (a) e aluminosa (b) do Maciço Morro Redondo.....	22
Figura 5: Relação entre as porcentagens de minerais opacos nos granitos da associação alcalina e aluminosa e os valores medidos de suscetibilidade magnética. Em destaque a amostra MR-10, da associação alcalina.....	22
Figura 6: Composições dos clinopiroxênios da associação alcalina no diagrama catiônico WEF x Jd x Eg de Morimoto (1990).....	25
Figura 7: Perfil analítico quantitativo núcleo-borda de cristal de egrina zonada da amostra MR-06. Pontos analíticos são localizados na imagem de elétrons retro-espalhados em modo composicional.....	25
Figura 8: Correlação entre as proporções catiônicas de $(Na + Fe^{3+}) \times [Ca + (Fe^{2+} + Mn + Mg)]$ em egrina dos álcali-granitos da associação alcalina do Maciço Morro Redondo.....	26
Figura 9: Correlação entre as proporções catiônicas $(Fe^{3+} + Al) \times [Ti, Zr + (Fe^{2+}, Mn, Mg)]$ em egrina dos álcali-feldspato granitos da associação alcalina do Maciço Morro Redondo.....	26
Figura 10: Diagrama catiônico $[Ca+Na]^B \times [Na]^B$ de classificação dos anfibólios (Leake <i>et al.</i> 1997) das associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo.....	29

Figura 11: Diagrama catiônico Si x Mg/(Mg+Fe ²⁺) de classificação dos anfibólios (Leake <i>et al.</i> 1997) da associação aluminosa do Maciço Morro Redondo.....	29
Figura 12: Diagrama catiônico Si x Mg/(Mg+Fe ²⁺) de classificação dos anfibólios (Leake <i>et al.</i> 1997) da associação alcalina do Maciço Morro Redondo.....	29
Figura 13: Correlação entre as proporções catiônicas de (Al) ^T x (Na + K) ^A (Neumann 1978) ilustrando a diferença entre os biotita granitos da associação aluminosa e os álcali-granitos protomiloníticos, com o sítio A mais preenchido e os equi-inequigranulares, com o sítio A menos preenchido, da associação alcalina do Maciço Morro Redondo. Exceção faz-se a amostra MR-01D (cinza), que equivale a uma riebeckita dos granitos protomiloníticos.....	30
Figura 14: Perfil de variação de análises químicas em diferentes pontos de um cristal de arfvedsonita representativo da amostra MR-26 dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Pontos localizados na imagem composicional de elétrons retro-espalhados.....	30
Figura 15: Correlação entre as proporções catiônicas de (Ca) ^B + (R ²) ^C x (Na) ^B + (Fe ³⁺) ^C em anfibólios das associações alcalina (a) e aluminosa (b) do Maciço Morro Redondo.....	31
Figura 16: Correlação entre as proporções catiônicas de (R ³) ^C + (Al) ^T x (R ²) ^C + (Si) ^C em anfibólios das associações alcalina (a) e aluminosa (b) do Maciço Morro Redondo.....	31
Figura 17: Diagrama catiônico Al ^{IV} x Fe/(Fe+Mg) para classificação da biotita nas rochas da associação aluminosa.....	33
Figura 18: Diagrama F/(F+Cl) x Mg/(Soma Y) ilustrando a tendência do F em acompanhar o Mg nos cristais de biotita analisados.....	33
Figura 19: Diagrama mostrando a correlação entre as proporções catiônicas (Fe, Mn, Mg) ^Y + 2*Si x Ti + 2*Al ^{IV} para a biotita das rochas da associação aluminosa.....	33
Figura 20: Diagrama mostrando a correlação entre as proporções catiônicas 2*(Fe, Mn, Mg) ^Y x Ti para a biotita das rochas da associação aluminosa.....	33
Figura 21: Diagrama ternário An-Ab-Or (proporções moleculares) com representação das composições de plagioclásio e feldspato alcalino das associações alcalina e aluminosa. As composições dos feldspatos alcalinos representam valores integrados de zonas de núcleo e borda dos cristais. As curvas de <i>solvus</i> representadas são para pH ₂ O = 1 Kbar (Fuhrman & Lindsley 1988; Deer <i>et al.</i> 2001). Linhas representadas no diagrama menor à direita unem fases coexistentes.....	35

Figura 22: Perfil analítico quantitativo núcleo-borda de cristal de plagioclásio selecionado da associação aluminosa. Acima variações composicionais em termo das moléculas anortita (An), albíta (Ab) e ortoclásio (Or). Abaixo imagem do cristal com polarizadores cruzados. Amostra MR19B.....36

Figura 23: Diagrama $Fe^T/(Fe^T+Mg) \times Al^T$ (Anderson & Smith 1995) ilustrando possível intervalo de pressão de cristalização de anfibólios nos biotita granitos da associação aluminosa.....39

Figura 24: Diagrama – $\log fO_2 \times T$ °C mostrando a estabilidade de várias assembléias minerais. Campo em destaque corresponde ao “campo-não-óxido” de Nicholls & Carmichael (1969). Em vermelho o tampão TMQAl aproximado (Wones 1989).....41

Índice de Tabelas

Tabela I: Resultados para estimativa de erro nas determinações modais em rochas das associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo.....8

Tabela II: *Padrões e tempos de integração de contagens utilizados nas análises WDS*.....9

Tabela III: Legenda para os diagramas do subitem 6.4.....23

1. Introdução

Desde a sua definição como um grupo único e independente em 1979 por Loiselle e Wones, os granitos Tipo-A têm sido alvo de diversos trabalhos que contestam esta unicidade, uma vez que associações petrográficas muito contrastadas (peralcalinas vs. aluminosas) formadas em ambientes geodinâmicos pós-colisionais e anorogênicos, com características geoquímicas próprias (Eby 1992) são reunidas em um único grupo. Hogan *et al.* (1992) chegaram a denominá-los de *Tipo-Ambíguo*.

A ocorrência de granitos de tipo-A metaluminosos a peralcalinos (associação alcalina de Lameyre & Bowden 1982) e meta - a peraluminosos (associação aluminosa, Vlach *et al.* 1990, King *et al.* 1997) em diversas províncias pós-colisionais permite estudá-los comparativamente e buscar informações que elucidem as razões e os mecanismos responsáveis por tal diversidade. A Província Granítica Serra do Mar (Kaul 1984, Vlach *et al.* 1996) na região Sul-Sudeste do Brasil, neoproterozóica, reúne diversos maciços graníticos e sieníticos onde afloram rochas de ambas as associações petrográficas e tem sido objeto de estudos nos últimos anos por parte de pesquisadores e estudantes do GMG-IGc/USP (Gualda 2001, Garin 2002). Um destes maciços, o Maciço Morro Redondo, que aflora nas proximidades das cidades de Tijucas do Sul (PR) e Garuva (SC), é particularmente interessante para estes estudos, já que apresenta ao menos duas unidades distintas, uma em que aparecem granitos peraluminosos e outra com termos peralcalinos, além de rochas vulcânicas associadas (Góis 1995, Kaul 1997, Kaul & Cordani 2000).

Esta monografia de conclusão de curso, vinculada a pesquisas desenvolvidas pelo orientador e outros estudantes, propõe o estudo comparativo, com ênfase na petrografia, evolução textural e química de minerais, de rochas meta- a peraluminosas e peralcalinas deste maciço, a fim de se trazer subsídios adicionais para a compreensão da gênese e evolução magmática destas importantes associações graníticas da província.

2. Objetivos

Dados petrográficos, em especial informações modais e da evolução textural dos minerais constituintes das rochas, aliados à caracterização química dos mesmos e, em particular, às variações composicionais que registram são de grande importância em petrologia, uma vez que permitem inferir sobre as características e evolução do ambiente físico-químico de cristalização magmática e tardi - a pós-magmática.

Estas estão, assim, entre as melhores ferramentas para a caracterização de rochas ígneas, compreensão da evolução dos magmas progenitores, incluindo modelamentos gerais de processos de evolução magmática a pós-magmática (cristalização fracionada, alterações hidrotermais; e.g., Evans & Hanson 1993, Bea 1996), permitindo também em alguns casos a determinação de parâmetros intensivos de cristalização magmática (e.g., P, T, fO_2 , cf. Anderson 1996).

A monografia se enquadra nesta linha de pensamento e tem como objetivo o estudo comparativo de amostras representativas das principais fácies petrográficas das associações aluminosa e peralcalina do Maciço Morro Redondo, através de determinações expeditas de suscetibilidades magnéticas (SM) e principalmente, através de petrografia de detalhe, destacando a diversidade mineralógica, suas proporções relativas (modas), relações texturais, bem como uma caracterização preliminar do quimismo e da evolução química das fases máficas e félsicas principais.

3. Trabalhos Prévios

3.1 Geologia Regional

A Província Serra do Mar congrega treze maciços graníticos e/ou sieníticos distribuídos paralelamente à costa atlântica do Brasil, desde o extremo SE do estado de São Paulo até o NE de Santa Catarina. Os maciços são intrusivos em rochas do "Maciço Joinville" de Hasui *et al.* (1975), que separaria os cinturões móveis Ribeira (a N) e Dom Feliciano (a S). A denominação "Maciço de Joinville" foi abandonada por Basei *et al.* (1992) que definiram três unidades tectônicas independentes, a Microplaca Curitiba (a N), a Microplaca Luís Alves (a S) e o Cinturão Granitóide Costeiro (a E), aglutinadas no final do Proterozóico Superior e início do Paleozóico Inferior. Siga Jr. (1995) sugere ainda que a Microplaca Curitiba representaria a borda NW da Microplaca (Domínio) Luís Alves, tectonizada no Neoproterozóico como reflexo de sua colisão contra o Cráton do Paraná. Kaul (1997) inclui a Microplaca Curitiba como parte do Cinturão Ribeira e denomina a Microplaca Luís Alves de cráton.

Assim, a luz dos conhecimentos atuais, as rochas graníticas e sieníticas da Província Serra do Mar são intrusivas nas rochas granulíticas do Cráton (Domínio) Luís Alves e em gnaisses e migmatitos do Cinturão Móvel Ribeira, na região da Microplaca Curitiba de Basei *et al.* (1992). Esse magmatismo se colocou imediatamente após a colisão entre o Cinturão Granitóide Costeiro, ou Cinturão Paranaguá (Siga Jr. 1995, Kaul 1997), e as Microplacas

Curitiba e Luís Alves no Neoproterozóico (Basei *et al.* 1992, Siga Jr. *et al.* 1994, Kaul 1997) (Figura 1). Mais recentemente, Kaul & Cordani (2000) associam o magmatismo com a colisão entre os crátons Luís Alves e Paraná, no final do Neoproterozóico, seguida pela colisão entre os crátons Luís Alves (+ Paraná) e Congo-São Francisco.

3.2 Geologia Local

O Maciço Morro Redondo aflora na região de fronteira dos estados do Paraná, e Santa Catarina, abrangendo os municípios de Tijucas do Sul e Guaratuba (PR) e Garuva e Campo Alegre (SC), com uma extensão maior de cerca de 25 km na direção N20°W e largura entre 10 a 13 km. É intrusivo em rochas do Cráton (Domínio) Luís Alves e apresenta uma forma aproximadamente retangular, com área de quase 250 km² (Figura 1). Neste maciço afloram diversas fácies graníticas, incluindo granitos e álcali-feldspato granitos de estruturas predominantemente maciças e colorações brancas, cinzentas, azuladas e róseo-avermelhadas, hololeucocráticos a leucocráticos, com granulações finas, médias ou mesmo grossas (Machado *et al.* 1993, Góis 1995).

Uma das características marcantes que o distinguem de diversos outros maciços da província é a ocorrência de rochas vulcânicas básicas a ácidas em uma associação tipicamente bimodal, aparentemente contemporânea, que aflora tanto nas imediações, junto aos contatos externos, quanto nas zonas centrais do maciço (Góis & Machado 1992, Góis 1995, ver Figura 1).

Kaul (1997) reúne as rochas graníticas em duas unidades denominadas Papanduva e Quiriri, respectivamente, cuja distribuição indica que constituem provavelmente dois *plútons* distintos (Figura 1). A primeira unidade corresponde à porção norte do maciço e inclui as fácies “cinza”, “azulada” e “branca” de Góis (1995), todas de natureza peralcalina, constituídas por álcali-feldspato granitos *hipersolvus* com anfibólio sódico acompanhado ou não por egrina (+/- zircão, minerais opacos). A segunda ocorre nas áreas central e sul do maciço e é composta por sienogranitos e álcali-feldspato-granito *subsolvus*, com biotita, englobando o fácies “róseo-avermelhada” de Góis (*op.cit.*). Os acessórios descritos são zircão, allanita, titanita, fluorita e minerais opacos. Sienogranitos pórfiros com fenocristais de feldspato alcalino róseo e quartzo em matriz fina também ocorrem ocasionalmente.

Entre as rochas vulcânicas, as rochas ácidas são amplamente predominantes. São descritas como riolitos com estruturas e texturas diversificadas (incluindo variedades porfíricas e com estrutura fluidal) e a sua mineralogia é similar a encontrada nas rochas graníticas (Góis

1995). Os termos básicos (basaltos) aparecem como derrames centimétricos a métricos intercalados. Vulcânicas de natureza intermediária (andesitos, andesi-basaltos) são reconhecidas em alguns raros afloramentos. Em geral estas últimas variedades apresentam estruturas maciças e texturas inequigranulares a porfíricas em matriz fanerítica fina ou afanítica.

Dados geoquímicos preliminares em rocha total para variedades graníticas e vulcânicas são apresentados e discutidos por Góis (1995), Kaul (1997) e Kaul & Cordani (2000), que ressaltam as características peralcalina e peraluminosa para as unidades Papanduva e Quiriri respectivamente e potássicas de ambas. Dentre as vulcânicas Góis (1995) resalta o caráter alcalino (comenditos e pantelleritos) das rochas ácidas e cálcio-alcalino a alcalino das rochas básicas e básico-intermediárias. Em diagramas discriminantes que consideram as proporções de alguns dos elementos traços (e.g., $Rb \times Y+Nb$ de Pearce *et al.* 1984), tanto as rochas plutônicas como as vulcânicas registram características de magmatismo intra-placa.

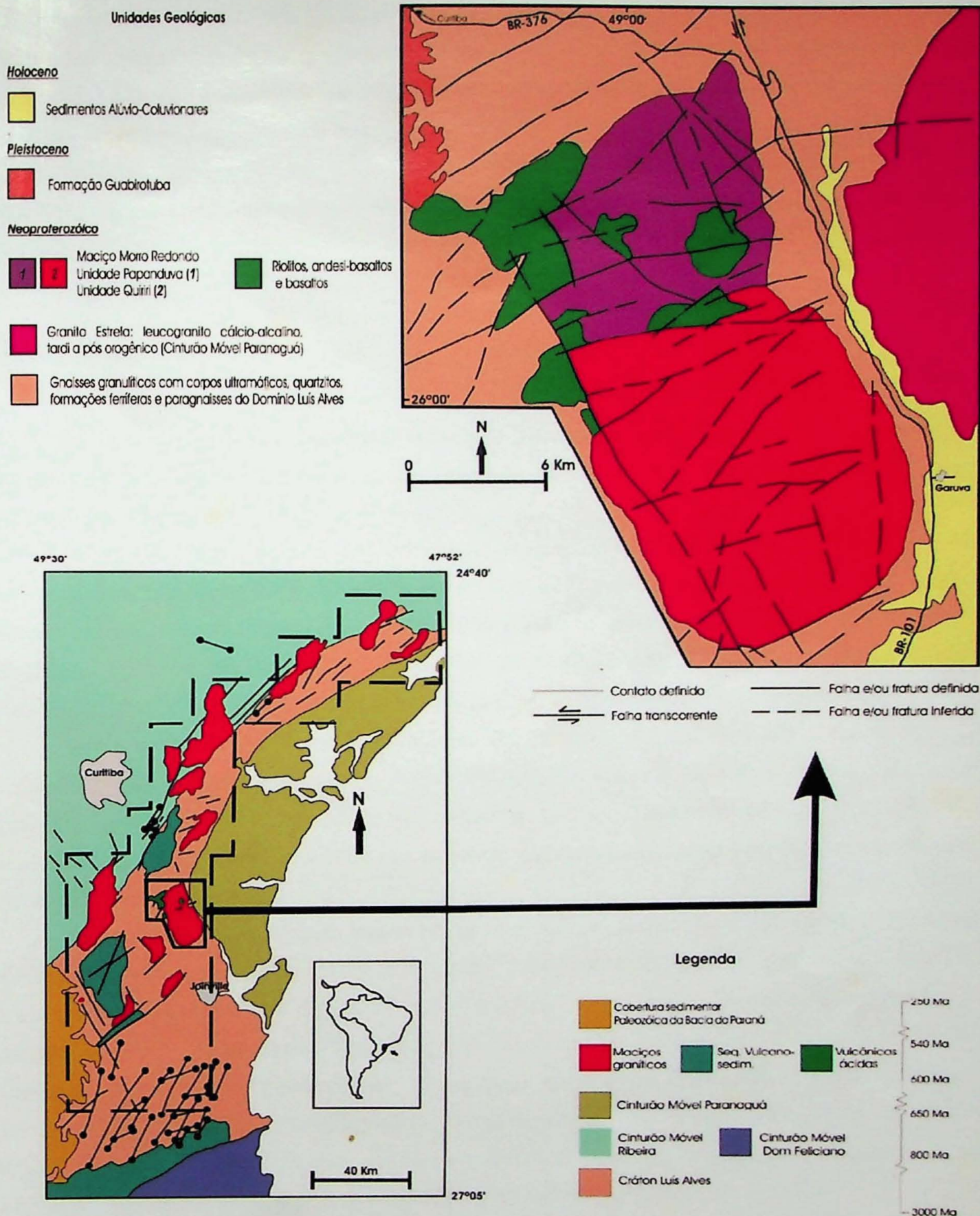
As informações geocronológicas, obtidas através das sistemáticas Rb/Sr em rocha total e U/Pb em zircão, disponíveis para as rochas plutônicas da província apontam idades de cristalização próximas a 590 Ma (Siga Jr. *et al.* 1994, Siga Jr. 1995).

4. Materiais, métodos e desenvolvimento do trabalho

As atividades desenvolvidas para a preparação da monografia incluíram, além de estudos bibliográficos contínuos, trabalhos de campo, de laboratório e de gabinete, conforme detalhados a seguir.

4.1 Atividades de campo

Os trabalhos de campo tiveram a duração de 05 dias e foram efetuados ao início do mês de Março. Os objetivos destes trabalhos foram a familiarização com a geologia e petrografia do maciço, utilizando-se como referência os mapas geológico de pontos de Góis (1995), e coleta de amostras representativas que complementassem a coleção disponível do orientador e colegas (amostras MR-26 a 30/31, de Oswaldo Siga Jr.), para a realização de estudos mais detalhados. Adicionalmente, foram efetuadas medidas de campo da suscetibilidade magnética com suscetibilímetro portátil da *GF InstrumentsTM*, modelo SM 20, em superfícies preferencialmente planas, com baixo grau de alteração



Devido às dificuldades de acesso e às dimensões do maciço, os pontos visitados e amostrados (Anexo 01) nesta etapa se encontram ao longo das principais vias de acesso. Ao total foram visitados e descritos cerca de 30 afloramentos, a grande maioria representada por conjuntos de matacões métricos e pequenos lajedos, e coletadas em torno de 40 amostras representativas de rochas das associações alcalina e aluminosa, além algumas rochas vulcânicas ácidas e básicas associadas e encaixantes. A localização precisa destes afloramentos foi registrada com GPS *Garmin*TM, modelo Etrex Venture.

4.2 Atividades de laboratório

As atividades de laboratório incluíram medidas de suscetibilidades magnéticas, microscopia petrográfica, incluindo determinações modais e análises químicas minerais com microsonda eletrônica.

As medidas adicionais da *suscetibilidade magnética* foram efetuadas em fatias serradas de rocha com o suscetibilímetro portátil já referido. A suscetibilidade magnética (SM) mede a relação entre J , o momento magnético dipolar por volume unitário e H , a intensidade do campo magnético aplicado, tal que $SM = J/H$ e está relacionada com o volume e as propriedades magnéticas dos minerais presentes na rocha, com as texturas e sua história evolutiva.

Sempre que possível foram efetuadas em torno de 10 medidas em cada amostra, de preferência nas partes mais frescas. As medidas foram feitas principalmente em granitos das associações alcalina e aluminosa e em algumas rochas vulcânicas básicas e ácidas e do embasamento. Na maioria dos casos as medidas obtidas foram muito similares as equivalentes efetuadas em afloramentos.

Os estudos petrográficos foram efetuados com o microscópio petrográfico *Olympus*TM modelo BXP-40, sob luz transmitida e *Zeiss*TM modelo Axioplan-pol, sob luz transmitida e refletida do Laboratório de Óptica do GMG-IGc/USP, em seções delgadas convencionais e delgadas-polidas em amostras frescas representativas das associações alcalina e aluminosa. Cerca de 26 seções foram descritas, 13 de cada associação petrográfica, segundo técnicas clássicas de microscopia petrográfica (MacKenzie *et al.* 1995). Foi dada ênfase ao reconhecimento e caracterização das principais fases minerais e acessórias, bem como das diferentes texturas que caracterizam as diferentes fácies petrográficas.

Nesta etapa também foram selecionados cristais mais representativos de cada geração textural das fases minerais principais para análises em microsonda eletrônica. Algumas

análises qualitativas (EDS) foram efetuadas paralelamente aos estudos petrográficos para auxiliar o reconhecimento de alguns minerais acessórios.

As determinações modais foram efetuadas com *charriot* acoplado ao microscópio *Leitz Wetzlar*TM, modelo Ortholux e contador de pontos manual *Clay-Adams*TM do Laboratório de Óptica do GMG – IGc/USP. Em cada seção foram totalizados 1500 pontos, em uma área de dimensões adequadas, escolhida ao acaso. A cada 500 pontos os resultados eram anotados para controle estatístico. Duas seções, MR-10 da associação alcalina e MR-17 da associação aluminosa, foram contadas 3 vezes (1000 pontos em cada contagem) em áreas diferentes para estimativa do erro associado às determinações modais (Neilson & Brockman 1977). Os resultados obtidos encontram-se sumarizados na Tabela I.

Em algumas rochas de granulação mais grossa e/ou bastante deformadas os resultados modais não se mostraram, entretanto, muito adequados, seja por questões de representatividade, seja pela dificuldade de se reconhecer as fases félsicas cominuídas pela deformação. Nestes casos as contagens devem ser efetuadas em fatias de rocha e/ou lâminas previamente tratadas com cobalto nitrito de sódio, atividade que não pôde ser realizada devido a problemas de cunho técnico.

Foi também efetuada uma *documentação fotográfica* macroscópica e microscópica das fases minerais principais, acessórias e ocasionais e texturas principais das amostras mais representativas das duas associações petrográficas. Para tanto se fez uso das câmeras fotográficas digitais *Canon*TM, modelo Powershot A300, de 3,2 megapixels de resolução para fotos macroscópicas e *Olympus*TM, modelo C5050Z, com resolução de 5,0 megapixels acoplada ao microscópio *Olympus*TM, modelo BXP-50, do Laboratório de Óptica do GMG-IGc/USP, para as fotos microscópicas.

Análises químicas pontuais quantitativas por espectrometria de dispersão de comprimentos de onda (WDS) das principais fases minerais (piroxênio, anfibólio, biotita, plagioclásio e feldspato alcalino) foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do GMG-IGc/USP. O equipamento utilizado é um *Jeol*TM modelo JXA-8600S, equipado de detector ED e cinco espectrômetros WD, cada qual com dois cristais analisadores (STE/TAP, TAP/PET, PET/LiF, PET/LiF, PET/LiF), e sistema de automação Voyager 3.6.1 da *Noran Instruments*TM. As análises foram efetuadas em seções delgado-polidas cobertas com uma fina película de C (ca. 25 nm) com evaporador da *Edwards*TM, modelo Auto 306. Imagens de elétrons retro-espalhados em modo composicional (BEI-Compo) foram obtidas para verificação de possíveis zoneamentos químicos não detectados ao microscópio comum.

As correções dos efeitos de matriz (número e absorção atômicos e fluorescência secundária) e redução dos valores de intensidades para porcentagens em peso de elementos

e/ou óxidos foram efetuadas utilizando o programa PROZA (e.g., Bastin *et al.* 1990, *apud* Goldstein *et al.* 1992), disponível no sistema de automação da *NoranTM*.

Foram selecionadas 14 seções delgadas-polidas entre as mais representativas, sendo 5 da associação aluminosa e 9 da associação alcalina. Em cada seção foram analisados entre 3 e 6 cristais mais típicos de cada geração textural distinta de biotita, piroxênio, anfibólio, plagioclásio e feldspato alcalino. As condições analíticas empregadas foram de 15 KeV, 20 nA e 1 µm, respectivamente para a voltagem de aceleração, corrente e diâmetro do feixe eletrônico focado para obtenção de imagens; no caso das análises as condições foram as mesmas, a exceção do feixe, aumentado para 5 µm e, no caso dos feldspatos alcalinos para 20 µm de diâmetro.

As análises pontuais foram realizadas nas zonas de núcleo, intermediárias e bordas dos cristais, utilizando-se como referência os zoneamentos ópticos e/ou os observados nas imagens BEI-Compo. Os padrões utilizados e os tempos de contagens para os elementos analisados estão resumidos na Tabela II.

Tabela I
Resultados para estimativa de erro nas determinações modais em rochas das associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo

MR-10 (associação alcalina)					
	1ª contagem	2ª contagem	3ª contagem	média	desvio padrão
<i>felds. alcalino</i>	58.1	66.1	59.6	56.7	5.3
<i>quartzo</i>	31.4	26.2	30.7	29.4	2.8
<i>piroxênio</i>	8.7	6.7	8.1	7.8	1.0
<i>anfíbólio</i>	0.2	0.4	0.3	0.3	0.1
<i>fluorita</i>	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1
<i>opacos</i>	1.5	0.6	1.1	1.1	0.5
<i>Q/(QAP)</i>	0.4	0.3	0.3	0.3	0.0
<i>M</i>	10.5	7.7	9.7	9.3	1.4

MR-17 (associação aluminosa)					
	1ª contagem	2ª contagem	3ª contagem	média	desvio padrão
<i>felds. alcalino</i>	36.0	41.5	45.8	41.1	4.9
<i>quartzo</i>	36.8	33.7	35.3	35.3	1.6
<i>plagioclásio</i>	23.9	20.4	16.8	20.4	3.6
<i>biotita</i>	2.6	4.2	1.7	2.8	1.3
<i>titanita</i>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
<i>fluorita</i>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
<i>opacos</i>	0.8	0.2	0.3	0.4	0.3
<i>Q/(QAP)</i>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0
<i>M</i>	3.3	4.4	2.1	3.3	1.2

Todos os valores em %

Tabela II
Padrões e tempos de integração de contagens utilizados nas análises WDS

Linha	Cristal	Padrões Piroxênio	Padrões Anfibólio	Padrões Biotita	Padrões Feldspato	T(s)*
Si Ka	TAP	wollastonita	wollastonita	wollastonita	microclínio	10-20
Ti Ka	LiF	rutilo	rutilo	rutilo	rutilo	20-40
Zr La	PET	zircão	zircão	---	---	30
Al Ka	TAP	hornblenda	hornblenda	anortita	anortita	10-40
Fe Ka	LiF	olivina	olivina	olivina	olivina	20-30
Mn Ka	LiF	olivina	olivina	olivina	olivina	20-40
Mg Ka	TAP	dipsídio	dipsídio	dipsídio	dipsídio	20-40
Zn Ka	LiF	ZnO	ZnO	ZnO	---	20-40
Ca Ka	PET	wollastonita	wollastonita	wollastonita	anortita	10-30
Ba La	LiF	---	---	barita	---	30
Na Ka	TAP	albita	albita	albita	albita	10-20
K Ka	PET	microclínio	microclínio	microclínio	microclínio	20-40
Cl Ka	PET	---	apatita	apatita	---	10
F Ka	TAP	---	fluorita	fluorita	---	10

* Tempo total de integração de contagens igualmente dividido entre pico e radiação de fundo.

4.3 Atividades de gabinete

As atividades de gabinete incluíram em especial o tratamento das imagens e dos dados petrográficos e químicos minerais obtidos em laboratório.

O tratamento das imagens fotográficas e BEI-Compo teve o objetivo de realçar contrastes e variações de cores que podem indicar variações composicionais em um cristal, e foi efetuado com *softwares* comerciais convencionais (*Corel™* PhotoPaint 10.0, *Adobe™* Photoshop 6.0).

Para uma primeira estimativa das composições originais de feldspatos alcalinos da associação alcalina, foi feita a integração de imagens de elétrons retro-espalhados com os dados químicos pontuais obtidos para as fases exsolvidas (albita) e hospedeira (feldspato potássico) em diferentes zonas de um mesmo cristal. Em uma primeira etapa foi obtida a proporção relativa entre estas fases a partir das imagens BEI, que as contrastam bem, com auxílio do programa *Leica™* Qwin 550. A seguir foram obtidas as composições químicas médias globais, ponderadas com base na proporção em área ocupada por cada uma delas, em um procedimento semelhante ao descrito por Gualda (2001). Um procedimento mais rigoroso deveria considerar para o cálculo final as diferenças na massa e no volume molar das fases

albitica e potássica, mas no caso de feldspatos alcalinos a simplificação usada é uma boa aproximação.

Para os feldspatos alcalinos da associação aluminosa, que no geral apresentam lamelas de albita muito finas para serem analisadas separadamente, as composições iniciais foram estimadas considerando-se as médias simples de 4 a 6 análises com diâmetro do feixe eletrônico de 20 μm .

O tratamento dos dados de quimismo mineral (conversão em proporções de cátions, fórmulas estruturais, proporções de moléculas etc.) foi efetuado com o programa Mincalc (Gualda & Vlach inédito). Para a biotita e os feldspatos as fórmulas estruturais foram calculadas com base em 22 e 32 O respectivamente. No caso do piroxênio a partição $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ foi calculada segundo o método de Droop (1987), considerando-se 4 cátions totais e 6 O. Para o anfibólio, onde (OH) é uma variável adicional, as estimativas foram feitas utilizando-se o método descrito por Schumacher em Leake *et al.* (1997). A diagramação dos dados para avaliações dos vetores de substituições químicas e análise de tendências evolutivas foi efetuada com os softwares Minpet 2.02 (Richard 1997) e Grapher 2.0 da Golden SoftwareTM.

6. Resultados Obtidos: apresentação, discussão e interpretação

6.1. Petrografia das rochas graníticas

6.1.1. Associação alcalina

As amostras estudadas de granitos da associação alcalina incluem duas fácies petrográficas distintas. Álcali-feldspato granitos equigranulares a levemente inequigranulares com granulação média a grossa são predominantes. Apresentam cores acinzentadas a rosadas, nos blocos mais alterados, e são hololeucocráticos, com IC entre 2 e 4. A mineralogia essencial inclui quartzo, localmente formando venulações estiradas, feldspato alcalino, anfibólio, piroxênio e alguns acessórios raros, com destaque para fases aciculares a prismáticas acastanhadas e avermelhadas (Anexo I, foto B). Essas rochas variam localmente (pontos MR-02 a 06, 21 e 28, Anexo I) para tipos com estrutura predominantemente orientada, com *textura protomilonítica*. São cinza escuros a claros, hololeucocráticos a leucocráticos com IC variando entre 2 e 6. É comum a presença de porfiroclastos de anfibólio e feldspato alcalino em matriz equigranular fina a média, de aspecto sacaroidal, formada por quartzo com inclusões de

minerais máficos, feldspato alcalino, anfibólio, piroxênio e acessórios de cor acastanhada (Anexo I, fotos A e D). Em ambas as fácies são observadas ocasionalmente cavidades mirolíticas submilimétricas a milimétricas, por vezes parcialmente preenchidas por minerais tardios.

Ambas as variedades correspondem modalmente a álcali-feldspato granitos (Anexo III, Tabela 1; Figura 2).

Álcali-feldspato granitos equi- a inequigranulares médios a grossos

Estas rochas são caracterizadas pela textura fanerítica média a grossa, equi - a inequigranular e hipidiomórfica (Anexo II, Prancha 1a).

Ao microscópio, o feldspato alcalino (1,0 – 4,0 mm, até 5,0 – 6,0 mm) apresenta hábito tabular e está tipicamente geminado segundo Carlsbad. Os contatos com quartzo, outros cristais de feldspato alcalino e com os minerais máficos são em geral irregulares. É tipicamente mesopertítico, com pertitas do tipo *strings* e *patch* (Smith 1974), as quais algumas vezes apresentam geminação polissintética mal desenvolvida (Anexo II, Prancha 1b). As inclusões mais comuns são de quartzo e ilmenita.

A albita, além de ocorrer sob a forma de lamelas de exsolução em feldspato alcalino, aparece ainda em pelo menos três gerações texturais distintas.

A primeira geração aparece como cristais ripiformes euédricos, límpidos, intercrescidos com egirina e menos freqüentemente com zircão, em geral mais comuns nas bordas destes últimos, mas também em todo o cristal (Anexo II, Prancha 1c e 1d). Esta textura sugere coprecipitação de albita e egirina e/ou albita e zircão em uma etapa relativamente tardia, mas ainda magmática de cristalização.

A segunda geração aparece nas bordas e/ou nos contatos mútuos de cristais de feldspato alcalino, como pequenos cristais anédricos a subédricos, de granulação entre 0,1 – 0,5 mm. São límpidos, eventualmente geminados segundo a Lei da Albita, e aparecem enfileirados ou na forma de cristais um pouco maiores (0,7 – 1,0 mm) alongados, formando “*swapped rims*” (Anexo II, Prancha 1e). Esta geração está mais claramente associada às transformações pós-magmáticas da rocha. A última geração de albita é caracterizada por cristais anédricos, com aspecto de “manchas”, ocupando espaços entre quartzo e feldspato alcalino, sendo também de origem pós-magmática.

O quartzo (0,6 a 2,9 mm, até 4,0 – 5,0 mm) ocorre como cristais anédricos a subédricos; os contatos mútuos e com cristais de feldspato alcalino são em geral irregulares a interpenetrados; enquanto que os contatos com os minerais máficos tendem a serem mais retos

e regulares. Em geral apresentam extinção ondulante e lamelas de deformação; localmente aparecem já recristalizados, formando mosaicos de cristais menores (0,1 – 0,3 mm), contornando cristais maiores de quartzo e feldspato alcalino (amostra MR-11). As inclusões são de feldspato alcalino, clinopiroxênio, zircão, minerais opacos; microinclusões minerais e fluidas enfileiradas são comuns. Em algumas amostras forma intercrescimentos gráficos a semi-gráficos com feldspato alcalino (Anexo II, Prancha 1f).

O piroxênio (0,5 – 2,5 mm até 4,5 mm) é uma egrina que aparece como cristais sub - a euédricos com hábito prismático e ocorre de forma intersticial entre as fases félsicas. É o principal mineral máfico das amostras MR-01A, 10 e 11. Podem ser reconhecidos dois tipos de egrina, um com pleocroísmo mais incipiente em cores que variam de verde-clara a alaranjada, às vezes levemente rosada, com X^c máximo de 6° e o outro com pleocroísmo de cores mais intensas, verde escuras a verde acastanhadas, com X^c até 8°. O primeiro tipo pode apresentar bordas mais incolores ou mais escuras (Anexo II, Prancha 1g), enquanto o segundo também pode apresentar bordas mais claras (Anexo II, Prancha 1h).

Os dois tipos podem ou não ocorrer juntos na mesma amostra, como cristais isolados ou em agregados de 2 – 3 grãos; de forma geral, clinopiroxênio mais escuro e pleocróico é mais abundante. Geralmente os núcleos dos cristais estão mais sujos e escuros, com muitas inclusões de fluorita, ilmenita e magnetita, quartzo e prismas de albita, conferindo um aspecto poiquilítico (Anexo II, Prancha 1i). Os cristais mostram-se comumente substituídos nas bordas e planos de clivagem por anfibólio azulado (Anexo II, Prancha 1j, k).

Vale a pena mencionar que, na amostra MR-10, aparece magnetita tardi- a pós-magmática formando mantos no piroxênio.

Cristais mais tardios, aciculares a prismáticos (0,2 – 0,3 mm), pouco pleocróicos, aparecem ainda como inclusões em quartzo e feldspato alcalino.

O anfibólio, uma variedade sódica, apresenta-se como cristais subédricos a anédricos (0,4 – 1,5 mm, alguns cristais maiores a até 4,0 mm), que aparecem em aglomerados de 2 ou mais cristais, isolados, ou ainda substituindo o piroxênio (Anexo II, Prancha 1j). Em geral é o máfico principal nestas rochas. Apresentam pleocroísmo bem marcado em tons de verde acastanhado claro até azul escuro. Os cristais não raramente mostram-se poiquilíticos, com inclusões de fluorita, magnetita, ilmenita, egrina e algum quartzo. Também ocorrem como cristais tardios prismáticos e aciculares azulados, por sobre as fases félsicas. Assim como no clinopiroxênio, cristais diminutos de magnetita podem ocorrer associados às bordas, ou formando mantos em algumas amostras (Anexo II, Prancha 1l).

Os acessórios são euédricos a subédricos, com granulometria variando de 0,1 até 0,8 mm. Foram identificados, através de características ópticas e espectros de EDS, astrofilita, zircão, fluorita, titanita, magnetita e ilmenita, chevkinita, enigmatita, neptunita, narsarsukita,

monazita, esfalerita e zirconossilicatos de Na (Anexo II, Prancha 1k, l, m). É interessante ressaltar que a narsarsukita e os zirconossilicatos de Na ocorrem isolados, não se associando com anfibólio e/ou piroxênio e que a enigmatita ocorre geralmente em amostras não portadoras de ilmenita e/ou magnetita. As assembléias minerais identificadas nestas rochas podem ser sintetizadas como segue:

Quartzo + feldspato alcalino ± albita +

- anfibólio + egrina + enigmatita e/ou neptunita) ± narsarsukita ± zirconossilicatos de Na (amostras MR-11 e MR-26);
- anfibólio + egrina + astrofilita + ilmenita ± titanita ± zircão + egrina (amostra MR-27);
- anfibólio ± egrina ± astrofilita ± ilmenita ± magnetita (amostras MR-01B e MR-10);
- egrina + astrofilita ± anfibólio ± ilmenita (amostra MR-01A).

Álcali-feldspato granitos protomiloníticos

A característica mais marcante destas rochas é uma orientação de natureza tectônica originando texturas protomiloníticas e porfiroclásticas (Anexo II, Prancha 1n). Não é surpresa tais rochas serem encontradas nas proximidades de zonas de falhas (vide Anexo I, pontos MR-02 a 06, e 28) ou junto à borda do maciço (ponto MR-21). Ao microscópio os porfiroclastos incluem anfibólio sódico, egrina, feldspato alcalino e, eventualmente, quartzo. A matriz, de granulação fina a média, orientada, é composta de quartzo, freqüentemente recristalizado, que contorna os porfiroclastos, albita límpida tardia, pouco deformada, minerais máficos e feldspato alcalino.

O feldspato alcalino ocorre como porfiroclastos de 2,0 a 4,0 mm, ou na matriz, variando de 0,4 a 1,0 mm, com hábitos prismáticos a tabulares, com bordas de aspecto corroído. É mesoperítico a perítico com inclusões de quartzo e anfibólio sódico azul-acastanhado; alguns cristais apresentando geminação "em grade" (amostra MR-21). Muitos cristais mostram deformação intensa com as extremidades e planos de geminação curvados, sugerindo deformação ainda em estado plástico.

Assim como nos álcali-feldspato granitos médios a grossos, a albita pode ocorrer como cristais ripiformes límpidos, intercrescidos com egrina, ou ainda formando "swapped rims" nas bordas do feldspato alcalino, sugerindo transformações pós-magmáticas. Sua granulometria varia entre 0,1 e 0,6 mm.

Quartzo aparece na matriz como cristais anédricos entre 0,1 e 0,7 mm, de contornos retos a irregulares, alguns alongados e, ocasionalmente, como porfiroclastos de 2,0 a 4,0 mm. Os cristais da matriz são, em sua maioria, recristalizados, com extinção normal a ondulante e

contatos triplos. Contornam e penetram, em regiões de fraqueza, os porfiroclastos. Inclusões são de egirina, algum feldspato alcalino e fluidas.

Os cristais de egirina são sub a euédricos, com 0,2 – 1,6 mm, até 2,0 – 3,0 mm, ocorrendo isolados ou em agregados fibro-radiados de 2 – 3 grãos (Anexo II, Prancha 1o). Porfiroclastos são raros. Apresentam pelocroísmo fraco em tons de verde claro a alaranjado e zonamento composicional do tipo normal e inverso, com núcleos ora mais escuros, ora mais claros, e ainda de tipo setorial. Inclusões são de fluorita, quartzo, zircão, alguma albita e enigmatita e/ou neptunita de aspecto tardio. Em algumas amostras cristaliza também a partir das bordas de anfibólio, formando mantos característicos em torno deste mineral (Anexo II, Prancha 1p). Aparecem em menor quantidade que o anfibólio, por quem são usualmente substituídos e também como cristais tardios por sobre as fases félsicas.

Anfibólio sódico (1,0 a 3,5 mm), na forma de porfiroclastos arredondados a prismáticos, com contornos irregulares (bordas corroídas) é a fase máfica principal (Anexo II, Prancha 1q). Os cristais aparecem isolados, em aglomerados, ou ainda como fases tardias menores. Mostram zonamento composicional setorial e normal, com bordas azuladas e núcleos mais acastanhados. As inclusões são de zircão, quartzo, egirina e fluorita, conferindo um aspecto poiquilítico a alguns porfiroclastos. Enigmatita e/ou neptunita pode ocorrer como fase tardia, nas bordas e/ou fraturas dos cristais, em amostras onde comumente não se identifica ilmenita e/ou magnetita.

Os acessórios são euédricos a subédricos e incluem astrofilita, fluorita, zircão, titanita, ilmenita e magnetita, de ocorrência muito restrita, narsarsukita, enigmatita, neptunita, monazita, britholita e zirconossilicatos de Na. Variam de 0,1 a 1,0 mm (Anexo II, Prancha 1r, s, t). As assembléias minerais identificadas são as seguintes:

Quartzo + feldspato alcalino ± albita +

- anfíbólio + egirina + astrofilita ± enigmatita e/ou neptunita (MR-01D e MR-05);
- anfíbólio + egirina + enigmatita e/ou neptunita ± zirconossilicatos de Na (amostra MR-06 e MR-28);
- anfíbólio + egirina + narsarsukita ± astrofilita ± britholita* ± zirconossilicatos de Na (amostras MR-03* e MR-21).

De uma forma geral, a seqüência de cristalização das fases minerais, interpretada a partir das relações texturais observadas nas amostras estudadas dos granitos da associação alcalina, pode ser simplificada de acordo com o quadro apresentado abaixo, com as fases félsicas iniciando a cristalização anteriormente às fases máficas, caracterizando uma seqüência de cristalização agpaítica (Ulbrich 1984).

Seqüência de cristalização e eventos:

<i>Mineral</i> \ <i>Estágio</i>	Magmático precoce	Magmático principal	Magmático tardio	Pós-magmático
Feldspato alcalino	■ ■ ■ ■			
Quartzo				
Albita			■ ■ ■ ■	
Egirina		■ ■ ■ ■		
Anfibólio		■ ■ ■ ■		
Ilmenita				
Magnetita			■ ■ ■ ■	
Fluorita				
Outros acessórios		■ ■ ■ ■		

6.1.2. Associação Aluminosa

A associação aluminosa é caracterizada por biotita granitos de estruturas maciças e *texturas inequigranulares faneríticas finas a média* (Anexo I, foto E), localmente aflorando algumas variedades *mais equigranulares* (Anexo I, foto C) e *porfíricas* (Anexo I foto F). Apresentam colorações acinzentadas quando frescos e rosadas a avermelhadas quando mais alterados. Predominam rochas hololeucocráticas com IC em torno de 4 a 5, mas variedades algo mais claras, com IC entre 2 e 3 também estão presentes. A mineralogia inclui cristais maiores, mais tabulares, de feldspato alcalino, quartzo, localmente globular, plagioclásio, que também pode ocorrer mantendo o feldspato potássio em típicas texturas *rapakivis*, biotita e acessórios como minerais opacos, entre os quais magnetita, detectada com imã de bolso.

Biotita granitos porfíricos

Esse litotipo tem ocorrência restrita no conjunto amostrado e é caracterizado pela textura hipidiomórfica, porfírica, dada por megacristais tabulares de feldspato alcalino em matriz com quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio, biotita e acessórios.

Ao microscópio, as amostras representativas apresentam textura hipidiomórfica porfírica a glomeroporfírica, dada a presença de glomérulos compostos de megacristais de feldspato alcalino, mas também alguns com plagioclásio, quartzo e biotita (Anexo II, Prancha 2a). Modalmente correspondem a sienogranitos (Anexo III, Tabela 2; Figura 2).

O feldspato alcalino (0,3 e 1,4 mm na matriz e megacristais até 5,1 mm) ocorre como cristais tabulares subédricos, com contornos irregulares. São pertíticos, com pertitas do tipo *string* e *patch*. Em alguns megacristais observa-se a substituição total da pertita por albita, originando textura do tipo *chessboard* (Smith 1974) (Anexo II, Prancha 2b).

Seus contatos são irregulares, alguns até interpenetrados com quartzo ou outro feldspato alcalino, neste último caso sendo comum a formação de albita límpida não geminada como aglomerados de pequenos cristais arredondados e/ou filetes e *swapped rims*. A geminação predominante é a de Carlsbad e as inclusões são de biotita, plagioclásio e principalmente quartzo. Os tons avermelhados nas amostras mais alteradas se devem a diminutas inclusões de provável hematita.

Plagioclásio aparece como cristais euédricos a subédricos, de hábito tabular com granulação entre 0,2 – 0,8 mm, na matriz, envolvidos por quartzo ou inclusos em feldspato alcalino. Os cristais maiores apresentam dimensões de até 2,6 mm, que ocorrem isolados, em aglomerados de 2 ou 3 cristais ou em glomérulos com feldspato alcalino, quartzo e biotita. Apresentam geminações da Albita e Carlsbad e mostram alteração saussurítica em geral intensa, com desenvolvimento de sericita, albita, epidoto e fluorita. Apresentam zonamento composicional leve no intervalo do oligoclásio (estimativas ópticas), por vezes com uma fina borda albitica. Os mantos sobre feldspato alcalino no caso da textura rapakivi, são pouco mais sódicos (An_{12-13}).

O quartzo apresenta-se em sua maioria como cristais anédricos na matriz, com granulometria entre 0,2 – 0,7 mm; cristais maiores, até 2,0 mm, são mais raros. Os contornos são levemente angulares; em geral apresentam extinção ondulante e lamelas de deformação. Em diversas amostras os cristais de quartzo têm aspecto poiquilítico, envolvendo grãos menores de plagioclásio, feldspato alcalino e biotita. Localmente também aparece intercrescido com feldspato alcalino, desenvolvendo uma textura semi-gráfica. Inclusões são de feldspato alcalino e plagioclásio, além de microinclusões minerais não identificadas e fluidas.

A biotita é o máfico típico destas rochas. Aparece como placas euédricas a subédricas com granulometria variando de 0,2 a 1,0 mm. No geral ocorre intersticial às fases félsicas, o que sugere cristalização mais tardia. São fortemente pleocróicas, variando de marrom avermelhado a amarelo alaranjado claro. O estágio de alteração é avançado na maioria das amostras, ocorrendo a substituição parcial e/ou total por clorita associada com epidoto, alguma titanita magnetita e ilmenita; em algumas amostras apenas os cristais inclusos em quartzo e/ou feldspato encontram-se bem preservados. As inclusões mais comuns são de apatita, zircão, titanita, ilmenita e magnetita.

Os minerais acessórios, mais diminutos, são subédricos a euédricos e incluem titanita, zircão, fluorita, apatita, allanita, ilmenita e magnetita, comumente substituída por hematita.

Biotita granitos inequigranulares

Apresentam textura inequigranular hipidiomórfica fanerítica fina a média (Anexo II, Prancha 2c). Ao microscópio apresentam com frequência textura semi-gráfica, caracterizada pelo intercrescimento de quartzo com feldspato alcalino (amostra MR-19C) e glomerular, dada pela presença de glomérulos de plagioclásio e/ou biotita e acessórios (amostra MR-31). Modalmente correspondem a monzo- a sienogranitos (Anexo III, Tabela 2; Figura 2).

As fases minerais reconhecidas são muito semelhantes, tanto na diversidade quanto na textura, àquelas encontradas nas variedades porfíricas; entretanto, algumas amostras destas variedades apresentam hornblenda entre os minerais máficos. Assim têm-se o feldspato alcalino, com granulação entre 0,3 e 2,0 mm, perítico, com textura do tipo *chessboard* e formação de albita tardia em suas bordas (Anexo II, Prancha 2d). As inclusões são de biotita, quartzo, plagioclásio, zircão, ilmenita e magnetita.

Os cristais de plagioclásio estão isolados ou em aglomerados raros de 3 ou 4 grãos, com granulometria variando de 0,2 a 0,8 mm. O teor de An é estimado entre 26 e 29, correspondendo a um oligoclásio cálcico. Inclusões mais comuns são de quartzo anédrico.

O quartzo (0,2 a 2,0 mm) apresenta extinção ondulante leve e forma localmente intercrescimentos semi-gráficos com feldspato alcalino. As inclusões são de feldspato alcalino, ilmenita e magnetita, além de microinclusões fluidas e minerais. Alguns cristais chegam a apresentar aspecto poiquilítico dado por grande número de inclusões de feldspatos e biotita (Anexo II, Prancha 2e).

A biotita (0,2 a 1,5 mm) é também o principal máfico; ocorre isolada ou em aglomerados de diversos cristais, juntamente com ilmenita, magnetita e plagioclásio (Anexo II, Prancha 2f). O pleocroísmo varia em tons de verde-acastanhado a amarelo. Hornblenda é ocasional. Aparece como cristais isolados euhedrais de até 1,5 mm com pleocroísmo em tons de verde amarelado a verde oliva, em geral parcialmente substituídos por biotita e/ou fluorita e com bordas actinolíticas (Anexo II, Prancha 2g).

Os acessórios aparecem associados em geral aos cristais de biotita e plagioclásio e mais raramente intersticiais. São subédricos a euédricos e incluem allanita, zircão, apatita, titanita, fluorita, magnetita, ilmenita e algumas fases não reconhecidas opticamente.

Biotita granitos equigranulares

Essa variedade ocorre em alguns afloramentos e se caracteriza pela textura equigranular hipidiomórfica fanerítica média a fina (Anexo II, Prancha 2h, i). Apresenta estrutura

maciça, ocorrendo localmente quartzo globular e venulações máficas irregulares (ponto MR-19). Diques de microgranitos hololeucocráticos com mineralogia semelhante e espessuras centimétricas ocorrem no mesmo afloramento. Modalmente correspondem também a sienogranitos (Anexo III, Tabela 2; Figura 2).

As fases minerais identificadas são semelhantes as das variedades acima descritas.

O feldspato alcalino é pertítico com granulação entre 1,0 e 4,0 mm. As pertitas são do tipo *strings* e *patch*, com textura do tipo *chessboard* e formação de albita tardia ao longo do contato entre cristais de feldspato alcalino e deste com plagioclásio. Geminações segundo Carlsbad, Baveno e/ou Manebach, combinadas ou não, são típicas; a geminação do microclínio é difusa e relativamente rara. Como inclusões ocorrem plagioclásio, quartzo e alguma allanita.

Plagioclásio (0,3 e 3,0 mm) apresenta geminações da Albita e Carlsbad. Corresponde a um oligoclásio com zonamento suave, os teores de anortita variando entre An₂₉₋₂₀. Em algumas amostras o plagioclásio também manteve o feldspato alcalino, caracterizando textura rapakivi. Neste caso o plagioclásio também é mais sódico com teores de An entre 12 e 15 (amostra MR-19B).

Os cristais de quartzo variam de 0,3 a 3,0 mm, com as mesmas evidências de deformação e inclusões dos cristais das outras variedades. Podem formar intercrescimentos semi-gráficos, incipientes, com feldspato alcalino (amostra MR-15C). Cristais poiquilíticos que envolvem feldspatos e biotita aparecem ocasionalmente (amostras MR-19A e B).

Cristais placóides euédricos a subédricos intersticiais de biotita não alterada ocorrem em menor quantidade (Anexo II, Prancha 2j). Predomina pseudomorfos preenchidos por clorita, com granulometria entre 0,2 e 1,5 mm. Os cristais parcialmente ou não substituídos por clorita mostram pleocroísmo forte, de marrom a amarelo-esverdeado. Inclusões são preferencialmente de ilmenita, magnetita, além de zircão e titanita, entre outros. Homblenda verde oliva é ocasional.

Dentre os acessórios, de formas subédricas a euédricas, que ocorrem isolados, intersticiais ou, principalmente, em associação com a biotita, como inclusões ou nas bordas, identifica-se allanita, apatita, fluorita, zircão, titanita, além de ilmenita e magnetita, já sendo substituída por hematita (Anexo II, Prancha 2k, l).

As assembléias minerais identificadas são as seguintes (¹bgi: biotita granitos inequigranulares; ²bge: biotita granitos equigranulares; ³bgp: biotita granitos porfíricos):

Quartzo + feldspato alcalino ± plagioclásio +

- Biotita + anfibólio ± ilmenita ± magnetita ± titanita ± zircão ± apatita ± allanita: (amostras MR-15A, bgi¹; MR-15B, bgi; MR-15C, bge² e MR-19B, bge);

- Biotita ± ilmenita ± magnetita ± titanita ± zircão ± apatita ± fluorita ± allanita: (amostras MR-14, bgp³; MR-18, bgp; MR-30/31, bgi; MR-19A, bge; MR-20A, bge e MR-17, bge).

Seqüência de cristalização e eventos

<i>Mineral</i> \ <i>Estágio</i>	Magmático precoce	Magmático principal	Magmático tardio	Pós-magmático
Feldspato alcalino	■ ■ ■ ■	—————	—————	
Quartzo	■ ■ ■ ■	—————	—————	
Plagioclásio	■ ■ ■ ■	—————	—————	
Albita				—————
Biotita		■ ■ ■ ■	—————	
Clorita				—————
Ilmenita		■ ■ ■ ■	—————	
Magnetita		■ ■ ■ ■	—————	
Zircão		■ ■ ■ ■	—————	
Apatita		■ ■ ■ ■	—————	
Outros acessórios			■ ■ ■ ■	—————

6.2. As modas das rochas graníticas

Os dados modais obtidos para as rochas graníticas do Maciço Morro Redondo são apresentados no Anexo III, Tabelas 1 e 2 e plotados no diagrama Quartzo-Feldspato Alcalino-Plagioclásio (QAP) de classificação de rochas plutônicas super-saturadas (Figura 2). Na Figura 3 apresenta-se um diagrama que ilustra a variação do índice M com o parâmetro modal Q/QAP.

O diagrama QAP ilustra muito bem o contraste da mineralogia félsica dos granitos estudados e como esta se reflete na sua classificação a exemplo de outros maciços da província (e.g., Gualda 2001). As variedades da associação alcalina são todas álcali-feldspato granitos; a grande maioria *hipersolvus*, com um feldspato alcalino de cristalização magmática, entretanto, pela primeira vez na província aparecem evidências de álcali-feldspato granitos *subsolvus* com feldspato alcalino e albita como fases primárias. Do outro lado, as fácies da associação aluminosa classificam-se essencialmente como sienogranitos e são tipicamente *subsolvus*, apresentando duas fases feldspáticas primárias: feldspato alcalino e plagioclásio sódico.

Em média, as fácies da associação aluminosa apresentam valores Q/QAP e M menores quando comparadas as da associação alcalina, notando-se uma tendência mais regular de diminuição do índice M com o a razão Q/QAP , que deve corresponder, grosso modo, com a tendência geral de diferenciação destas rochas. Esta tendência não é bem marcada na associação alcalina, fato que, pelo menos em parte, se deve a relativa abundância de alguns acessórios raros (enigmatita, narsarsukita, zirconossilicatos de Na) nas amostras com valores Q/QAP mais altos.

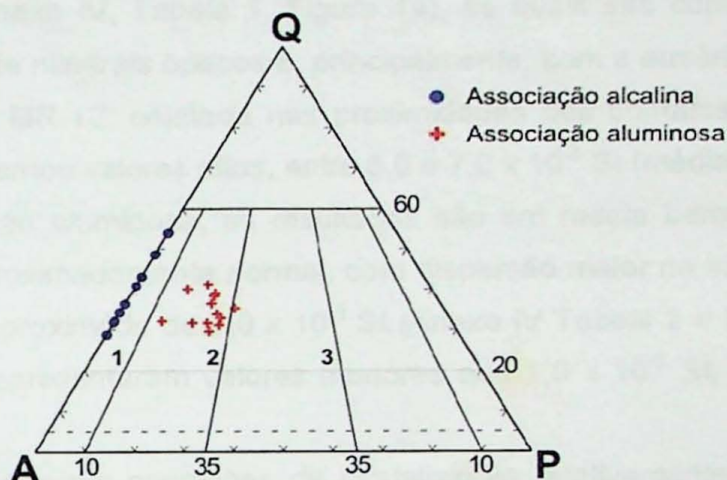


Figura 2: Diagrama modal Quartz (Q) – Feldspato alcalino (A) – Plagioclásio (P) mostrando as variações composicionais das associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo. Campos: 1 – álcali-feldspato granito; 2 – sienogranito; 3 – monzogranito, segundo Streckeisen (1976), Le Maitre (2002).

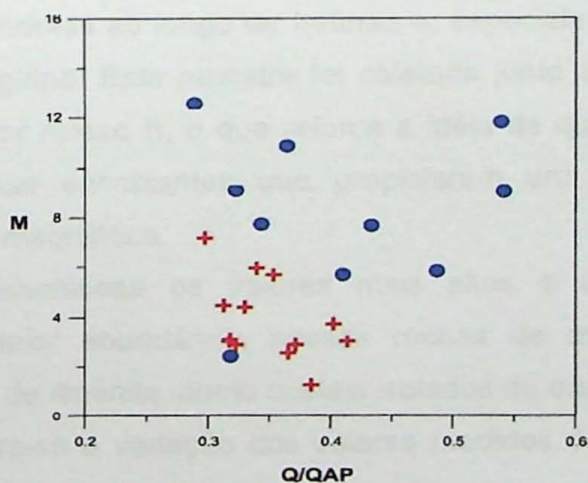


Figura 3: Diagrama binário mostrando a variação dos teores dos minerais máficos (M = somatória de minerais máficos) em função do parâmetro $Q/(QAP)$ para as associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo.

6.3. Suscetibilidade magnética (SM) das rochas graníticas

As suscetibilidades magnéticas medidas em campo e em fatias de rocha dos granitos do Maciço Morro Redondo, situam-se no intervalo entre 0,05 e $6,4 \times 10^{-3}$ SI, e se revelam como um parâmetro que permite contrastar entre as fácies das associações alcalina e aluminosa.

As amostras da associação alcalina apresentam SMs relativamente baixas, com uma distribuição aproximadamente normal, no intervalo 0,1 e $0,5 \times 10^{-3}$ SI, com um valor médio próximo a $0,17 \times 10^{-3}$ SI (Anexo IV, Tabela 1, Figura 4a), as quais são compatíveis com os teores relativamente baixos de minerais opacos e, principalmente, com a ausência de magnetita primária. Apenas a amostra MR-10, coletada nas proximidades dos contatos com as rochas encaixantes regionais, apresentou valores altos, entre 6,0 e $7,0 \times 10^{-3}$ SI (média).

No caso da associação aluminosa, os resultados são em média bem superiores com uma distribuição também aproximadamente normal, com dispersão maior no intervalo entre 1,0 e $6,0 \times 10^{-3}$ SI, com média aproximada de $3,0 \times 10^{-3}$ SI (Anexo IV Tabela 2 e Figura 4b). Duas amostras, MR-15 e MR-16 apresentaram valores menores que $1,0 \times 10^{-3}$ SI, respectivamente 0,05 e $0,65 \times 10^{-3}$ SI.

Os valores obtidos sugerem condições de cristalização relativamente mais reduzidas para a associação alcalina, com cristalização de ilmenita primária, ainda que em pequena quantidade, em detrimento de magnetita. Exceção é feita para a amostra MR-10, que apresenta grande quantidade modal de magnetita e ilmenita (2,2%); entretanto, as informações petrográficas indicam que estes minerais, particularmente a magnetita, são tardi- a pós-magmáticos, desenvolvendo-se ao longo de fraturas e, especialmente, formando mantos sobre o anfibólio sódico e a egrina. Esta amostra foi coletada junto ao contato do maciço com as encaixantes regionais (ver Anexo I), o que reforça a idéia de que tenha havido algum tipo de interação com as rochas encaixantes que propiciaram um ambiente mais oxidante de cristalização tardi- a pós-magmática.

Na associação aluminosa os valores mais altos e dispersos de SM estão em concordância com a maior abundância nessas rochas de magnetita, originalmente ülvö-espinélio, em detrimento de ilmenita, como cristais isolados de origem magmática.

Na Figura 5 ilustra-se a variação dos valores medidos de SMs e a abundância modal estimada de minerais opacos para as duas associações, destacando também a boa correlação positiva entre as SMs e o teor em opacos, principalmente magnetita, das amostras da associação aluminosa. Estas informações, aliadas, as paragêneses minerais encontradas nesta última associação (e.g., titanita+magnetita+quartzo, cf. Wones 1989) sugerem condições de cristalização relativamente mais oxidantes para esta última.

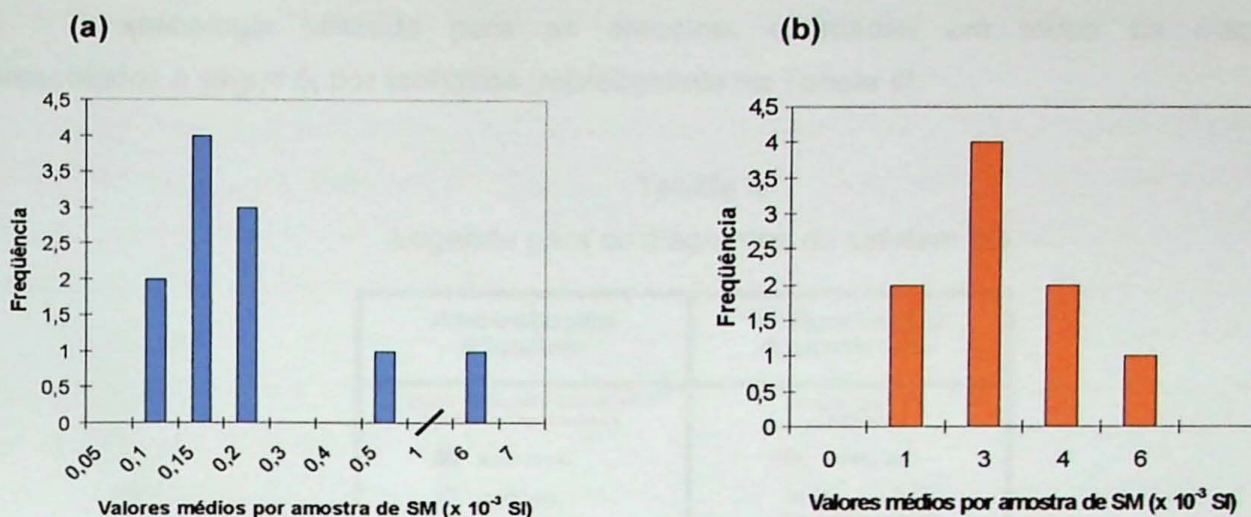


Figura 4: Histograma para os valores por amostra de SM ($\times 10^{-3}$ SI) para amostras representativas d granitos das associações alcalina (a) e aluminosa (b) do Maciço Morro Redondo.

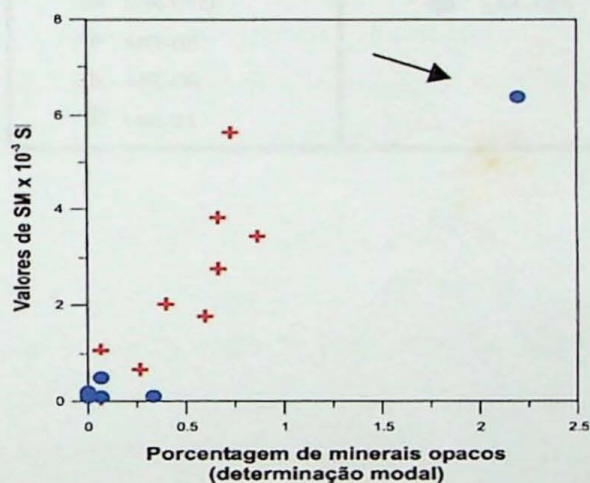


Figura 5: Relação entre as porcentagens de minerais opacos nos granitos da associação alcalina e aluminosa e os valores medidos de suscetibilidade magnética. Em destaque a amostra MR-10, da associação alcalina. Simbologia como na figura 2

6.4. Quimismo e variações composicionais

São apresentados e discutidos neste item os dados químicos obtidos com microsonda eletrônica para os principais minerais máficos das associações alcalina e aluminosa (piroxênio, anfibólios e biotita) e para plagioclásio e feldspatos alcalinos. Os resultados analíticos mais representativos para cada grupo mineral, proporções catiônicas, moleculares e fórmulas estruturais são apresentadas no Anexo V, Tabelas 1 a 5.

A simbologia utilizada para as amostras estudadas em todos os diagramas apresentados a seguir é, por facilidade, representada na Tabela III:

Tabela III
Legenda para os diagramas do subitem 6.4

Associação Alcalina	Associação Aluminosa
<i>Alcali-feldspato granitos equi-inequigranulares</i> ■ MR-01A ● MR-10 ◆ MR-11 ▲ MR-26 ■ MR-27 <i>Alcali-feldspato granitos protomiloníticos</i> ■ MR-01D ◆ MR-05 ▲ MR-06 ● MR-21	<i>Biotita granitos porfíricos</i> ◆ MR-18 <i>Biotita granitos inequigranulares</i> ▲ MR-31 <i>Biotita granitos equigranulares</i> ● MR-15C ■ MR-19A ● MR-19B

6.4.1. Minerais Máficos

6.4.1.1. Piroxênio

Cristais de clinopiroxênio ocorrem apenas nas rochas da associação alcalina; apresentam variações composicionais relativamente restritas e correspondem quimicamente a uma egirina quase pura (Eg_{90-97} , Figura 6). Alguns contrastes composicionais mais evidentes entre as variedades caracterizadas petrograficamente pelos tons de pleocroísmo distintos são apresentados e discutidos a seguir.

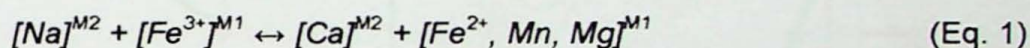
Os cristais com pleocroísmo incipiente, de tonalidades incolores a amareladas (Anexo II, Prancha 1g), apresentam índice $mg\#$ $[Mg/(Mg+Fe^{2+})]$ médio de 0,012. São zonadas composicionalmente, observando-se em direção às bordas, uma diminuição dos teores de CaO (1,44 – 0,22%, em peso) e FeO^C (3,88 – 2,19%) e um aumento de Na_2O (12,04 – 12,96%). TiO_2 (0,73%, teor médio) apresenta variações mais complexas. As variedades mais tipicamente alaranjadas (Anexo II, Prancha 1j) também apresentam núcleos mais cálcicos (0,27%; borda = 0,19%), bordas mais sódicas (13,03%; núcleo = 12,72%) e mais ricas de TiO_2 (0,89%; núcleo = 0,58%). Além de serem mais sódicas e de apresentarem teores médios maiores em TiO_2

(0,89%), mostram-se também mais manganesíferas (0,58%) que a egrina pouco pleocróica (0,10%) e têm *mg#* menor (em torno de 0,004).

A egrina alaranjada que ocorre tipicamente manteendo o anfibólio sódico em algumas amostras apresenta, de certa forma, zonamento invertido, as zonas mais externas dos mantos sendo pouco menos sódicas que as zonas mais internas (13,08 – 13,02 % Na₂O); o índice *mg#* apresenta valores em torno de 0,016.

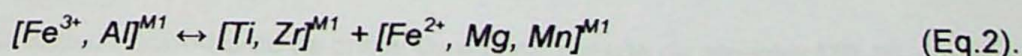
A egrina com pleocroísmo mais forte (Anexo II, Prancha 1h) também apresenta zonamento químico. Os valores *mg#* são, em média, 0,019; as zonas mais escuras são mais ricas em TiO₂ (1,44%; partes claras = 0,58%), FeO^C (3,93%; partes claras = 2,31%) e CaO (0,79%; partes claras = 0,33%) e pobres em Fe₂O₃^C (28,16%; partes claras = 30,99%) e Na₂O (12,64%; partes claras = 12,93%). Quando essa variedade aparece nos glomérulos com 3 ou mais cristais (Anexo II, Prancha 1o), apresenta teores ainda maiores de TiO₂ (0,93 – 2,54%), FeO^C (2,95 – 4,88%) e menores de Fe₂O₃^C (29,84 – 25,69%), sendo as variações semelhantes. Nesse caso o índice *mg#* médio é 0,014. A Figura 7 ilustra, em um cristal de egrina zonada, as variações químicas descritas com base no número de cátions por fórmula unitária (c.p.f.u.).

Uma parte das variações químicas observadas nas egrinas estudadas pode ser explicada pela seguinte reação acoplada de substituição (e.g., Deer *et al.* 1992):



A excelente correlação negativa entre os termos desta equação, demonstrada na Figura 8, mostra que esta reação deve ter tido papel importante na origem das variações composicionais nos cristais analisados, principalmente na geração de núcleos cálcicos e bordas mais sódicas (e.g., Neumann 1978), um padrão químico compatível com mecanismos de diferenciação convencionais durante o estágio magmático principal.

Entretanto, este mecanismo não explica as variações encontradas para outros cátions, em particular o Ti; adicionalmente, a pendente da correlação não se aproxima o suficiente do valor ideal -1, indicando que outros mecanismos de substituição devem ter operado simultaneamente. Segundo Ulbrich (1983) um mecanismo de substituição acoplada importante em egrina está relacionado à entrada de íons tetravalentes (Ti, Zr) no sítio M1, de acordo com a equação:



A Figura 9 mostra correlação negativa excelente ($R^2 = -1$) entre os termos desta equação e indica que ela foi responsável pelas variações composicionais envolvendo Ti, Zr e, eventualmente, Al na egrina das amostras da associação alcalina.

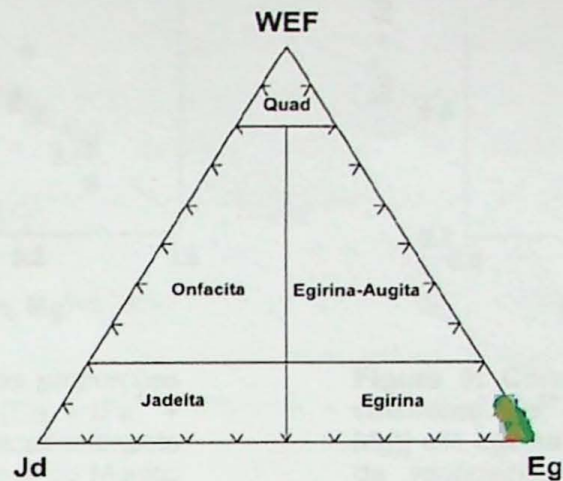


Figura 6: Composições dos clinopiroxênios da associação alcalina no diagrama cationico WEF x Jd x Eg de Morimoto (1990).

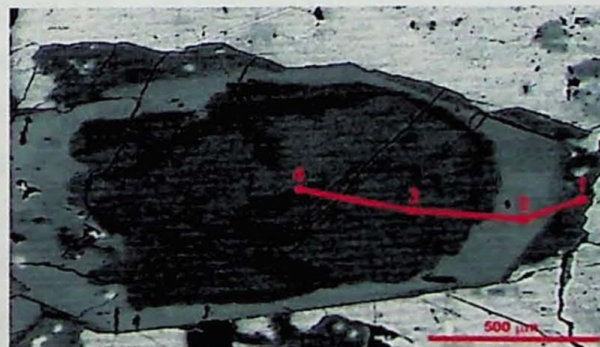
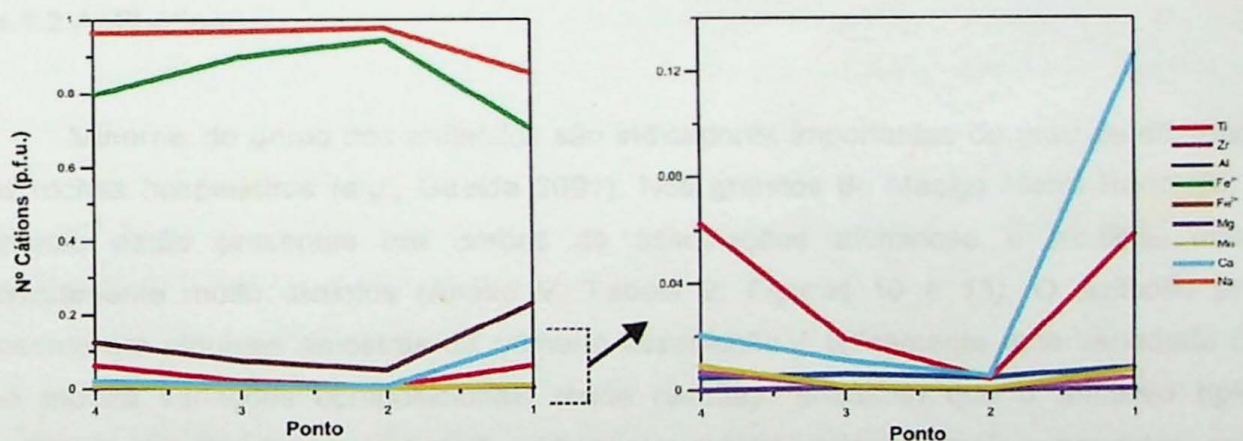


Figura 7: Perfil analítico quantitativo núcleo-borda de cristal de egrina zonada da amostra MR-06. Pontos analíticos são localizados na imagem de elétrons retro-espalhados em modo composicional.

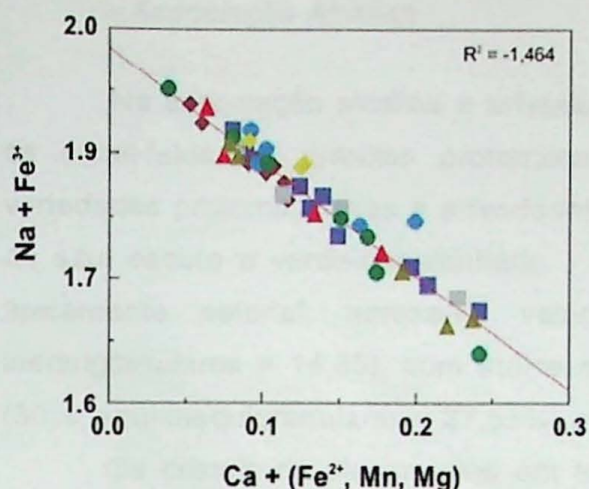


Figura 8: Correlação entre as proporções catiônicas de $(\text{Na} + \text{Fe}^{3+}) \times [\text{Ca} + (\text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + \text{Mg})]$ em egrina dos álcali-feldspato granitos da associação alcalina do Maciço Morro Redondo.

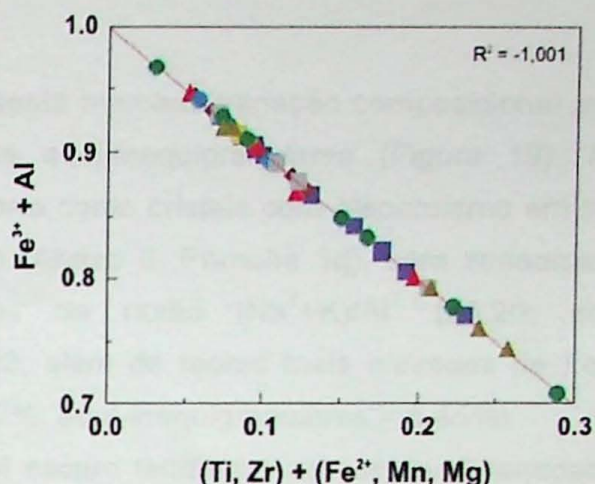


Figura 9: Correlação entre as proporções catiônicas $(\text{Fe}^{3+} + \text{Al}) \times [\text{Ti}, \text{Zr} + (\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}, \text{Mg})]$ em egrina dos álcali-feldspato granitos da associação alcalina do Maciço Morro Redondo.

6.4.1.2 Anfibólios

Minerais do grupo dos anfibólios são indicadores importantes do grau de diferenciação das rochas hospedeiras (e.g., Gualda 2001). Nos granitos do Maciço Morro Redondo, estes minerais estão presentes em ambas as associações aluminosa e alcalina, mas são quimicamente muito distintos (Anexo V, Tabela 2; Figuras 10 e 13). O anfibólio primário presente em algumas amostras da primeira associação é tipicamente uma variedade cálcica que mostra variações composicionais muito restritas, enquanto que o anfibólio típico da associação alcalina é uma variedade sódica, que mostra variações mais expandidas, como se apresentará a seguir (Figura 10).

De acordo com a sistemática de Leake *et al.* (1997), as variedades cálcicas primárias correspondem a Fe-hornbendas; alguma Fe-actinolita encontrada em uma das amostras tem caráter tipicamente tardi - a pós-magmático, sobrecrecendo a hornblenda (Figura 11). Os anfibólios sódicos que caracterizam a associação alcalina são tipicamente arfvedsonita e, ocasionalmente, riebeckita (Figuras 12). Neste último caso deve ser lembrado que as razões $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ são determinantes na separação entre arfvedsonita e riebeckita e pequenos erros nas avaliações destas razões podem conduzir a uma classificação equivocada.

- Associação Alcalina

Na associação alcalina a arfvedsonita apresenta marcada variação composicional entre os álcali-feldspato granitos protomiloníticos e os equi-inequigranulares (Figura 19). Nas variedades protomiloníticas a arfvedsonita, que ocorre como cristais com pleocroísmo em tons de azul escuro e verde-acastanhado – azul médio (Anexo II, Prancha 1q), com zoneamento tipicamente setorial, apresenta valores maiores da razão $(Na^T+K)/Al^T$ (28,20; equi-inequigranulares = 14,85), com índice $mg\#$ = 0,003, além de teores mais elevados de FeO^C (30%; equi-inequigranulares = 27,55%) e Na_2O (8,37%; equi-inequigranulares = 6,45%).

Os cristais de pleocroísmo em tons de azul escuro tendem a apresentar quantidades maiores de Na_2O (8,50%; cristais mais claros, em tons de verde – azul = 8,25%) e menores de TiO_2 (0,82%; claros = 1,19%), K_2O (1,79%; claros = 1,91%), CaO (0,54 %, claros = 0,72%) e FeO^C (29,81%, claros = 30,20%). Os teores de Al_2O_3 variam inversamente com o FeO^C (cristais claros = 0,47%; cristais azuis escuros = 0,68%).

Nos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares a arfvedsonita contém quantidades maiores de TiO_2 (1,43%; protomiloníticos = 1,00%), Fe_2O_3 (7,10%; protomiloníticos = 4,88%) e CaO (0,87%; protomiloníticos = 0,63%); o índice $mg\#$ variando em torno de 0,01. Os cristais de pleocroísmo verde-acastanhado a azul-médio tendem a ser mais sódicos (6,52%; cristais em tons de azul escuro = 6,39%), com concentrações maiores de Fe_2O_3 (7,29%; azuis escuros = 6,90%). O comportamento do TiO_2 aqui é semelhante ao que ocorre na arfvedsonita das variedades protomiloníticas, ou seja, seus teores são maiores nos cristais mais pleocróicos (1,15%; azuis escuros = 0,66%) (Anexo II, Tabela 2).

Exemplares de arfvedsonita setorialmente zonados apresentam variações semelhantes nas duas variedades petrográficas. Em geral, há aumento principalmente nos teores de TiO_2 (0,56 – 1,66%), Al_2O_3 (0,41 – 0,56%), FeO^C (27,87 – 30,85%) e Na_2O (7,45 – 8,18%) e diminuição de MnO (0,62 – 0,83%) e K_2O (2,86 – 1,70%) das zonas opticamente mais claras para as mais escuras. A Figura 14 ilustra tais variações em um mesmo cristal, com base no número de cátions por fórmula unitária (c.p.f.u.).

A riebeckita ocorre apenas em duas amostras, sendo uma de cada variedade petrográfica. Essas amostras, MR-01D, dos álcali-feldspato granitos protomiloníticos e MR-10, dos equi-inequigranulares apresentam as maiores modas de minerais máficos (9,1 e 12,6%, em volume, respectivamente) dentre aquelas analisadas. Os cristais dos granitos protomiloníticos, com índice $mg\#$ = 0,005 e razão $(Na^T+K)/Al^T$ = 21,69, apresentam teores maiores de TiO_2 (0,85%; equi-inequigranulares = 0,50%), FeO^C (26,71%; equi-inequigranulares = 23,81%), CaO (0,89%; equi-inequigranulares = 0,36%) e K_2O (1,43%; equi-inequigranulares = 0,46%). A

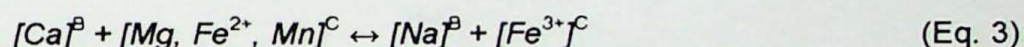
riebeckita presente nos granitos equi-inequigranulares mostra valores maiores do índice *mg#* (0,018) e menores da razão $(Na^+ + K)/Al^T$ (15,38) (Anexo II, Tabela 2).

Nas duas variedades petrográficas a riebeckita pode apresentar zoneamento setorial, com as variações composicionais entre as partes claras e escuras semelhantes às descritas para a arfvedsonita.

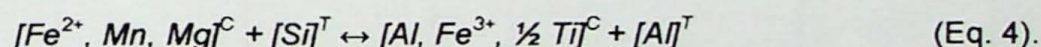
- Associação Aluminosa

Como indicado pelas suas características ópticas, os anfibólios cálcicos desta associação são bem homogêneos composicionalmente (Anexo II, Prancha 2g). Pequenas variações núcleo-borda mais importantes são o aumento de Al_2O_3 (3,15 – 3,44%) FeO^C (21,47 – 22,04%) e Na_2O (0,66 – 0,77%) e a diminuição de MgO (8,06 – 7,49%). O índice *mg#* apresenta valor médio de 0,369, variando de 0,401 a 0,377 do núcleo para as bordas cristalinas, sendo bem superior ao equivalente observado nas rochas da associação alcalina.

As principais variações composicionais observadas, tanto na arfvedsonita e riebeckita quanto na hornblenda podem ser explicadas por uma combinação entre a substituição acoplada (Czamanske & Dillet 1988):



e o conjunto das substituições tschermakíticas:



A atuação desses mecanismos é demonstrada pela excelente correlação negativa ($R^2 \sim -1$) nas Figuras 15 (Eq. 3) e 16 (Eq. 4).

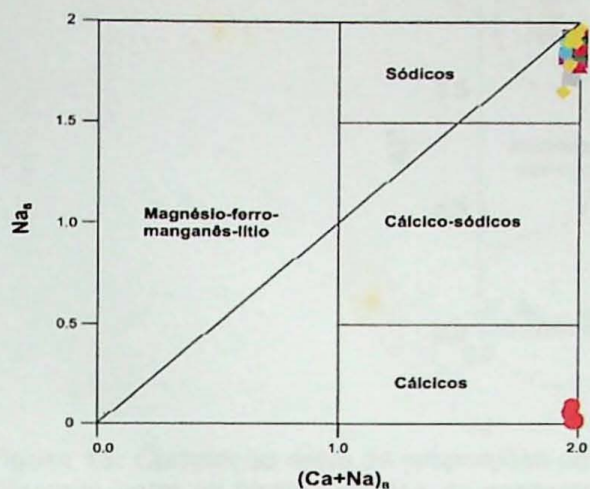


Figura 10: Diagrama catiônico $[Ca+Na]^B \times [Na]^B$ de classificação dos anfibólios (Leake *et al.* 1997) das associações alcalina e aluminosa do Maciço Morro Redondo.

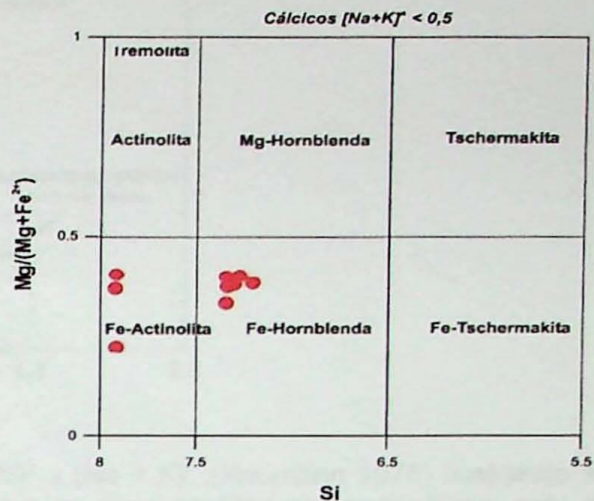
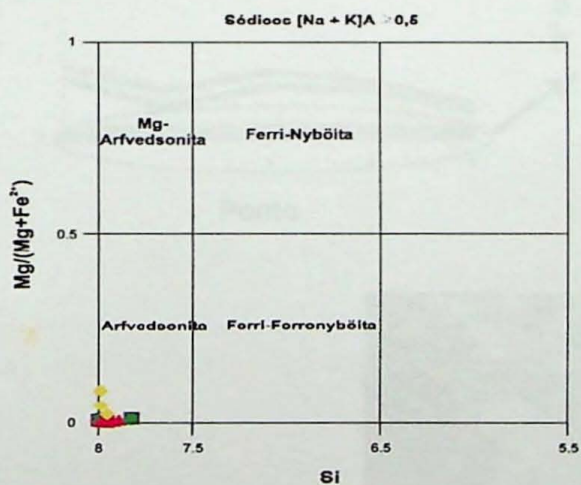


Figura 11: Diagrama catiônico $Si \times Mg/(Mg+Fe^{2+})$ de classificação dos anfibólios (Leake *et al.* 1997) da associação aluminosa do Maciço Morro Redondo.

(a)



(b)

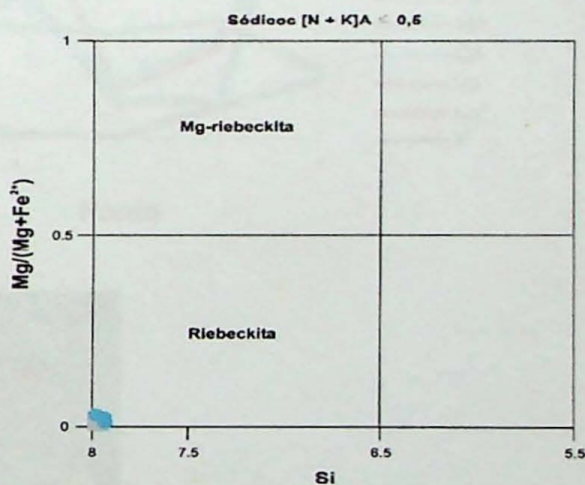


Figura 12: Diagrama catiônico $Si \times Mg/(Mg+Fe^{2+})$ de classificação dos anfibólios (Leake *et al.* 1997) da associação alcalina do Maciço Morro Redondo.

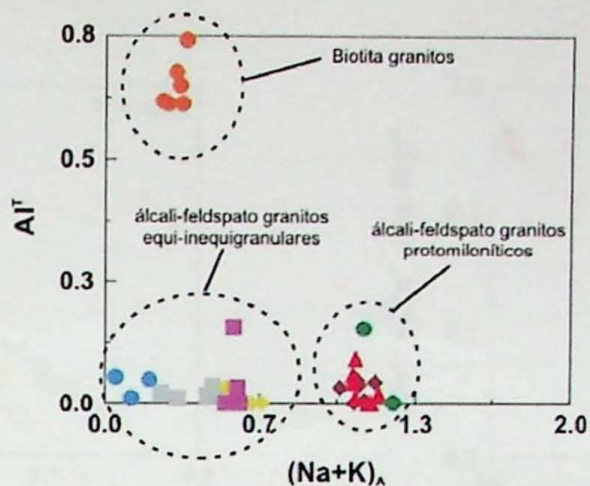


Figura 13: Correlação entre as proporções catiônicas de $(Al)^I \times (Na + K)^A$ (Neumann 1978) ilustrando a diferença entre os biotita granitos da associação aluminosa e os álcali-granitos protomiloníticos, com o sítio A mais preenchido e os equi-inequigranulares, com o sítio A menos preenchido, da associação alcalina do Maciço Morro Redondo. Exceção faz-se a amostra MR-01D (cinza), que equivale a uma riebeckita dos granitos protomiloníticos.

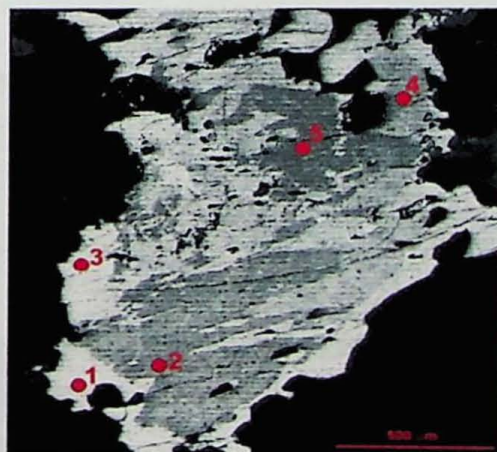
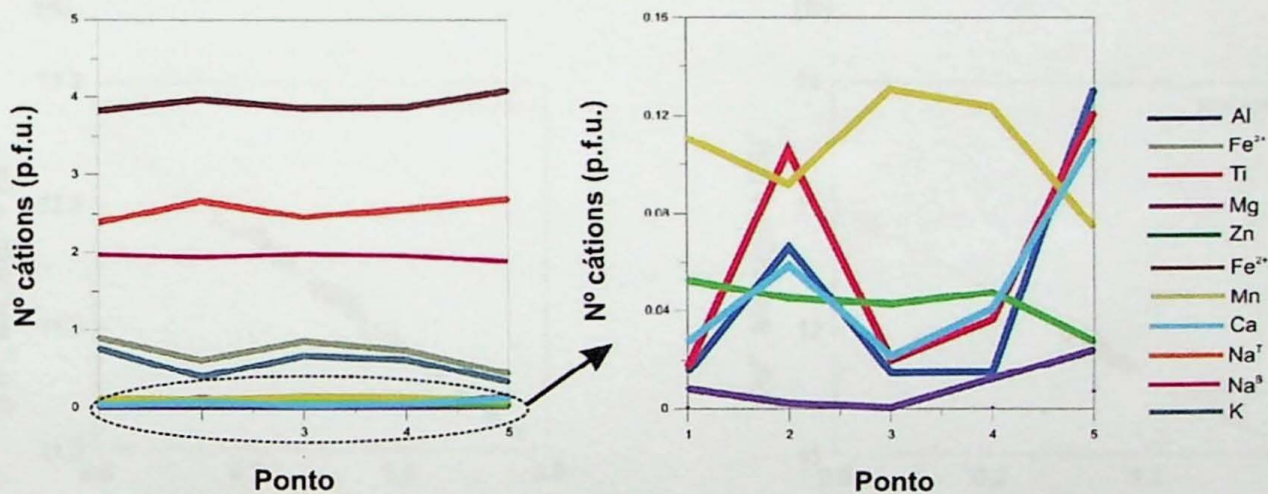


Figura 14: Perfil de variação de análises químicas em diferentes pontos de um cristal de arfvedsonita representativo da amostra MR-26 dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Pontos localizados na imagem composicional de elétrons retro-espalhados.

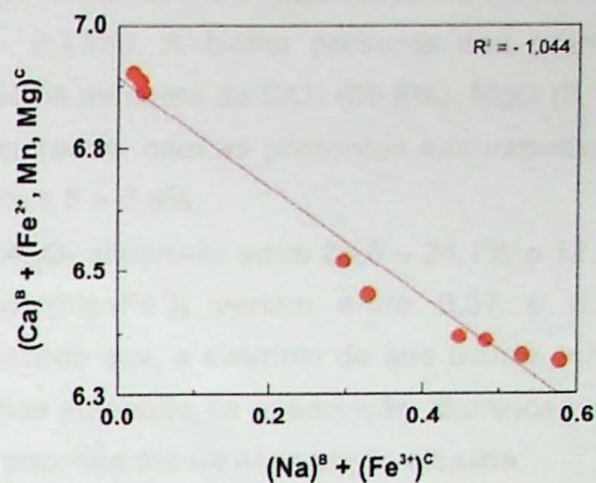
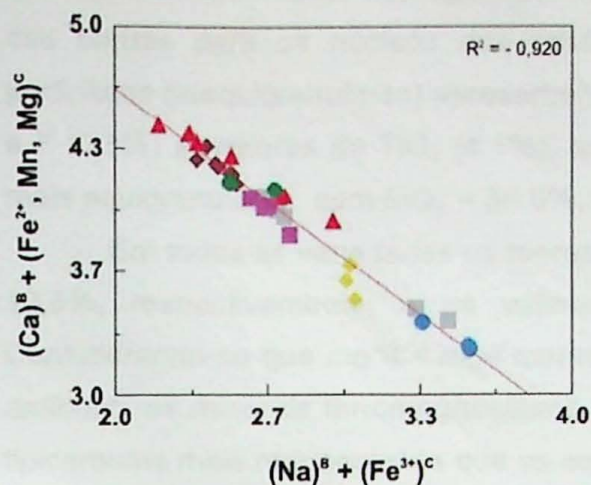


Figura 15: Correlação entre as proporções catiônicas de $(Ca)^B + (R^2)^C \times (Na)^B + (Fe^{3+})^C$ em anfibólios das associações alcalina (a) e aluminosa (b) do Maciço Morro Redondo.

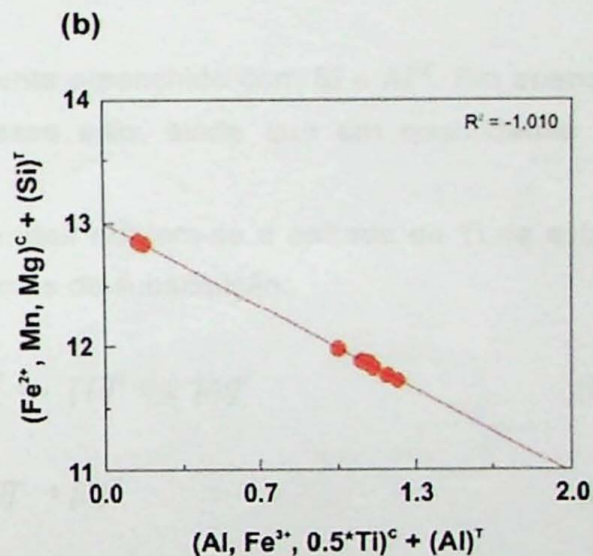
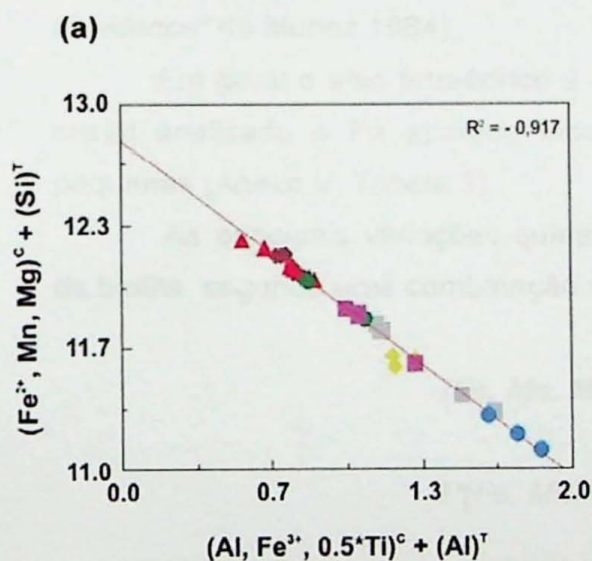


Figura 16: Correlação entre as proporções catiônicas de $(R^3)^C + (Al)^I \times (R^2)^C + (Si)^C$ em anfibólios das associações alcalina (a) e aluminosa (b) do Maciço Morro Redondo.

6.4.1.3. Biotita

A biotita é o mineral máfico típico das amostras da associação aluminosa, não sendo observada em nenhuma amostra da associação alcalina (Anexo II, Prancha 2j). Os dados revelam que é relativamente rica na molécula annita, $K_2(Fe_6)(Al_2Si_6O_{20})(OH)_4$, com razões $Fe^T/(Fe^T+Mg)$ em torno de 0,62 e teores de Al^{IV} variando de 2,1 a 2,4 *c.p.f.u.* (Anexo V, Tabela 3; Figura 17). As composições obtidas para os cristais mais preservados encontrado indicam

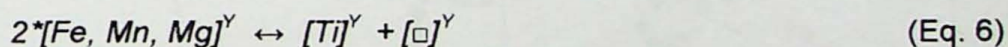
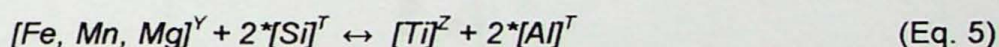
que ela é relativamente homogênea, merecendo ser destacado um discreto aumento de BaO das bordas para os núcleos dos cristais (0,17 – 0,43%). A biotita presente nos granitos porfíricos (inequigranulares) apresentam teores médios menores de SiO₂ (35,8%), MgO (8,1%) e F (0,5%) e maiores de TiO₂ (4,1%), quando comparados com as presentes nas variedades mais equigranulares, com SiO₂ = 36,5%, MgO = 8,7% e F = 0,8%.

Em todas as variedades os teores de FeO e Al₂O₃ situam-se entre 24,6 – 24,7% e 12,2 – 12,5%, respectivamente, e os valores $mg^{\#}$ [Mg/(Mg+Fe^T)] variam entre 0,37 e 0,38. Considerando-se que $mg^{\#} < mg\#$ merece ser destacado que, a exemplo do que ocorre com o anfibólio, os minerais ferromagnesianos presentes nas amostras da associação aluminosa são tipicamente mais magnesianos que os equivalentes encontrados na associação alcalina.

Em relação aos voláteis, vale a pena salientar a boa correlação positiva entre F e a razão Mg/(Soma Z), onde Soma Z representa o conteúdo total de cátions no sítio octaédrico (Figura 18), em acordo com a tendência normal do F acompanhar o Mg em micas (“Fe-F avoidance” de Munoz 1984).

Em geral o sítio tetraédrico é completamente preenchido com Si e Al^{IV}. Em apenas um cristal analisado o Fe aparece incorporado nesse sítio, ainda que em quantidades muito pequenas (Anexo V, Tabela 3).

As principais variações químicas encontradas referem-se a entrada do Ti na estrutura da biotita, segundo uma combinação de mecanismos de substituição:



A Eq. 5 (cf. Figura 19) é a denominada *substituição Ti-Tschermakítica* (Dymek 1983) e naturalmente resulta em correlações negativas entre Si^{IV} e Ti^{VI}. A Eq. 6 (Figura 20), resulta na formação de uma vacância octaédrica (□). Além disso verifica-se também a ocorrência de substituições simples no sítio octaédrico como Mg₁Fe (diagrama não apresentado). As variações em Ti podem estar correlacionadas com as respectivas temperaturas de cristalização (e.g., Ibhi & Nachit 2000).

Os teores de Al^{IV} (2,1-2,4) e as ocupações do sítio octaédrico (5,6-6,2) observados estão próximos das composições magmáticas comuns (e.g., Gualda 2001). A baixa ocupação dos sítios do K, entre 1,9 e 1,4 (sítio X, Anexo V, Tabela 3), bem como os fechamentos no geral baixos, podem estar relacionados, em parte, a transformações pós-magmáticas (e.g., cloritização) incipientes, não observáveis ao microscópio comum.

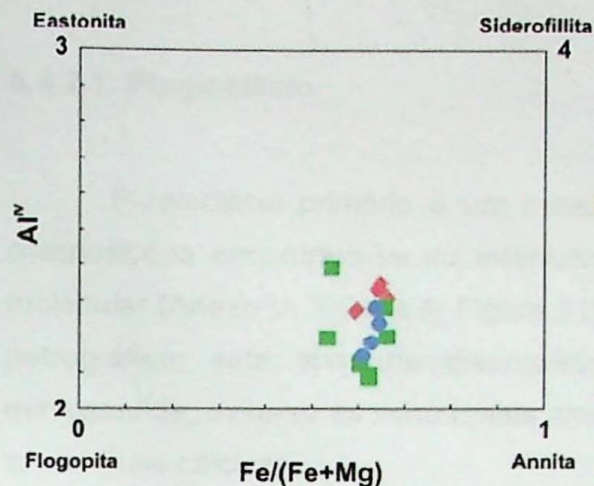


Figura 17: Diagrama catiônico Al^{IV} x $Fe/(Fe+Mg)$ para classificação da biotita nas rochas da associação aluminosa.

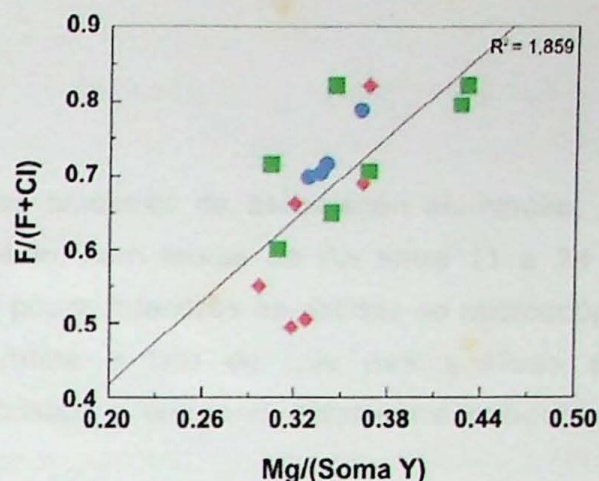


Figura 18: Diagrama $F/(F+Cl)$ x $Mg/(Soma Y)$ ilustrando a tendência do F em acompanhar o Mg nos cristais de biotita analisados.

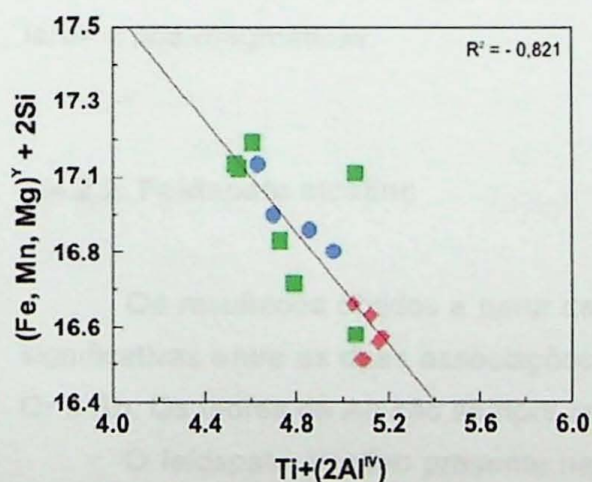


Figura 19: Diagrama mostrando a correlação entre as proporções catiônicas $(Fe, Mn, Mg)^Y + 2Si$ x $Ti + 2Al^{IV}$ para a biotita das rochas da associação aluminosa.

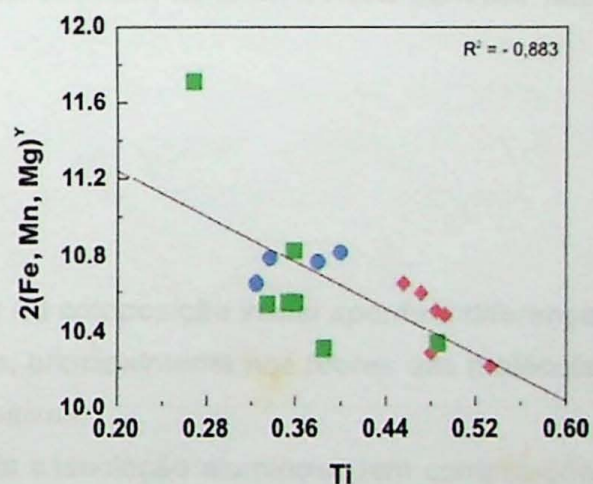


Figura 20: Diagrama mostrando a correlação entre as proporções catiônicas $2(Fe, Mn, Mg)^Y$ x Ti para a biotita das rochas da associação aluminosa.

6.4.2. Minerais Félsicos

6.4.2.1. Plagioclásio

Plagioclásio primário é um mineral típico das amostras da associação aluminosa. As composições encontram-se no intervalo do oligoclásio, com teores de An entre 11 e 24 % molecular (Anexo V, Tabela 4; Figura 21), e são um pouco inferiores às obtidas ao microscópio petrográfico; esta aparente discrepância talvez reflita o fato de que nas análises em microsonda, evita-se as zonas mais alteradas dos cristais e, em geral, estas correspondem às zonas mais cálcicas.

Um perfil analítico borda-núcleo para um cristal de plagioclásio dessa associação é apresentado na Figura 27. A variação composicional observada, com núcleos mais cálcicos, de An_{24} passando a bordas mais sódicas com An_{11} , é típica e caracteriza o zonamento primário de tipo normal (Anexo V, Prancha 2c; Figura 22) embora alguns cristais apresentem variações algo mais oscilatórias. No geral os teores de An para os núcleos cristalinos situam-se entre 18 e 24, diminuindo nas zonas intermediárias para 16 a 21 até as bordas, onde variam entre 12 e 15. Como mencionado na petrografia diversos cristais apresentam também bordas albíticas finas, tardi- a pós-magmáticas.

6.4.2.2. Feldspato alcalino

Os resultados obtidos a partir das estimativas da composição inicial apontam diferenças significativas entre as duas associações petrográficas, principalmente nos teores das moléculas Or e Ab. Os teores de An são sempre relativamente baixos.

O feldspato alcalino presente nas amostras da associação aluminosa tem composições que variam em um intervalo restrito (Or_{64-69}) ao longo do eixo Ab-Or, com diminuição nos teores de Or (66 – 70%) e aumento de Ab (29,3 – 33,6%) bem marcados do núcleo para as bordas cristalinas. Os teores de Or acima de 65% molecular são compatíveis com o caráter *subsolvus* destes granitos, em que feldspatos alcalinos coexistem com plagioclásio sódico (e.g., Gualda 2001).

Na amostra MR-18 ocorre albita ($An_{1,3}$) como cristais subédricos geminados, associados às bordas de plagioclásio (Figura 21, Anexo V, Tabela 5).

- Associação Alcalina

Na associação alcalina o feldspato alcalino apresenta composições (Or_{60-73}) que em parte se sobrepõem às da associação aluminosa, mas são algo mais ricos na molécula de albita (Ab_{36-40} ; associação aluminosa = Ab_{32-35}). Entretanto as tendências de variação química são contrárias, havendo aparentemente a diminuição de Ab (41,6 – 35,3%) e aumento de Or (58,4 – 64,7%) do núcleo em direção às bordas cristalinas (Figura 21; Anexo V, Tabela 5).

Os contrastes químicos, mais marcantes encontrados, entretanto, se referem às quantidades de CaO e BaO. Nas amostras da associação aluminosa, os teores de An e BaO embora baixos (0,2 – 1,2%) e ca. 0,32%, respectivamente, são muito maiores que os encontrados na associação alcalina (em geral abaixo do limite de detecção), fato que se reflete no caráter mais cálcico e rico em Ba das rochas hospedeiras, conforme descrito por Kaul (1997).

Na amostra MR-06, representativa dos álcali-feldspato granitos protomiloníticos, o feldspato alcalino possui teores menores da molécula albita (Ab_{27}), sendo menos pertítico do que o normalmente encontrado, com desenvolvimento de delgadas bordas pós-magmáticas de albita. Essas observações sugerem uma maior remoção da albita para as bordas cristalinas (Figura 26).

A albita que ocorre como cristais ripiformes em egirina e/ou zircão (Anexo II, Prancha 1d, e) ou ainda como cristais mais bem desenvolvidos, com aspecto de “manchas” na “matriz” é uma albita praticamente pura (Ab_{99}). Os teores de Or tendem a aumentar dos cristais inclusos em piroxênio ($Or_{0,3}$), para os cristais da “matriz” ($Or_{1,5}$). Teores de An não são detectáveis em nenhum caso.

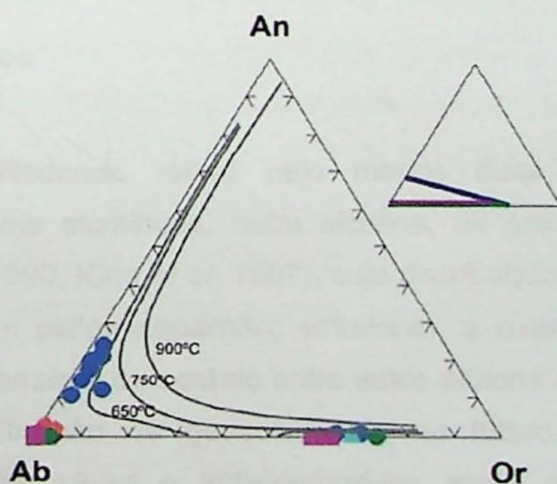


Figura 21: Diagrama ternário An-Ab-Or (proporções moleculares) com representação das composições de plagioclásio e feldspato alcalino das associações alcalina e aluminosa. As composições dos feldspatos alcalinos representam valores integrados de zonas de núcleo e borda dos cristais. As curvas de solvus representadas são para $pH_2O = 1$ Kbar (Fuhrman & Lindsley 1988; Deer *et al.* 2001). Linhas representadas no diagrama menor à direita unem fases coexistentes.

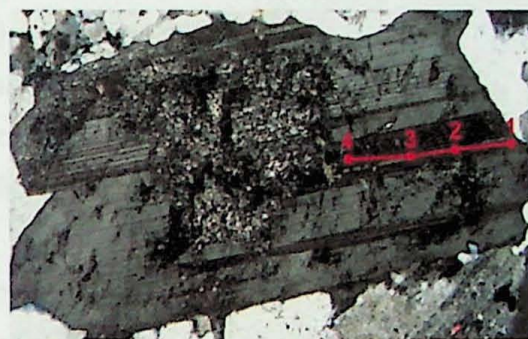
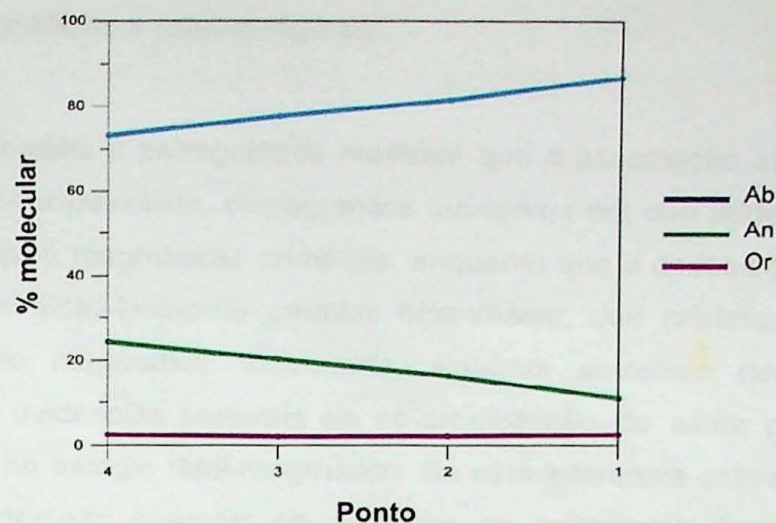


Figura 22: Perfil analítico quantitativo núcleo-borda de cristal de plagioclásio selecionado da associação aluminosa. Acima variações composicionais em termo das moléculas anortita (An), albite (Ab) e ortoclásio (Or). Abaixo imagem do cristal com polarizadores cruzados. Amostra MR19B.

7. Síntese final e conclusões

O Maciço Morro Redondo reúne pelo menos duas associações petrográficas contrastantes de rochas, uma aluminosa, outra alcalina, de granitos de tipo-A (Lameyre & Bowden 1982, Vlach *et al.* 1990, King *et al.* 1997), cuja distribuição em mapa geológico sugere que cada qual constitua um plúton separado; entretanto, a exemplo de outros maciços da província, as relações estruturais e de contato entre estes plútons ainda não são definidas, um tema que merece a mobilização de pesquisadores no futuro. Os dados obtidos nesta monografia permitem caracterizá-las e individualizá-las muito adequadamente pelas suas características petrográficas, mineralógicas e de suscetibilidades magnéticas.

Uma síntese geral, bem como algumas inferências que podem ser extraídas destes dados, é apresentada a seguir.

Contrastes petrográficos e mineralógicos

Os dados modais e petrográficos mostram que a associação aluminosa é formada por monzogranitos e, principalmente, sienogranitos *subsolvus* em que feldspato alcalino perítico e oligoclásio foram fases magmáticas primárias, enquanto que a associação alcalina é composta essencialmente por álcali-feldspato granitos *hipersolvus*, que cristalizaram apenas feldspato alcalino no estágio magmático. Entretanto, algumas amostras desta última associação apresentam fortes evidências texturais da co-precipitação de albita praticamente pura com egirina e/ou zircão no estágio tardi-magmático. Se esta inferência estiver correta, estas rochas representariam o primeiro exemplo na província da ocorrência descrita de álcali-feldspato granitos peralcalinos, *subsolvus*, com dois feldspatos alcalinos (um potássico-sódico, outro albita praticamente pura).

As relações texturais entre os minerais máficos e félsicos mostram também que as rochas da associação alcalina seguiram uma seqüência agpaítica de cristalização (e.g., Ulbrich, 1984), os minerais máficos principais iniciando sua cristalização sempre após o feldspato alcalino e o quartzo.

As paragêneses minerais encontradas são também muito distintas. A associação máfica primária biotita annítica +/- hornblenda + titanita +/- allanita + magnetita + ilmenita (+ apatita + zircão) das rochas da associação aluminosa é mais cálcica e caracteriza uma natureza moderadamente peraluminosa das rochas; enquanto que as paragêneses das rochas da associação alcalina são caracterizadas sempre pela presença de anfibólios e/ou piroxênios sódicos e ausência de allanita e magnetita como fases primárias, caracterizando rochas tipicamente peralcalinas. Estes contrastes se refletem também de forma bem clara quando são comparados os valores de suscetibilidades magnéticas, que em média são bem inferiores para as rochas peralcalinas (e.g., $2,7 \times 10^{-3}$ SI para as rochas da associação aluminosa e $0,17 \times 10^{-3}$ SI para a associação alcalina). Uma única exceção, de uma amostra com valores relativamente altos, deve refletir interação com as rochas encaixantes regionais. De forma geral, os granitos da série aluminosa podem ser classificados como da série com magnetita, de acordo com Ishihara (1979).

A comparação do quimismo dos minerais máficos ferro-magnesianos mostra que os valores mg# são sempre significativamente maiores no caso da associação aluminosa. A biotita e a hornblenda nestas rochas tendem a ser relativamente homogêneas composicionalmente, diferentemente da egirina e da arfvedsonita da associação alcalina que apresentam trajetórias evolutivas melhor marcadas, relacionadas ao progressivo enriquecimento em Na e Fe^{3+} e empobrecimento em Ca e Fe^{2+} . Esta trajetória é típica das variações composicionais núcleo-

borda da egrina e mais complexa no caso dos anfíbólios; mas mesmo neste caso, as evidências texturais indicam que os anfíbólios mais sódicos (e com pleocroísmo mais forte) são em geral mais tardios.

Vale também a pena destacar que o anfibólio sódico presente nas variedades protomiloníticas tende a ser mais peralcalino ($\text{Na}+\text{K}/\text{Al} = 9,82$) que o encontrado nas variedades equi-inequigranulares ($\text{Na}+\text{K}/\text{Al} = 4,35$), bem como que ele apresenta-se, em geral, manteado por cristais de egrina tipicamente de coloração mais clara do que os cristais primários. Tais observações sugerem a infiltração e/ou remobilização de fluidos mais sódicos, associados à deformação imposta nessas rochas (?), afetando a composição da arfvedsonita e favorecendo a cristalização de egrina mais clara (e.g., Grapes *et al.* 1979).

Uma característica marcante na província é também a ocorrência de diversos minerais raros, a maioria ainda não descritos nas rochas peralcalinas, em especial, nas fácies petrográficas mais deformadas, como narsarsukita [$\text{Na}_2(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+})\text{Si}_4(\text{O}, \text{F})_{11}$], enigmatita [$\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_5\text{TiSi}_6\text{O}_{20}$], neptunita [$\text{KNa}_2\text{Li}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}$], astrofilita [$(\text{K}, \text{Na})_3(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_7\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_7$], britholita [$(\text{Y}, \text{Ca})_5(\text{SiO}_4, \text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F})$] e zirconossilicatos de Na. A presença de narsarsukita, de britholita ao invés de apatita e de zirconossilicatos de Na ao invés de zircão, indica claramente magmas residuais relativamente ricos em Na e Ti, portanto mais fortemente peralcalinos, e elementos terras raras leves.

Parâmetros intensivos de cristalização

Pressão

As evidências geológicas e petrográficas descritas, aliadas às informações disponíveis para outros maciços da província (e.g., Kaul 1997; Gualda 2001, Garin 2002), indicam que o Maciço Morro Redondo se colocou em condições crustais relativamente rasas. Citam-se por exemplo, a associação com o magmatismo vulcânico de caráter bi-modal aparentemente contemporâneo (Góis 1995), a presença de estruturas miarolíticas, particularmente nas rochas peralcalinas, de cristais relativamente grandes e globulares de quartzo e as texturas micrográficas e semi-gráficas, comuns às duas associações.

A presença da paragênese biotita + homblenda + titanita + óxido de Fe-Ti (+ quartzo + feldspato alcalino + plagioclásio) nos granitos da associação aluminosa permite a aplicação do geobarômetro Al-em-homblenda (Anderson 1996, Anderson & Smith 1995). De fato, nessas rochas a entrada de Al em anfibólio através da substituição tschermakítica (Figura 16b) é favorecida pelo aumento da pressão.

Embora a composição do plagioclásio (An_{11-24}) nas amostras analisadas seja um pouco mais albítica quando comparada aos valores sugeridos por Anderson & Smith (1995), os resultados obtidos, entre 0,6 e 1,1 kbar ($\pm 0,6$) kbar (correção para o efeito de T e fO_2 de Anderson & Smith 1995, cf. Figura 23), a par do erro proporcionalmente elevado, são bastante razoáveis e estão de acordo com as evidências geológicas e petrográficas de colocação rasa dessas rochas. Deve ser destacado, entretanto, que de acordo com estes autores, a aplicação deste geobarômetro nos casos que a hornblenda coexiste com plagioclásio algo mais sódico, causaria alguma diminuição das pressões estimadas, uma vez que os conteúdos de Al^T na hornblenda seriam pouco menores.

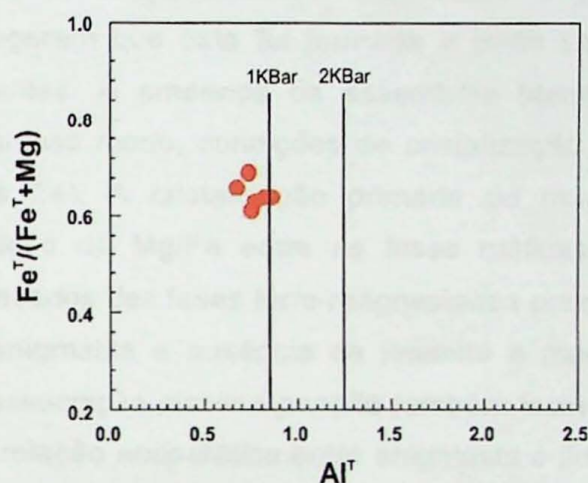
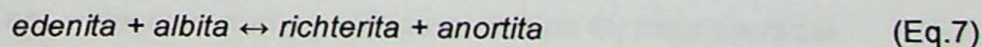


Figura 23: Diagrama $Fe^2/(Fe^2+Mg) \times Al^I$ (Anderson & Smith 1995) ilustrando possível intervalo de pressão de cristalização de anfibólios nos biotita granitos da associação aluminosa.

Temperatura

A exemplo da pressão, com os dados disponíveis, avaliações de temperaturas de cristalização somente podem ser efetuadas para as rochas da associação aluminosa. Para tal foi utilizado o geotermômetro plagioclásio – hornblenda de Holland e Blundy (1994), com correções para o efeito da pressão e fO_2 de acordo com Anderson & Smith (1995) e calibrado com base na reação de equilíbrio, adequada para sistemas tanto super como subsaturados em sílica e equilibrada experimentalmente:



Os resultados obtidos para três pares hornblenda-plagioclásio apontam para um intervalo entre 605-625° (± 50) °C. A julgar pelas temperaturas de *liquidus* derivadas a partir dos conceitos de saturação Zr e P para rochas similares de outros maciços da província (Gualda

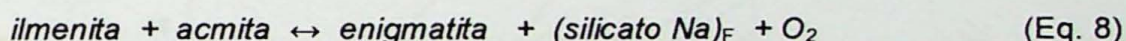
2001) que se situam no intervalo entre 800-900° e de informações experimentais (Johannes & Holtz 1996, King *et al.* 1997), os resultados podem ser considerados compatíveis para os estágios finais de cristalização magmática.

Condições Redox

Os dados mineralógicos e de suscetibilidades magnéticas apresentados permitem tecer alguns comentários qualitativos que permitem contrastar as diferentes associações em termos de fugacidade de O₂ (*f*O₂) da cristalização.

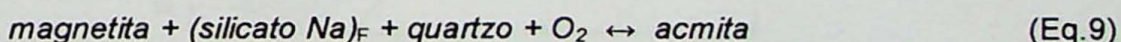
Comparativamente, as suscetibilidades magnéticas e as paragêneses máficas da associação aluminosa sugerem que esta foi formada a partir da cristalização em ambientes relativamente mais oxidantes. A presença da assembléia titanita + magnetita + quartzo + hornblenda caracteriza, grosso modo, condições de cristalização próximas ao tampão TMQAI (Wones 1989, cf. Figura 24). A cristalização primária de magnetita nestas rochas afeta significativamente a partição de Mg/Fe entre as fases máficas e justifica os valores *mg#* sistematicamente mais elevados das fases ferro-magnesianas presentes nestas rochas.

A ocorrência de enigmatita e ausência de ilmenita e magnetita no caso de algumas amostras das rochas da associação alcalina permite também tecer algumas considerações. Em ambientes peralcalinos a relação *antipatética* entre enigmatita e ilmenita pode ser representada pelas seguintes reações (Nicholls & Carmichael 1969):



que mostra que a cristalização de enigmatita é favorecida em ambientes mais redutores, ou seja com pressões parciais de O₂ menores, relativamente à ilmenita.

A ausência de magnetita em ambientes peralcalinos, por sua vez, seria justificada, segundo os mesmos autores, por uma reação do tipo:



que mostra que a cristalização de egiirina, rica na molécula de acmita, seria priorizada, relativamente à magnetita, em ambientes com pressões parciais de O₂ mais elevadas.

A combinação destas reações resulta em enigmatita, piroxênio sódico e quartzo em equilíbrio com um líquido sódico, peralcalino. Estas reações podem ser representadas em diagramas que relacionam *f*O₂ e temperatura (cf. Nicholls & Carmichael 1969, Carmichael *et al.* 1974), como representado na Figura 24. O campo por elas delimitado representa as condições

de fugacidade de O_2 e temperatura em que coexistem enigmatita + egrina + quartzo e estão ausentes os óxidos de Fe e Ti (*non-oxide field*).

As paragéneses minerais encontradas nas amostras da associação alcalina de Morro Redondo mostram que algumas contêm apenas enigmatita e nenhum óxido de Fe e Ti, enquanto as que apresentam ilmenita primária em geral não mostram enigmatita, sugerindo que as condições de cristalização dos respectivos magmas estiveram mais próximas àquelas definidas pela reação da Eq. 9. A presença comum de arfvedsonita sugere também que as temperaturas de cristalização não foram muito superiores a ca. 700° C em condições de fugacidade de O_2 equivalentes às do tampão MW e ainda menores para condições mais oxidantes, com elevadas pressões de voláteis (e.g., Grapes *et al.* 1979, Ulbrich 1983).

No caso específico da amostra MR-10, coletada junto aos contatos externos do maciço, com valores anormalmente elevados de suscetibilidades magnéticas, a presença de magnetita tardi a pós-magmática, além de ilmenita e egrina, as condições foram mais oxidantes, com fO_2 delimitadas entre os tampões HM e QFM (Figura 24, ver também Platt & Woolley 1986, Njonfang & Nono 2003).

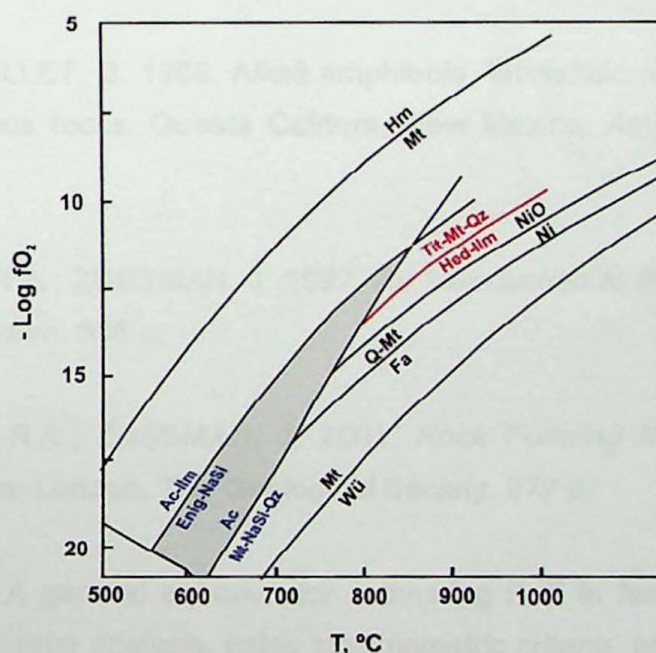


Figura 24: Diagrama – log fO_2 x T °C mostrando a estabilidade de várias assembléias minerais. Campo em destaque corresponde ao “campo-não-óxido” de Nicholls & Carmichael (1969). Em vermelho o tampão TMQAI aproximado (Wones 1989).

8. Referências Bibliográficas

- ANDERSON, J.L. 1996. Status of thermobarometry in granitic batholiths. *Transactions of the Royal Society of Edimburgh (Earth Sciences)*, 87: 125-138.
- ANDERSON, J.L.; SMITH, D.R. 1995. The effect of temperature and oxygen fugacity on Al-in-hornblend barometry. *American Mineralogist*, 80: 549-559.
- BASEI, M.A.S; SIGA JR., O.; MACHIAVELLI, A.; MANCINI, F. 1992. Evolução tectônica dos terrenos entre os Cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). *Revista Brasileira de Geociências*, 22(2): 216-221.
- BEA, F. 1996. Controls on the trace element composition of crustal melts. *Transactions of the Royal Society of Edimburgh (Earth Sciences)*, 87: 33-41.
- CARMICHAEL, I.S.E.; TURNER, F.J.; VERHOOGEN, J. 1974. *Igneous Petrology*. 1 ed. New York, McGraw Hill. 739 p.
- CZAMANSKE, G.K.; DILLET, B. 1988. Alkali amphibole, tetrasilicic mica and sodic pyroxene in peralkaline siliceous rocks, Questa Caldera, New Mexico. *American Journal of Science*, 288(A): 358-392.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 1992. *An Introduction to the rock-forming minerals*. 2 ed. London, Longman. 696 p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 2001. *Rock Forming Minerals V 4a: Framework silicates: Feldspars*. London, The Geological Society. 972 p.
- DROOP, G.T.R. 1987. A general equation for estimating Fe^{3+} in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, 51: 431-437.
- DYMEK, R.F. 1983. Titanium, aluminium and interlayer substitutions in biotite from high-grade gneisses, West Greenland. *American Mineralogist*, 68: 880-899.

- EBY, W.A. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, **20**: 641-644.
- EVANS, O.C. & HANSON, G.N. 1993. Accessory-mineral fractionation of rare-earth element (REE) abundances in granitoid rocks. *Chemical Geology*, **110**: 69-93.
- FUHRMAN, M.L. & LINDSLEY, D.H. 1988. Ternary-feldspar modeling and thermometry. *American Mineralogist*, **73**: 201-215.
- GARIN, Y. 2002. *Mineralogia e petrologia da associação alcalina de sienitos e granitos de Tipo-A do Maciço Corupá (SC)*. Dissertação de Mestrado, IGc-USP. Inédita. 168p.
- GÓIS, J.R. de. 1995. *Contribuição à petrografia e geoquímica da parte setentrional do complexo vulcano-plutônico Morro Redondo, divisa do Paraná com Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado. IGc-USP. Inédita. 86p.
- GÓIS, J.R. & MACHADO, R. 1992. Sobre a ocorrência de uma nova suíte vulcânica-subvulcânica no eopaleozóico no Estado do Paraná. In: WORKSHOP. SOBRE AS BACIAS MOLASSICAS BRASILIANAS, 1. São Leopoldo, 1992. *Boletim Especial*. São Leopoldo, DG-UNISINOS. V. 1, p. 54-56.
- GRAPES, R.; YAGI, K.; OKUMURA, K. 1979. Aenigmatite, sodic pyroxene, arfvedsonite and associated minerals in syenites from Morotu, Sakhalin. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **69**: 97-103.
- GUALDA, G.A.R. 2001. *Evolução petrográfica e mineralógica das associações alcalina e aluminosa dos granitos Tipo-A da Graciosa, PR*. Dissertação de Mestrado, IGc-USP. Inédita.
- GOLDSTEIN, J.L.; NEWBURY, D.E.; ECHILIN, P.; JOY, D.C.; ROMIG JR., A.D.; LYAMAN, C.E.; FIORI, C.; LIFSHIN, E. 1992. *Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. A text for biologists, materials scientists and geologists*. 2 ed. New York, Plenum Press. 820p.
- HOGAN, M.C.; GILBERT, M.C.; WEAVER, B.L. 1992. A-type granites and rhyolites: is A for Ambiguous? *EOS*, **73**: 508.

- HOLLAND, Y.; BLUNDY, J. 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **116**: 433-447.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, **5**: 257-266.
- IBHI, A. & NACHIT, H. 2000. The substitution mechanism of Ba and Ti into phyllosilicate phases: the example of barium-titanium biotite. *Annales de Chimie Science des Matériaux*, **25**: 627-634.
- ISHIHARA, S. 1979. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, **27**: 293-305.
- JOHANNES, W. & HOLTZ, F. 1996. *Petrogenesis and Experimental Petrology of Granitic Rocks*. Berlin, Springer-Verlag. 335 p.
- KAUL, P.F.T. 1984. Significado dos granitos anorogênicos da suíte intrusiva Serra do Mar na evolução da crosta no sul-sudeste do Brasil, no âmbito das folhas SG.22-Curitiba e SG.23-Iguape. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. *Anais...Rio de Janeiro*, SBG. V. 6, p. 2815-2825.
- KAUL, P.F.T. 1997. *O magmatismo na Serra do Mar e adjacências (Sul do Brasil) no final do Neoproterozóico e seus condicionantes tectônicos*. Tese de Doutorado. IGc-USP. Inédita. 293p.
- KAUL, P.F.T. & CORDANI, U.G. 2000. Geochemistry of the Serra do Mar granitoid magmatism and tectonic implications, southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(1): 115-119.
- KING, P.L.; WHITE, A.J.R.; CHAPPEL, B.W.; ALLEN, C.M. 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachland fold belt, southeastern Australia. *Journal of Petrology*, **38**(3): 371-391.
- LAMEYRE, J. & BOWDEN, P. 1982. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **14**: 169-189.

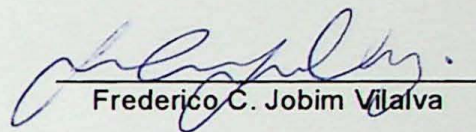
- LE MAITRE, R.W. ed. 2002. *Igneous Rocks: a classification and glossary of terms*. 2 ed. Cambridge, Cambridge University Press. 236 p.
- LEAKE, B.E.; WOOLEY, A.R.; ARPS, C.E.S.; BIRCH, W.D.; GILBERT, M.C.; GRICE, J.D.; HAWTHORNE F.C.; KATO, A.; KISCH, H.J.; KRIVOVICHEV, V.G.; LINTHOUT K.; LAIRD, J.; MANDARINO, J.A.; MARESCH, W.V.; NICKEL, E.H.; ROCK, N.M.S.; SCHUMACHER, J.C.; SMITH, D.C.; STEPHENSON, N.C.N.; UNGARETTI, L.; WHITTAKER, E.J.W.; YOUZHI, G. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of The International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **61**: 295-321.
- LOISELLE, M.C. & WONES, D.R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geological Society of America Abstract*, **11**: 468.
- MUNOZ, J.L. 1984. F-OH and Cl-OH exchange in micas with applications to hydrothermal ore deposits. In: BAILEY, S.W. ed. *Reviews in Mineralogy*, V. 13: *Micas*. Washington, Mineralogical Society of America. p.469-491.
- MACHADO, R.; GÓIS, J.R. de; PLÁ CID, J.; CONCEIÇÃO, H. 1993. Maciço alcalino de Morro Redondo (Paraná): abordagem petrográfica das fácies vulcânica e plutônica. In: *Reunião Anual da SBPC*, 45. Recife, 1993. *Atas...* Recife, SBPC. V.1, 632 p.
- MACKENZIE, W.S.; DONALDSON, C.H.; GUILFORD, C. 1995. *Atlas of igneous rocks and their textures*. Harlow, Longman. 148 p.
- MORIMOTO, N. 1990. Nomenclatura de piroxênios. Tradução do original em ingles Nomenclature of pyroxenes, realizada com a permissão do IMA por GARDA, G.M. & ATÊNCIO, D. *Revista Brasileira de Geociências*, **20 (1-4)**: 318-328.
- NEILSON, M.J.; BROCKMAN, G.F. 1977. The error associated with point counting. *American Mineralogist*, **62**: 1238-1244.
- NEUMANN, E.-R. 1976. Compositional relations among pyroxenes, amphiboles and other mafic phases in the Oslo Region plutonic rocks. *Lithos*, **9**: 85-109.

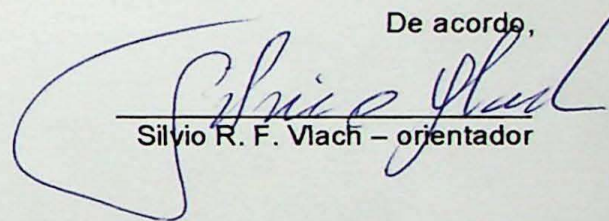
- NICHOLLS, J. & CARMICHAEL, I.S.E. 1969. Peralkaline acid liquids: a petrological study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **20**: 268-294.
- NJONFANG, E. & NONO, A. 2003. Clinopyroxene from some felsic alkaline rocks of the Cameroon Line, central África: petrological implications. *European Journal of Mineralogy*, **15**: 527-542.
- 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*, **58**: 63-81.
- PLATT, R.G.; WOOLLEY, A.R. 1986. The mafic mineralogy of the peralkaline syenites and granites of the Mulanje complex, Malawi. *Mineralogical Magazine*, **50**: 85-99.
- RICHARD, L.R. 1995. *Minpet Software. Mineralogical and Petrological data processing system*. Versão 2.02. Copyright (1988-1995).
- SIGA JR., O. 1995. *Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e evolução crustal*. Tese de doutoramento. IGc-USP. Inédita. 212 p.
- SIGA JR., O.; BASEI, M.A.S.; REIS NETO, J.M. dos, BUBA, R.M. 1994. Maciços graníticos da porção sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e implicações tectônicas. In: CONGR. BRAS. GEOL., 38. Camboriú, 1994. *Boletim de Resumos Expandidos*. Florianópolis, SBG. V. 2, p. 400-401.
- SMITH, J.V. 1974. *Feldspars minerals: crystal structure physical properties*. 1 ed. Berlin, Springer Verlag, v.1. 627 p.
- STRECKEISEN, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, **12**: 1-33.
- ULBRICH, H.H.G.J. 1984. *O quimismo, a estrutura e a petrografia de nefelina sienitos do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP*. Tese de doutoramento, IGc-USP. Inédita. 700 p.
- ULBRICH, M.N.C. 1983. *Aspectos mineralógicos e petrológicos de nefelina sienitos do Maciço Alcalino de Poços de Caldas, MG-SP*. Tese de doutoramento, IGc-USP. Inédita. 369 p.

VLACH, S.R.F.; JANASI, V.A.; ULBRICH, H.H.G.J. 1996. Ages and typology of the Brasiliano granitic magmatism close to the Proterozoic-Phanerozoic boundary, States of São Paulo and Paraná, SE Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68**: 597-598.

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: CONGR. BRAS. GEOL., 36. Natal, 1990. *Anais... Natal, SBG*. V. 4, p. 1700-1711.

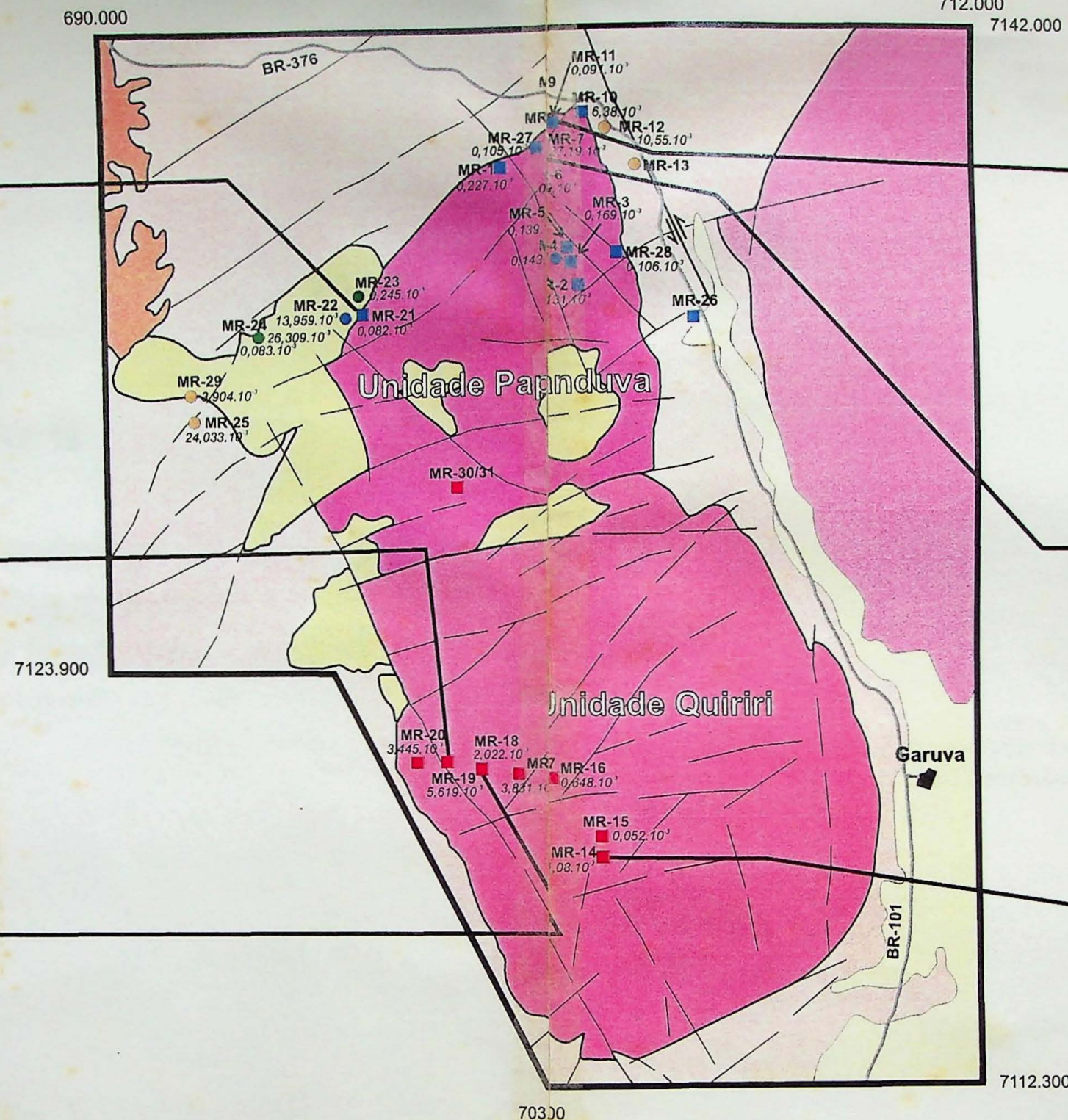
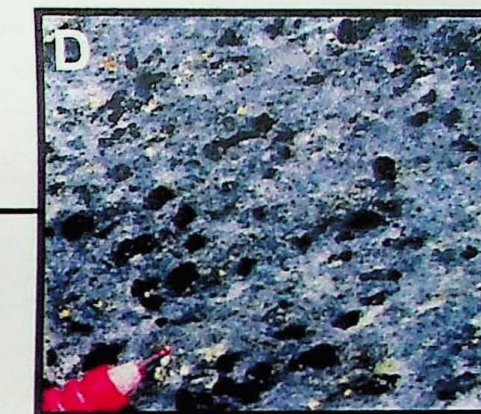
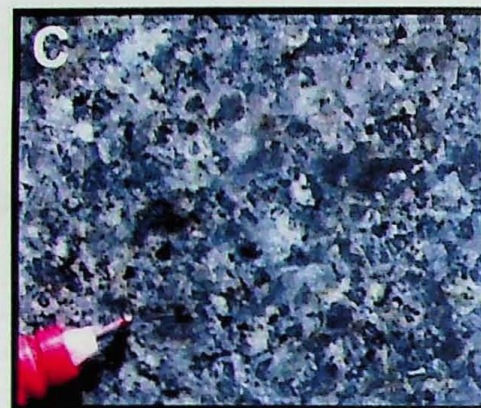
WONES, D.R. 1989 Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *American Mineralogist*, **74**: 744-749.


Frederico C. Jobim Vilalva

De acordo,

Silvio R. F. Vlach – orientador

Anexo I

*Mapa geológico, de pontos e prancha de fotos
macroscópicas do Maciço Morro Redondo*



Unidades Geológicas (extraído de Kaul 1997; Siga Jr. 1995)

Holoceno

Sedimentos Alúvio-Coluvionares

Pleistoceno

Formação Guabirotuba

Neoproterozóico

1 Maciço Morro Redondo
2 Unidade Papanduva (1)
Unidade Quiriri (2)

Granito Estrela: leucogranito cálcio-alcalino,
tardi a pós orogênico (Cinturão Móvel Paranaíba)

Gnaisses granulíticos com corpos ultramáficos, quartzitos,
formações ferríferas e paragneisses

Estruturas

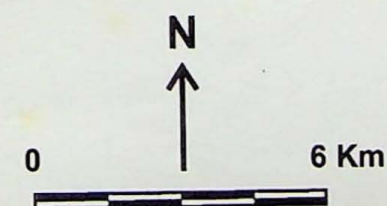
— Contato definido
— Falha transcorrente
— Falha e/ou fratura definida
— Falha e/ou fratura inferida

Convenções

— Rodovias principais
— Cidade
— Pontos com seções delgadas e/ou delgado-polias
— Pontos sem seções delgadas e/ou delgado-polias

MR-14 Identificação do ponto

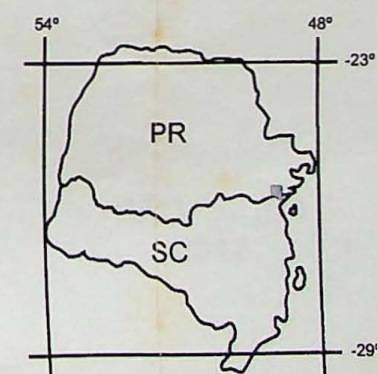
1,08.10³ Valor médio (SI) da SM no ponto



Simbologia dos pontos visitados

● Rochas do embasamento
● Rochas vulcânicas ácidas e/ou básicas
■ Rochas graníticas da associação alcalina
■ Rochas graníticas da associação aluminosa

Localização da área e articulação das folhas topográficas

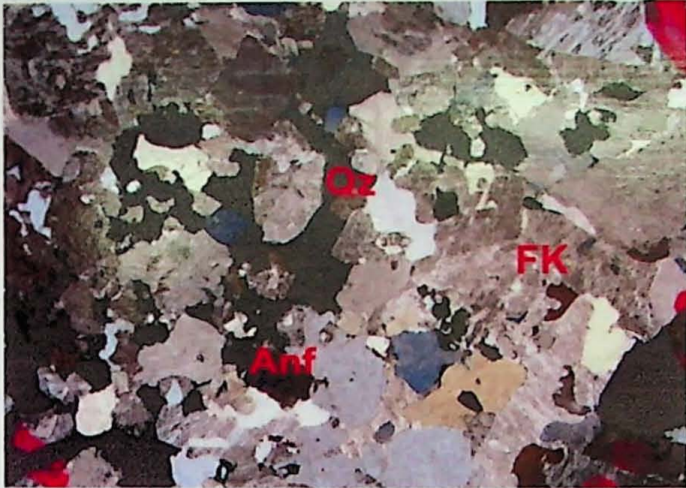


Tijucas do Sul MI - 2857-4	Pedra Branca do Araraquara MI - 2858-3
São Miguel MI - 2859-2	Garuva MI - 2870-1

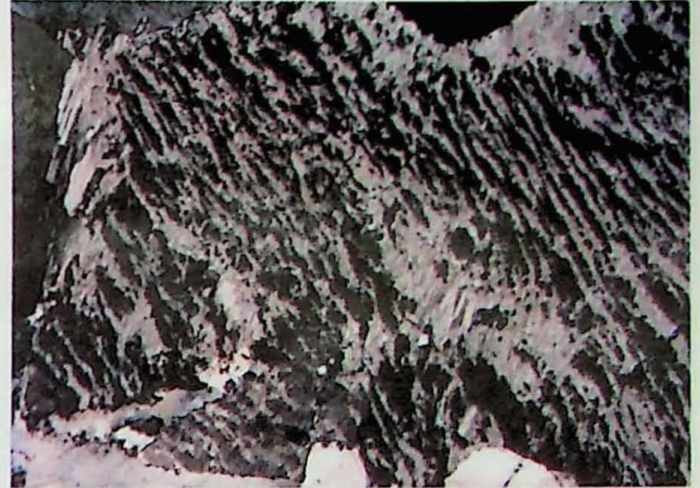
Anexo II

*Pranchas de fotos microscópicas de amostras
das associações alcalina e aluminosa do
Maciço Morro Redondo*

Prancha 1



(a) Aspecto textural geral dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares de granulação média a grossa. Quartzo (Qz), feldspato potássico (FK) e anfibólio/piroxênio intersticial (Anf). Amostra MR-01C, polarizadores parcialmente cruzados. Lado maior da foto 8,38 mm.



(b) Cristal de feldspato potássico mesopertítico com lamelas do tipo "strings" e "patch" (manchas maiores) dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Amostra MR-10, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 3,27 mm.



(c) Cristal de egirina apresentando intercrescimento com albita ripiforme (destaque), além de inclusões de magnetita e ilmenita (parte central) dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Amostra MR-01A, polarizador inferior. Lado maior da foto 1,31 mm.



(d) Cristal de zircão apresentando intercrescimento com albita ripiforme (destaque) dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Notar cristais alaranjados de astrofilita na parte superior da foto. Amostra MR-01A, polarizador inferior. Lado maior da foto 1,31 mm.

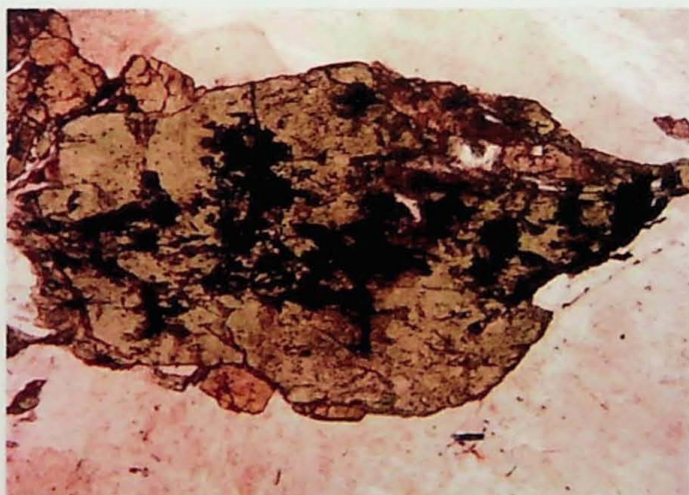
Prancha 1



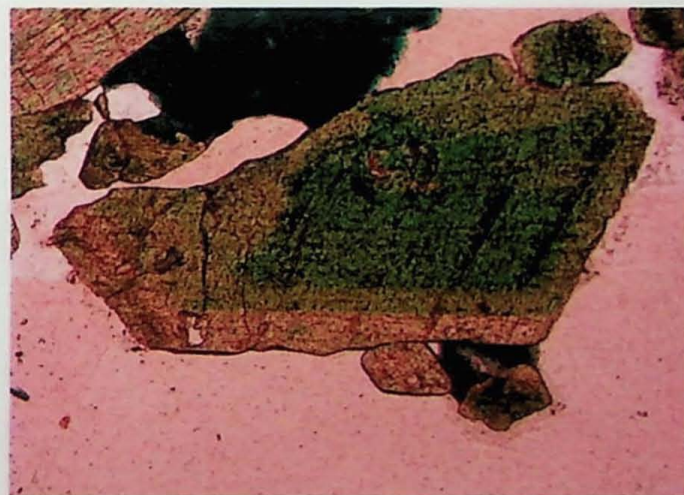
(e) Detalhe de bordas de albita pós-magmáticas do tipo "swapped rims" ao longo do contato entre 2 cristais de feldspato potássico dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Amostra MR-01A, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 2,05 mm.



(f) Aspecto de textura micrográfica entre quartzo (Qz) e feldspato potássico (FK) dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Amostra MR-01C, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 3,27 mm.

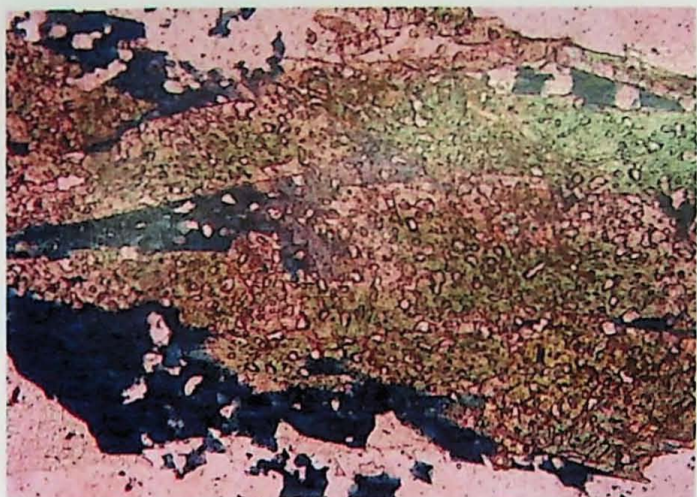


(g) Cristal de egirina verde-clara, levemente rosada, com inclusões de magnetita e ilmenita dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Amostra MR-11B, polarizador inferior. Lado maior da foto 1,64 mm.

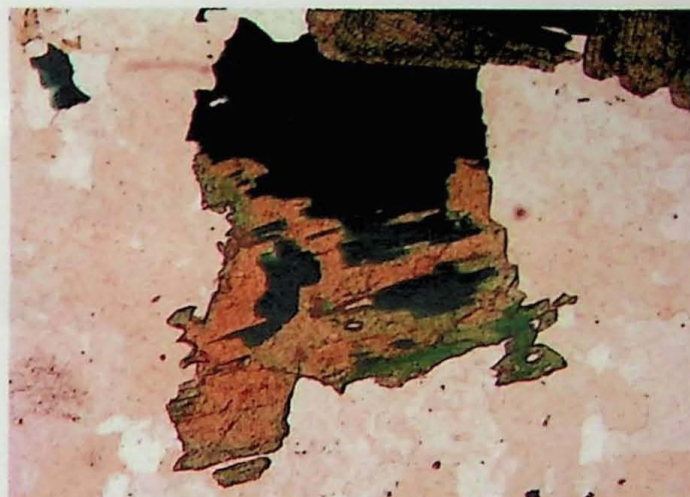


(h) Cristal de egirina composicionalmente zonada, apresentando borda mais clara que o núcleo mais esverdeado dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Amostra MR-26, polarizador inferior. Lado maior da foto 1,31 mm.

Prancha 1



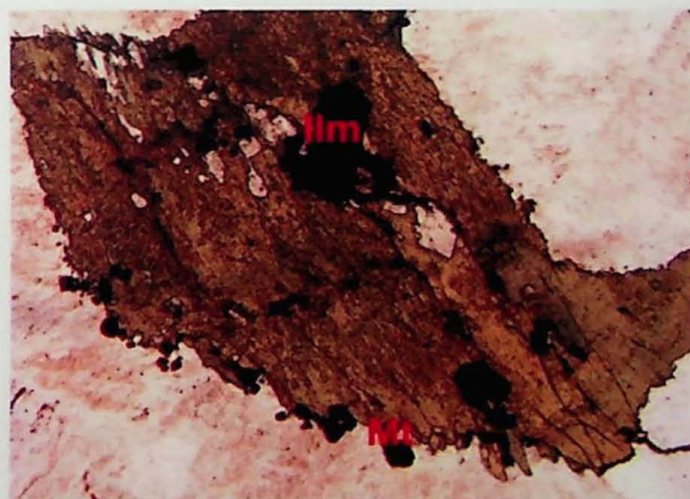
(i) Cristal poiquilítico de egrina parcialmente substituído por anfibólio sódico (azul escuro) dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Inclusões são de fluorita. Amostra MR-27, polarizador inferior. Lado maior da foto 0,65 mm.



(j) Cristal de egrina verde-alaranjada sendo parcialmente substituída por anfibólio sódico (azul escuro); dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Amostra MR-26, polarizador inferior. Lado maior da foto 3,27 mm.



(k) Cristal de egrina (**Cpx**) parcialmente substituída por anfibólio sódico, com cristais de astofilita (**Ast**) associados; dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Notar inclusões da egrina mais clara na parte superior direita da foto (em destaque). Amostra MR-01A, polarizador inferior. Lado maior da foto 3,27 mm.



(l) Cristal de anfibólio sódico com cristais euédricos diminutos de magnetita (**Mt**) associados à borda e inclusos, juntamente com ilmenita (**Ilm**); dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Inclusões claras são de fluorita. Amostra MR-10, polarizador inferior. Lado maior da foto 2,05 mm.

Prancha 1



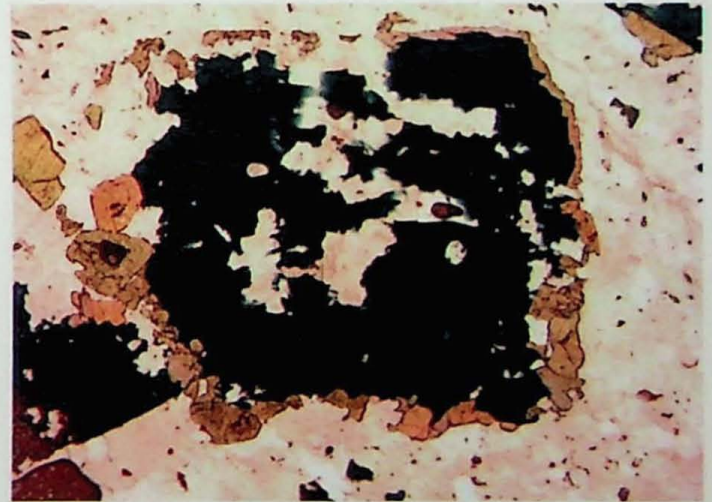
(m) Cristais euédricos zonados de um silicato de Na-Zr (cor de interferência cinza médio a escuro, relevo alto) dos álcali-feldspato granitos equi-inequigranulares. Amostra MR-26, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 0,65 mm.



(n) Aspecto textural dos álcali-feldspato granitos protomiloníticos com porfiroclastos de feldspato potássico (FK) e anfibólio sódico (Anf) manteado por egrina nas bordas e envoltos por matriz de quartzo recristalizado (Qz). Amostra MR-03, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 6,55 mm.

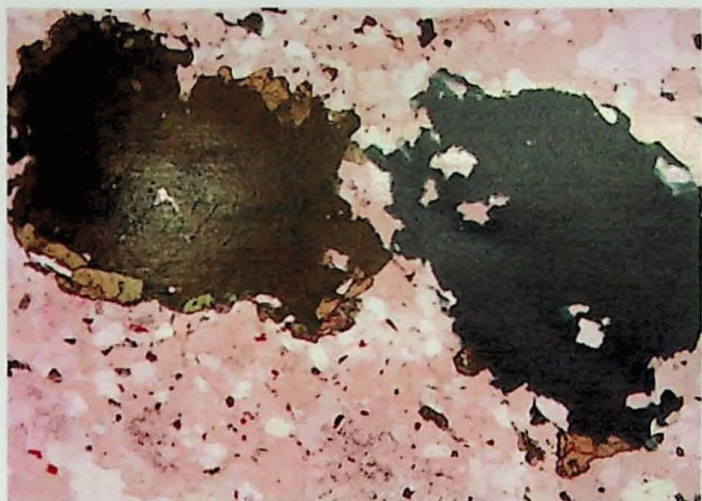


(o) Agregado de cristais de egrina, alguns zonados com bordas mais claras, alaranjadas e núcleos esverdeados dos álcali-feldspato granitos protomiloníticos. Amostra MR-06, polarizador inferior. Lado maior da foto 2,05 mm.

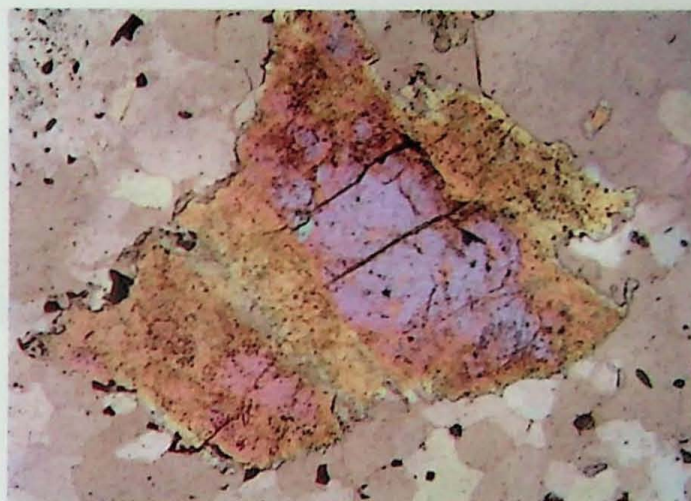


(p) Porfiroclasto de anfibólio sódico (azul-escuro) sendo manteado, ao longo de sua borda, por egrina verde-alaranjada; dos álcali-feldspato granitos protomiloníticos. Amostra MR-03, polarizador inferior. Lado maior da foto 2,62 mm.

Prancha 1



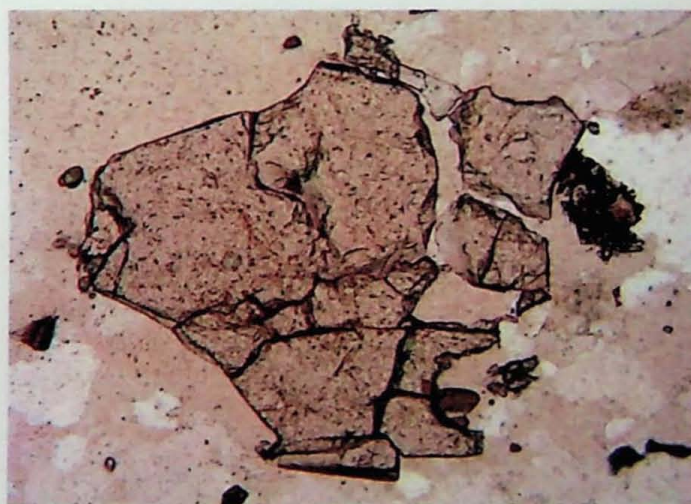
(q) Dois porfiroclastos de anfibólio sódico parcialmente manteados por egirina verde-alaranjada nas bordas; nos álcali-feldspato granitos protomiloníticos. Amostra MR-05, polarizador inferior. Lado maior da foto 2,05 mm.



(r) Cristal anédrico de narssarsukita zonada apresentando núcleo mais límpido e bordas mais ricas em inclusões de silicatos de Na-Zr, dos álcali-feldspato granitos protomiloníticos. Amostra MR-02A, polarizadores parcialmente cruzados. Lado maior da foto 1,64 mm.

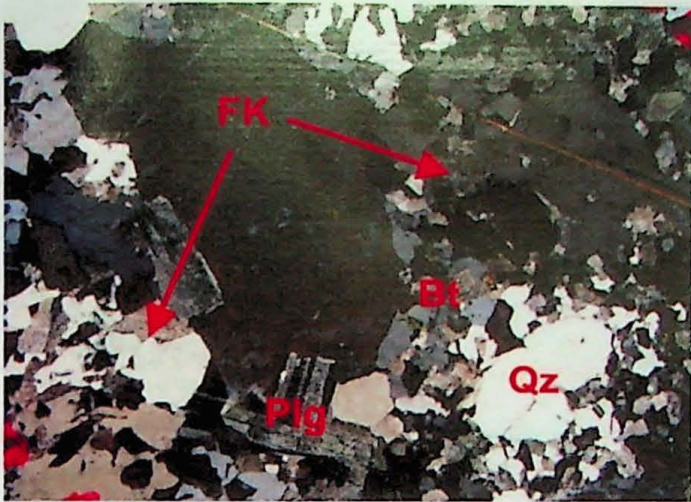


(s) Cristal subédrico laranja-avermelhado de neptunita dos álcali-feldspato granitos protomiloníticos. Notar inclusão de zircão. Amostra MR-06, polarizador inferior. Lado maior da foto 0,65 mm.



(t) Cristal subédrico de britholita, com relevo alto dos álcali-feldspato granitos protomiloníticos. Amostra MR-03, polarizador inferior. Lado maior da foto 0,83 mm.

Prancha 2



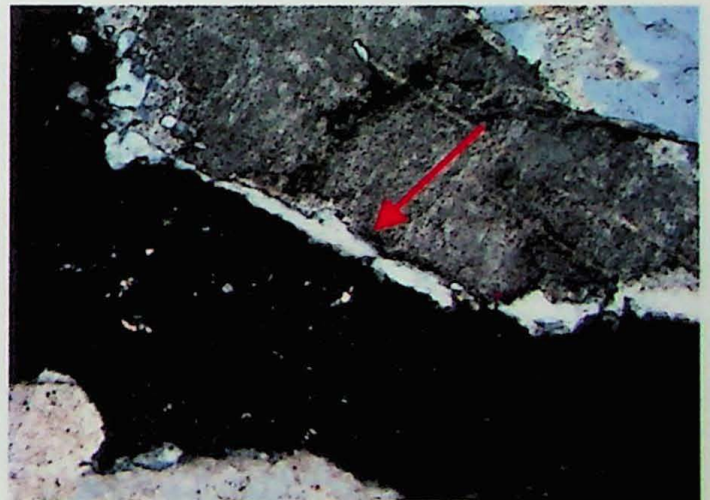
(a) Aspecto textural dos biotita granitos porfiríticos com megacristais de feldspato potássico (FK) em matriz de quartzo (Qz) plagioclásio (Plg), alguma biotita (Bt) e feldspato potássico. Amostra MR-18, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 6,55 mm.



(b) Cristal euédrico de feldspato alcalino apresentando textura do tipo "chessboard" bem desenvolvida dos biotita granitos porfiríticos. Amostra MR-14, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 3,27 mm.

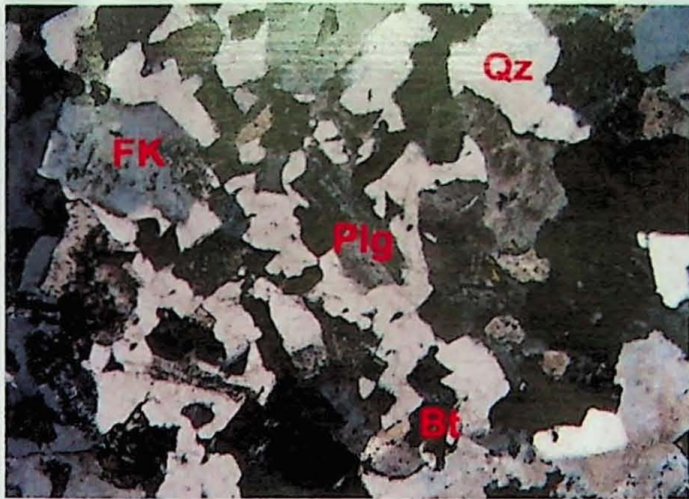


(c) Aspecto textural dos biotita granitos inequigranulares, com cristal maior de feldspato alcalino (FK), plagioclásio (Plg), quartzo (Qz) e biotita (Bt). Amostra MR-30, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 5,24 mm.

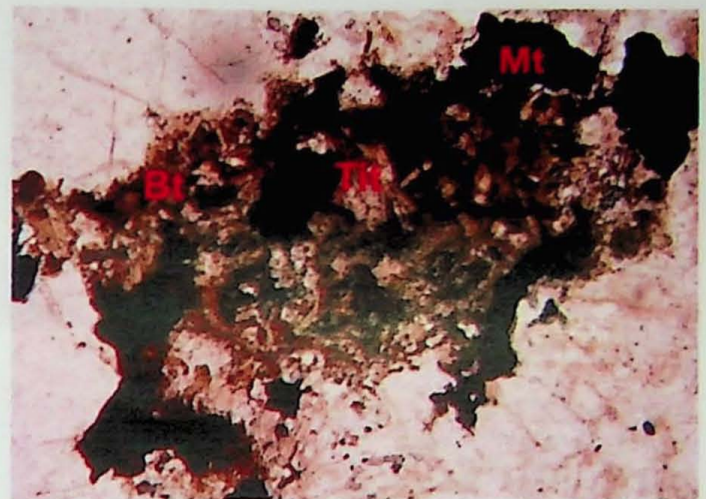


(d) Desenvolvimento de bordas de albita tardia ao longo do contato entre dois cristais de feldspato alcalino dos biotita granitos inequigranulares (destaque). Amostra MR-30, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 1,31 mm.

Prancha 2



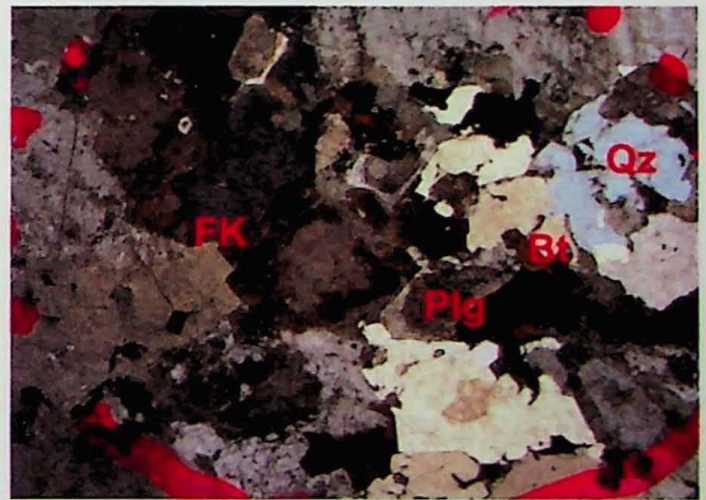
(e) Detalhe de cristal de quartzo poiquilítico (Qz) envolvendo plagioclásio (Plg), feldspato alcalino (FK) e alguma biotita (Bt) dos biotita granitos inequigranulares. Amostra MR-15B, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 1,05 mm.



(f) Aglomerado de placas castanho-esverdeadas de biotita (Bt) magnetita (Mt) e titanita (Tit) dos biotita granitos inequigranulares. Amostra MR-31, polarizador inferior. Lado maior da foto 1,64 mm.



(g) Cristal prismático de anfibólio esverdeado parcialmente substituído por fluorita, dos biotita granitos inequigranulares. Amostra MR-15A, polarizador inferior. Lado maior da foto 0,65 mm.



(h) Aspecto textural dos biotita granitos equigranulares, com cristais de feldspato potássico zonado (FK), plagioclásio também zonado (Plg), quartzo (Qz) e biotita (Bt). Amostra MR-19A, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 8,38 mm.

Prancha 2



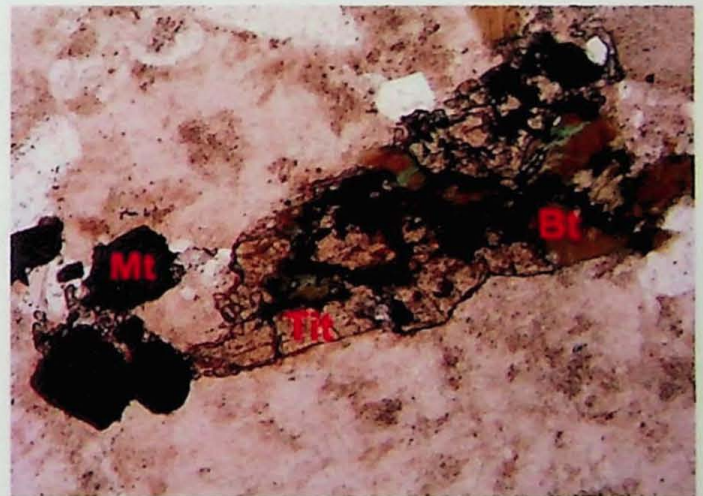
(i) Aspecto textural dos biotita granitos equigranulares, com cristais de feldspato potássico (FK), plagioclásio (Plg) e quartzo (Qz). Biotita é rara. Amostra MR-19C, polarizadores cruzados. Lado maior da foto 5,24 mm.



(j) Placas subédricas de biotita marrom-esverdeado a amarelo dos biotita granitos equigranulares. Notar cristais subédricos a anédricos de magnetita associados às bordas. Amostra MR-19B, polarizador inferior. Lado maior da foto 2,05 mm.



(k) Cristal euédrico de allanita (All) em associação com cristais de magnetita (Mt) e zircão (Zr) dos biotita granitos equigranulares. Amostra MR-20A, polarizador inferior. Lado maior da foto 1,05 mm.



(l) Agregado de biotita substituída por clorita (Bt), titanita (Tit) e magnetita (Mt) dos biotita granitos equigranulares. Amostra MR-19B, polarizador inferior. Lado maior da foto 1,05 mm.

Anexo III

*Composições modais de amostras
representativas das associações alcalina e
aluminosa do Maciço Morro Redondo*

Tabela 1

Composições modais de amostras representativas de granitos da associação alcalina do Maciço Morro Redondo

Amostra	MR-01A	MR-01B(2)	MR-01C	MR-01D	MR-06	MR-10	MR-11	MR-21	MR-27	MR-28
felds. alc. ¹	62,3	52,6	56,7	61,6	41,0	62,1	50,9	48,3	60,6	40,7
albita ²	4,2	3,1	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0
quartzo	31,1	38,7	32,5	29,3	49,3	25,3	40,0	45,9	31,7	47,5
egirina	1,2	1,7	0,2	2,7	2,2	7,7	5,0	1,6	1,6	2,5
anfíbólio Na	0,3	3,8	10,6	6,0	6,4	2,5	2,5	3,3	5,3	8,1
zircão	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
fluorita	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0
silic. Zr-Na	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1
narssarsukita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0
enigmatita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
astrofilita	0,8	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,2
titanita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
opacos	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	2,2	0,1	0,0	0,3	0,0
Q/(QAP)	0,3	0,4	0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,5	0,3	0,5
M	2,4	5,7	10,9	9,1	9,0	12,6	7,7	5,8	7,7	11,8

1: inclui albita pós-magmática

2: albita tardi-magmática ripiforme em egirina e/ou zircão

Tabela 2

Composições modais de amostras representativas dos granitos da associação aluminosa do Maciço Morro Redondo

Amostra	MR-14	MR-15A	MR-15B	MR-15C	MR-16B	MR-17	MR-18	MR-19A	MR-19B	MR-19C	MR-20A	MR-30	MR-31
felds. alc.	39,6	43,5	44,0	46,3	56,5	39,6	47,8	44,9	47,1	44,0	43,0	45,1	50,7
quartzo	33,3	31,9	31,5	27,6	31,3	36,1	30,8	35,6	38,7	37,9	40,1	29,9	30,8
plagioclásio	21,4	18,6	20,1	18,9	9,3	21,5	18,4	17,0	10,4	16,8	13,9	20,5	15,4
biotita	4,3	5,1	3,6	5,9	2,2	2,3	2,4	1,7	3,0	0,1	2,1	3,3	2,3
anfíbólio Ca	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
allanita	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1
titanita	0,6	0,1	0,5	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0
zircão	0,0	0,1	0,0	0,3	0,2	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1
apatita	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
fluorita	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,1	0,1
opacos	0,1	0,1	0,0	0,1	0,3	0,7	0,4	0,7	0,5	0,6	0,9	0,7	0,7
Q/(QAP)	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
M	5,7	5,9	4,4	7,2	2,9	2,9	3,0	2,5	3,7	1,3	3,0	4,5	3,1

Anexo IV

*Valores de suscetibilidade magnética em
amostras representativas das associações
alcalina e aluminosa do Maciço Morro
Redondo*

Tabela 1

Valores de suscetibilidade magnética ($\times 10^{-3}$ SI) para amostras representativas de granitos da associação alcalina do Maciço Morro Redondo

Amostra	MR 01A	MR 01 C	MR 01D	MR 02	MR 03	MR 05	MR 06	MR 10	MR 11	MR-27	MR-28
Observação	gran.grossa	gran.média	gran.fina								
	0,098	0,515	0,124	0,126	0,174	0,113	0,085	6,080	0,085	0,128	0,122
	0,099	0,508	0,371	0,162	0,153	0,104	0,072	12,800	0,097	0,126	0,086
	0,096	0,803	0,261	0,129	0,181	0,118	0,098	3,530	0,094	0,072	0,118
	0,940	0,424	0,159	0,124	0,178	0,161	0,092	4,830	0,114	0,099	0,081
	0,095	0,378	0,129	0,155	0,187	0,174	0,104	5,140	0,101	0,100	0,125
	0,104	0,443	0,105	0,130	0,158	0,149	0,070	4,000	0,103		
	0,071	0,368	0,112	0,099	0,157	0,147	0,114	8,840	0,075		
	0,087	0,421	0,132	0,119	0,161	0,162	0,071	7,610	0,066		
	0,128		0,113		0,147	0,128	0,091	3,880	0,100		
			0,101		0,191	0,132	0,104	7,060	0,079		
			0,143			0,143	0,085				
			0,221				0,079				
			0,116								
			0,125								
Média	0,19	0,48	0,16	0,13	0,17	0,14	0,09	6,38	0,09	0,11	0,11
Desvio Padrão	0,28	0,14	0,08	0,02	0,02	0,02	0,01	2,85	0,01	0,02	0,02
Máximo	0,94	0,80	0,37	0,16	0,19	0,17	0,11	12,80	0,11	0,13	0,13
Mínimo	0,07	0,37	0,10	0,10	0,15	0,10	0,07	3,53	0,07	0,07	0,08

Tabela 2

Valores de suscetibilidade magnética ($\times 10^{-3}$ SI) para amostras representativas de granitos da associação aluminosa do Maciço Morro Redondo

Amostra Observação	MR 14	MR 15	MR 16	MR 17	MR 18	MR 19A gran. média	MR 19C apito	MR 20	MR-30/31
	0,945	0,049	0,781	3,380	2,330	6,740	1,060	3,400	3,18
	0,800	0,047	0,581	3,410	2,440	4,280	2,230	3,890	2,250
	1,290	0,073	0,566	4,470	2,420	5,550	1,890	3,860	2,830
	1,160	0,052	0,715	4,340	1,310	4,550	2,330	3,390	2,920
	1,030	0,069	0,620	4,190	0,690	6,380	1,870	3,640	3,030
	0,868	0,049	0,728	3,660	0,625	6,680	1,260	3,240	2,480
	1,020	0,050	0,525	2,940	2,560	6,750		3,190	
	1,050	0,044	0,644	4,500	2,710	4,860		2,920	
	1,230	0,046	0,530	3,330	2,260	5,320		3,270	
	1,410	0,041	0,794	4,090	2,430	5,080		3,570	
					1,460			3,530	
					2,880				
					2,170				
Média	1,08	0,05	0,65	3,83	2,02	5,62	1,77	3,45	2,78
Desvio Padrão	0,19	0,01	0,10	0,55	0,75	0,95	0,51	0,29	0,35
Máximo	1,41	0,07	0,79	4,50	2,88	6,75	2,33	3,89	3,18
Mínimo	0,80	0,04	0,53	2,94	0,63	4,28	1,06	2,92	2,25

Anexo V

*Análises químicas quantitativas (WDS) das
principais fases máficas e félsicas das
associações alcalina e aluminosa do Maciço
Morro Redondo*

Tabela 1
Análises químicas representativas* (WDS) de egirina da associação alcalina do Maciço Morro Redondo

Amostra Cristal Ponto	MR-06			MR-10			MR-11			MR-21			MR-26		
	1-b-esc	2-esc	3-n-esc	1-b	2-n	1-b	1-acticular	2-n	1-acticular	1-b	2-esc	3-n	1-b-esc	2-esc	3-n
SiO ₂	51,81	52,27	52,06	51,68	51,31	52,11	51,53	51,29	51,53	51,88	51,74	51,96	51,55	51,74	51,83
TiO ₂	2,01	0,66	2,15	0,94	0,06	< l.d.	0,31	0,08	0,31	0,18	1,75	1,35	0,78	0,48	3,05
ZrO ₂	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,68
Al ₂ O ₃	0,18	0,13	0,11	0,27	0,24	0,22	0,21	0,15	0,21	0,26	0,14	0,27	0,44	0,54	0,34
Fe ₂ O ₃	24,00	31,01	27,39	30,21	29,88	31,34	30,60	30,90	30,60	33,37	28,27	28,63	30,73	30,60	25,01
FeO ^C	7,10	2,54	3,82	2,19	3,49	2,69	2,09	2,82	2,09	0,67	3,62	3,38	1,88	1,43	5,17
MnO	0,22	0,05	0,28	0,11	0,10	0,02	0,05	0,07	0,05	0,07	0,21	0,13	0,07	0,62	0,08
MgO	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,02	0,05	< l.d.	0,02	0,02	0,02	0,04	< l.d.	0,03	< l.d.	0,02	< l.d.
ZnO	< l.d.	0,06	0,04	0,08	< l.d.	< l.d.	0,06	< l.d.	0,06	0,18	0,05	0,04	< l.d.	0,24	< l.d.
CaO	3,04	0,27	0,49	0,29	1,44	0,22	0,09	0,65	0,09	0,18	0,69	0,40	0,21	0,26	0,63
Na ₂ O	11,35	12,97	12,86	12,96	12,04	12,79	12,85	12,44	12,85	13,06	12,68	12,79	12,96	12,86	12,71
Total	99,70	99,93	99,19	98,76	98,61	98,39	97,81	98,41	97,81	100,33	98,16	98,97	98,61	98,79	98,33
Fórmula estrutural com base em 4 cátions totais e 6 oxigênicos															
Si	2,009	2,011	2,012	2,006	2,010	2,018	2,021	2,011	2,021	1,992	2,006	2,016	2,006	2,010	2,007
Al ^{IV}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma T	2,009	2,011	2,012	2,006	2,010	2,018	2,021	2,011	2,021	2,000	2,006	2,016	2,006	2,010	2,007
Al ^{VI}	0,008	0,006	0,005	0,012	0,011	0,010	0,010	0,009	0,010	0,004	0,007	0,012	0,004	0,025	0,015
Fe ³⁺	0,700	0,898	0,798	0,882	0,881	0,913	0,903	0,911	0,903	0,964	0,825	0,836	0,900	0,895	0,729
Ti	0,059	0,019	0,062	0,028	0,002	0,000	0,009	0,002	0,009	0,005	0,051	0,039	0,023	0,014	0,089
Zr	0,005	0,002	0,007	0,007	0,000	0,000	0,002	0,001	0,002	0,000	0,004	0,001	0,001	0,001	0,010
Zn	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000	0,007	0,000
Mg	0,000	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Fe ²⁺	0,227	0,073	0,123	0,087	0,103	0,076	0,069	0,078	0,069	0,023	0,112	0,108	0,066	0,047	0,158
Mn	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000
Soma M1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	1,000	0,998	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mn	0,007	0,002	0,004	0,004	0,003	0,000	0,001	0,002	0,001	0,002	0,007	0,004	0,002	0,010	0,003
Ca	0,126	0,011	0,020	0,012	0,060	0,009	0,004	0,027	0,004	0,007	0,028	0,017	0,009	0,011	0,026
Na	0,854	0,968	0,964	0,975	0,914	0,960	0,978	0,945	0,978	0,972	0,953	0,962	0,978	0,969	0,954
Soma M2	0,987	0,980	0,988	0,990	0,978	0,970	0,981	0,975	0,981	0,982	0,988	0,983	0,989	0,989	0,983
Q	3,997	3,992	4,000	3,998	3,988	3,988	4,000	3,985	4,000	3,982	3,994	3,999	3,995	3,999	4,000
J	0,35	0,09	0,14	0,08	0,17	0,09	0,07	0,11	0,07	0,03	0,14	0,13	0,07	0,06	0,18
Wo	1,71	1,94	1,93	1,95	1,83	1,92	1,96	1,89	1,96	1,94	1,91	1,92	1,96	1,94	1,91
En	6,13	0,54	0,98	0,59	3,03	0,46	0,18	1,36	0,18	0,36	1,39	0,81	0,43	0,54	1,25
Fe	11,02	3,63	5,96	3,32	5,16	3,77	3,38	3,9	3,38	1,18	5,48	5,28	2,78	2,33	7,53
Jd	0,95	0,62	0,56	1,34	1,15	1,03	1,02	0,71	1,02	1,19	0,73	1,36	2,11	2,59	1,89
Eg	81,88	95,17	92,51	94,69	90,54	94,73	95,36	93,98	95,36	97,14	92,4	92,48	94,66	94,47	89,33
mg#	0,002	0,011	0,000	0,017	0,025	0,005	0,017	0,014	0,017	0,091	0,000	0,013	0,006	0,025	0,000

* incluem K₂O < 0,1%

Legenda: < l.d.: abaixo do limite de detecção; n: núcleo; i: z. interm.; b: borda; cl: parte clara; esc: parte escura; lar: egirina alaranjada

Tabela 2
Análises químicas representativas* (WDS) de anfíbios das associações aluminosa e alcalina do Maciço Morro Redondo

Amostra Cristal Ponto	Associação Aluminosa MR-15 C										Associação Alcalina MR-01 D						MR-05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	1					2					3					4					5					1					2					3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b

* incluem ZnO₂ entre 0,1 e 0,3%
Legenda: < l.d.: abaixo do limite de detecção; n: núcleo, i: z. interm, b: borda, cl: parte clara, esc: parte escura, esv: parte esverdeada, cas: parte castanha

Tabela 2
Análises químicas representativas* (WDS) de anfíbios das associações aluminosa e alcalina do Maciço Morro Redondo

Amostra Cristal Ponto	Associação Alcalina																								
	MR-06					MR-10					MR-11					MR-21					MR-27				
	1-b esc	2-b cl	1	3-n cas	2-com enigmática 2-n p.3-b	1-esc	2-b cl	1	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-n	1-b	2-esc	1-b	2-n	1-b	2-n					
SiO ₂	49,42	49,53	49,68	49,85	49,38	49,84	50,33	50,25	50,25	50,25	50,83	50,04	49,18	49,42	48,47	49,69	49,18	49,19	49,19	49,19					
TiO ₂	1,33	1,20	0,30	2,45	1,02	1,01	0,08	0,91	0,91	0,78	0,98	0,97	0,39	0,19	1,63	1,29	1,42	1,26	1,26	1,26					
Al ₂ O ₃	0,25	0,31	0,11	0,33	0,85	0,67	0,83	0,48	0,48	0,63	0,41	0,58	2,08	0,13	1,40	0,66	0,58	0,73	0,73	0,73					
Fe ₂ O ₃ ^C	5,21	4,15	6,54	2,73	4,53	12,02	14,30	9,80	9,51	9,05	9,40	9,40	5,57	6,47	7,68	6,50	6,99	6,82	6,82	6,82					
FeO ^C	30,27	30,50	28,97	31,47	30,40	24,42	23,71	28,12	28,59	22,84	25,98	25,98	28,01	28,65	27,08	27,92	28,14	27,39	27,39	27,39					
MnO	0,75	0,78	0,78	0,79	0,77	0,52	0,54	0,57	0,88	1,29	0,87	0,87	0,88	0,76	0,88	0,84	0,78	0,87	0,87	0,87					
MgO	0,05	0,02	0,04	0,04	0,10	0,29	0,10	0,33	0,32	1,20	0,29	0,29	0,15	0,15	0,18	0,09	0,03	0,09	0,09	0,09					
ZnO	0,28	0,30	0,31	0,21	0,28	0,13	< 1d	0,28	0,13	0,28	0,29	0,29	0,21	0,17	0,17	0,23	0,18	0,23	0,18	0,23					
CaO	0,69	0,84	0,31	0,82	1,31	0,29	0,57	0,33	0,37	0,19	0,55	0,55	0,98	0,52	0,71	1,14	0,74	1,04	1,04	1,04					
Na ₂ O	8,27	8,03	8,09	8,25	7,98	6,22	6,11	6,84	6,62	7,26	6,29	6,29	8,34	7,80	6,51	6,52	6,45	6,34	6,34	6,34					
K ₂ O	1,82	2,05	2,66	1,83	1,84	0,81	0,11	1,81	1,86	2,04	1,82	1,82	1,81	3,69	1,88	1,69	1,75	1,82	1,82	1,82					
F	0,55	0,80	0,80	0,61	0,92	0,03	0,00	0,37	0,30	1,01	0,48	0,48	0,81	0,78	0,85	0,53	0,57	0,87	0,87	0,87					
Cl	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02					
Soma	98,88	98,49	98,68	98,18	99,35	96,28	96,70	97,70	98,28	97,46	97,32	97,32	99,15	98,52	98,78	98,91	98,84	96,03	96,03	96,03					
O=F=Cl	0,23	0,34	0,38	0,28	0,39	0,02	0,00	0,16	0,13	0,43	0,20	0,20	0,34	0,33	0,27	0,23	0,25	0,28	0,28	0,28					
Total	98,63	98,16	98,30	98,93	98,96	96,24	96,70	97,55	98,15	97,03	97,12	97,12	98,81	98,19	96,50	96,68	96,59	95,74	95,74	95,74					
Fórmula estrutural com partição Fe ²⁺ /Fe ³⁺ segundo o método de Schumacher (in Leake et al. 1997)																									
Si	7,932	7,989	8,022	7,938	7,901	7,948	7,941	7,994	7,984	8,080	7,991	7,991	7,836	8,012	7,833	8,010	7,985	7,989	7,989	7,989					
Al ^{IV}	0,047	0,011	0,000	0,063	0,099	0,052	0,000	0,008	0,038	0,000	0,009	0,009	0,164	0,000	0,167	0,000	0,035	0,001	0,001	0,001					
Ti ^{IV}	0,021	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000					
Soma T	8,000	8,000	8,022	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,080	8,000	8,000	8,000	8,012	8,000	8,010	8,000	8,000	8,000	8,000					
Al ^{VI}	0,000	0,048	0,021	0,000	0,081	0,073	0,086	0,086	0,082	0,078	0,100	0,100	0,225	0,024	0,100	0,125	0,075	0,140	0,140	0,140					
Ti	0,140	0,145	0,036	0,283	0,123	0,121	0,010	0,109	0,093	0,115	0,116	0,116	0,048	0,023	0,198	0,157	0,172	0,154	0,154	0,154					
Fe ³⁺	0,629	0,504	0,795	0,328	0,548	1,443	1,998	1,150	1,080	1,129	1,129	1,129	0,667	0,790	0,834	0,789	0,852	0,834	0,834	0,834					
Mg	0,013	0,006	0,009	0,010	0,024	0,018	0,000	0,088	0,028	0,283	0,056	0,056	0,038	0,035	0,000	0,022	0,000	0,021	0,021	0,021					
Zn	0,030	0,035	0,037	0,025	0,030	0,015	0,000	0,033	0,043	0,033	0,034	0,034	0,024	0,021	0,013	0,028	0,000	0,024	0,024	0,024					
Fe ²⁺	4,084	4,114	3,913	4,208	4,069	3,257	3,068	3,475	3,524	3,031	3,487	3,487	3,868	3,884	3,857	3,763	3,788	3,725	3,725	3,725					
Mn	0,101	0,108	0,107	0,108	0,105	0,071	0,073	0,078	0,091	0,173	0,080	0,080	0,084	0,104	0,091	0,088	0,107	0,093	0,093	0,093					
Soma C	4,977	4,958	4,919	4,969	4,959	4,997	4,976	4,997	4,997	4,792	4,992	4,992	4,950	4,880	4,993	4,971	4,994	4,990	4,990	4,990					
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,024	0,010	0,048	0,000	0,014	0,014	0,000	0,000	0,038	0,000	0,007	0,001	0,001	0,001					
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000					
Fe ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000					
Ca	0,119	0,145	0,053	0,140	0,224	0,049	0,098	0,056	0,082	0,031	0,084	0,084	0,167	0,080	0,122	0,196	0,128	0,181	0,181	0,181					
Na	1,881	1,855	1,947	1,880	1,778	1,901	1,849	1,834	1,882	1,989	1,882	1,882	1,833	1,910	1,833	1,804	1,819	1,818	1,818	1,818					
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000					
Na	0,683	0,655	0,585	0,695	0,701	0,023	0,020	0,115	0,142	0,284	0,054	0,054	0,744	0,478	0,208	0,234	0,207	0,180	0,180	0,180					
K	0,373	0,421	0,547	0,374	0,375	0,164	0,022	0,367	0,377	0,414	0,370	0,370	0,368	0,764	0,346	0,347	0,361	0,337	0,337	0,337					
Soma A	1,066	1,076	1,132	1,089	1,076	0,187	0,042	0,482	0,519	0,678	0,424	0,424	1,112	1,242	0,654	0,581	0,568	0,517	0,517	0,517					
Cátions	16,319	16,448	16,633	16,349	16,510	15,207	15,044	15,668	15,669	16,062	15,660	15,660	16,469	16,535	15,868	15,839	15,871	15,864	15,864	15,864					
F	0,277	0,408	0,460	0,308	0,468	0,016	0,000	0,188	0,150	0,508	0,233	0,233	0,408	0,398	0,332	0,270	0,283	0,343	0,343	0,343					
Cl	0,000	0,001	0,000	0,003	0,002	0,003	0,002	0,001	0,000	0,004	0,003	0,003	0,001	0,003	0,000	0,003	0,009	0,004	0,004	0,004					
mol	0,003	0,001	0,002	0,002	0,008	0,021	0,008	0,022	0,021	0,085	0,020	0,020	0,009	0,009	0,010	0,008	0,002	0,006	0,006	0,006					

Tabela 3
Análises químicas representativas (WDS) de biotita da associação aluminosa do Maciço Morro Redondo

Amostra Cristal Ponto	MR-18						MR-19A						MR-19B					
	1-n	2-b	1-n	2-b	1-i	2-n	4	5	6	7	8	9	10	1-n	2-b	1-n	2-b	1-n
SiO ₂	35,88	35,60	36,23	36,20	35,36	35,44	37,16	36,86	36,93	36,19	35,92	35,04	36,88	36,97	36,80	36,50	36,02	36,02
TiO ₂	4,02	4,11	4,50	4,08	3,93	3,79	3,00	2,93	2,99	4,09	3,16	2,22	2,83	2,82	2,73	3,19	3,34	3,34
Al ₂ O ₃	12,80	12,58	12,24	12,29	12,50	12,65	11,65	11,53	11,69	12,52	12,35	13,02	12,62	11,84	12,55	12,26	12,24	12,24
FeO	25,50	25,30	22,84	23,58	25,52	25,31	24,52	24,35	24,33	25,52	25,10	23,61	21,27	24,65	25,20	26,10	25,85	25,85
MnO	0,42	0,30	0,36	0,34	0,32	0,24	0,36	0,26	0,27	0,26	0,26	0,26	0,20	0,24	0,18	0,26	0,17	0,17
MgO	7,18	7,72	8,80	8,88	7,77	8,01	8,29	8,24	9,01	7,48	7,18	11,17	10,41	8,87	8,36	8,08	8,25	8,25
ZnO	0,07	< l.d.	< l.d.	0,07	0,06	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,05	0,06	0,06	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
CaO	< l.d.	0,02	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,05	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,02	< l.d.	0,02	< l.d.	< l.d.	0,02	< l.d.	< l.d.	< l.d.
BaO	0,43	0,17	0,33	0,19	0,49	0,26	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,26	0,16	0,26	0,20	0,14	< l.d.	0,23	0,17	0,17
Na ₂ O	0,09	0,09	0,44	0,12	0,11	0,10	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08	0,10	0,08	0,06	0,06	0,07	0,05	0,05
K ₂ O	8,67	8,56	8,87	8,65	8,64	8,00	8,93	8,84	8,16	8,89	9,02	6,54	9,17	8,90	8,78	8,85	8,92	8,92
F	0,32	0,24	1,00	0,49	0,50	0,24	0,83	1,21	0,69	0,38	0,83	0,65	0,95	0,86	0,83	0,89	0,90	0,90
Cl	0,26	0,25	0,22	0,22	0,25	0,23	0,45	0,26	0,29	0,25	0,33	0,14	0,25	0,24	0,33	0,39	0,38	0,38
Soma	95,65	94,93	95,82	95,10	95,44	94,29	95,27	94,71	94,42	95,99	94,47	93,11	94,85	95,60	95,84	96,81	96,28	96,28
O=F=Cl	0,19	0,16	0,47	0,25	0,27	0,15	0,45	0,57	0,36	0,22	0,42	0,30	0,46	0,42	0,42	0,46	0,46	0,46
Total	95,46	94,79	95,36	94,85	95,17	94,16	94,83	94,14	94,06	95,77	94,06	92,81	94,39	95,18	95,41	96,37	95,84	95,84
Fórmula estrutural com base em 22 oxigênios																		
Si	5,692	5,667	5,709	5,719	5,647	5,666	5,907	5,912	5,875	5,716	5,797	5,606	5,803	5,853	5,813	5,761	5,718	5,718
Al ^{IV}	2,308	2,333	2,272	2,281	2,350	2,334	2,093	2,088	2,125	2,284	2,203	2,394	2,197	2,147	2,187	2,239	2,282	2,282
Fe	0,000	0,000	0,019	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,084	0,025	0,000	0,005	0,000	0,047	0,089	0,090	0,065	0,045	0,144	0,060	0,142	0,061	0,148	0,040	0,006	0,006
Ti	0,480	0,493	0,533	0,485	0,472	0,456	0,359	0,353	0,358	0,486	0,384	0,268	0,334	0,336	0,324	0,379	0,399	0,399
Fe	3,383	3,368	2,991	3,115	3,405	3,383	3,260	3,267	3,237	3,371	3,368	3,158	2,799	3,264	3,330	3,445	3,431	3,431
Mn	0,057	0,040	0,048	0,046	0,043	0,032	0,049	0,035	0,036	0,035	0,036	0,036	0,027	0,032	0,024	0,035	0,022	0,022
Mg	1,699	1,833	2,067	2,050	1,849	1,908	1,965	1,971	2,137	1,761	1,728	2,663	2,442	2,084	1,970	1,901	1,952	1,952
Zn	0,010	0,000	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma Y	5,713	5,759	5,639	5,751	5,779	5,826	5,722	5,716	5,833	5,708	5,690	6,195	5,744	5,787	5,796	5,800	5,810	5,810
Ca	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,001	0,001
Na	0,026	0,029	0,134	0,035	0,033	0,030	0,023	0,026	0,018	0,021	0,026	0,031	0,024	0,017	0,017	0,022	0,015	0,015
K	1,755	1,739	1,784	1,744	1,760	1,632	1,811	1,810	1,655	1,791	1,857	1,335	1,842	1,797	1,769	1,782	1,805	1,805
Ba	0,030	0,010	0,020	0,010	0,030	0,020	0,000	0,010	0,000	0,020	0,010	0,020	0,010	0,010	0,000	0,010	0,010	0,010
Soma X	1,811	1,781	1,838	1,789	1,823	1,690	1,834	1,846	1,673	1,835	1,895	1,390	1,876	1,824	1,790	1,814	1,831	1,831
Carbonos	15,524	15,540	15,577	15,540	15,602	15,516	15,556	15,562	15,506	15,543	15,585	15,585	15,620	15,611	15,586	15,614	15,641	15,641
F	0,320	0,245	0,998	0,487	0,501	0,238	0,837	1,229	0,697	0,377	0,846	0,656	0,945	0,877	0,828	0,888	0,901	0,901
Cl	0,140	0,134	0,116	0,118	0,137	0,124	0,242	0,144	0,156	0,134	0,181	0,077	0,131	0,127	0,177	0,206	0,204	0,204
mg#	0,330	0,350	0,410	0,400	0,350	0,360	0,380	0,380	0,400	0,340	0,340	0,460	0,470	0,390	0,370	0,360	0,360	0,360

Legenda: < l.d.: abaixo do limite de detecção; n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 4

Análises químicas representativas* (WDS) de plagioclásios da associação aluminosa do Maciço Morro Redondo

Amostra Cristal Ponto	MR-19B								
	1			2			3		
	1-b	2-l	3-n	1-b	2-l	3-n	1-b	2-l	3-n
SiO ₂	66,15	63,56	63,71	65,46	64,21	65,20	66,47	64,71	63,82
TiO ₂	< l.d.	0,03	< l.d.	< l.d.	0,04	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,04
Al ₂ O ₃	20,77	22,77	22,55	21,56	22,20	21,82	20,78	22,36	23,04
Fe ₂ O ₃	0,12	0,18	0,13	0,08	0,18	0,21	0,10	0,17	0,18
MnO	< l.d.	< l.d.	0,06	< l.d.	< l.d.	0,03	< l.d.	< l.d.	< l.d.
CaO	2,43	4,11	4,16	2,86	3,60	3,37	2,04	3,91	4,64
Na ₂ O	8,67	8,07	8,04	8,77	8,54	8,30	8,96	8,28	7,72
K ₂ O	1,40	0,57	0,60	0,40	0,44	0,44	0,39	0,33	0,40
Total	99,53	99,30	99,23	99,13	99,20	99,37	98,73	99,75	99,83
Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios									
Si	11,693	11,286	11,318	11,577	11,393	11,514	11,757	11,404	11,262
Al	4,326	4,765	4,720	4,494	4,642	4,543	4,331	4,644	4,791
Fe ³⁺	0,016	0,024	0,017	0,010	0,024	0,028	0,014	0,022	0,024
Soma T	16,034	16,075	16,055	16,081	16,059	16,085	16,102	16,071	16,077
Ti	0,000	0,004	0,003	0,000	0,005	0,001	0,000	0,001	0,005
Mn	0,000	0,000	0,009	0,000	0,002	0,004	0,000	0,000	0,000
Ca	0,459	0,782	0,791	0,541	0,683	0,638	0,386	0,738	0,877
Na	2,971	2,778	2,768	3,005	2,938	2,843	3,073	2,830	2,643
K	0,316	0,130	0,136	0,091	0,100	0,099	0,087	0,074	0,090
Soma M	3,746	3,694	3,706	3,637	3,729	3,584	3,546	3,642	3,614
Cátions	19,780	19,769	19,762	19,719	19,789	19,670	19,650	19,713	19,692
Ab	79,3	75,3	74,9	82,6	79,0	79,4	86,7	77,7	73,2
An	12,3	21,2	21,4	14,9	18,4	17,8	10,9	20,3	24,3
Or	8,4	3,5	3,7	2,5	2,7	2,8	2,5	2,0	2,5

* incluem MgO < 0,1%

Legenda: < l.d.: abaixo do limite de detecção; n: núcleo, i: zona intermediária; b: borda

Tabela 5

Estimativa de composições iniciais* para feldspato alcalino e análises químicas representativas (WDS) de albita das associações aluminosa e alcalina do Maciço Morro Redondo

Amostra Cristal Ponto	Associação Aluminosa					Associação Alcalina				
	MR-19B			MR-31		MR-27			MR-21	
	1 - C.I.		2 - C.I.	1 - C.I.	total	1 - C.I.		2 - C.I.	1 - C.I.	total
	borda	núcleo	borda	interm	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	total
SiO ₂	64,93	64,96	65,45	65,24	64,85	66,26	66,68	66,70	66,43	66,03
Al ₂ O ₃	18,61	18,37	18,12	18,40	18,35	18,29	18,12	18,24	18,24	18,01
TiO ₂	< l.d.	0,03	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Fe ₂ O ₃	0,16	0,04	0,21	0,05	0,16	0,53	0,28	0,43	0,54	0,53
MnO	0,04	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
CaO	0,23	0,04	0,08	0,08	0,12	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
BaO	0,54	0,38	0,05	0,35	0,27	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Na ₂ O	4,53	3,22	2,83	3,80	3,33	3,18	4,76	4,47	4,41	2,94
K ₂ O	9,77	11,85	12,41	11,13	11,72	11,27	9,49	9,93	10,06	12,27
Total	98,80	98,88	99,14	99,06	98,80	99,54	99,33	99,77	99,68	99,78
Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios										
Si	11,934	11,989	12,039	11,990	11,974	12,065	12,095	12,070	12,049	12,059
Al	4,031	3,997	3,927	3,985	3,994	3,925	3,874	3,890	3,899	3,876
Fe ³⁺	0,022	0,005	0,029	0,008	0,022	0,072	0,038	0,058	0,073	0,073
Soma T	15,987	15,991	15,995	15,983	15,990	16,062	16,007	16,019	16,021	16,009
Ti	0,003	0,004	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002
Mn	0,006	0,003	0,002	0,003	0,003	0,001	0,000	0,002	0,001	0,002
Ca	0,046	0,008	0,016	0,016	0,024	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Ba	0,039	0,027	0,003	0,025	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Na	1,615	1,152	1,010	1,354	1,191	1,123	1,675	1,568	1,552	1,041
K	2,291	2,790	2,911	2,608	2,760	2,619	2,196	2,291	2,327	2,858
Soma M	3,999	3,984	3,945	4,009	3,999	3,744	3,874	3,863	3,881	3,904
Cátions	19,989	19,977	19,942	19,993	19,991	19,807	19,883	19,884	19,903	19,914
Ab	40,9	29,2	25,6	34,0	30,0	30,0	43,3	40,6	40,0	26,7
An	1,2	0,2	0,4	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Or	58,0	70,6	73,9	65,6	69,4	70,0	56,7	59,4	60,0	73,3

* incluem MgO e SrO < 0,1%

Legenda: < l.d.: abaixo do limite de detecção; C.I.: composição inicial; mag: magmática; n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 5

Estimativa de composições iniciais* para feldspato alcalino e análises químicas representativas (WDS) de albita das associações aluminosa e alcalina do Maciço Morro Redondo

Amostra Cristal Ponto	Associação Aluminosa						Associação Alcalina					
	MR-18			MR-01A			MR-05			MR-05		
	1 - albita pós-mag	2 - albita pós-mag	3 - mag	1 - mag	2 - mag	3 - mag	1 - albita pós-mag	2 - albita pós-mag	3 - mag	1 - albita pós-mag	2 - albita pós-mag	3 - mag
	1-b	2-n	3-i	1-b	2-n	3-i	1-b	2-n	3-i	1-b	2-n	3-i
SiO ₂	68,31	68,23	67,85	69,04	68,96	68,75	68,94	69,01	69,39	69,11	69,05	68,50
TiO ₂	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,05	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Al ₂ O ₃	19,69	19,65	19,77	19,63	19,66	19,58	18,51	18,60	18,81	18,55	18,42	18,71
Fe ₂ O ₃	0,10	< l.d.	< l.d.	0,07	< l.d.	0,07	1,62	1,34	1,09	1,30	1,34	0,76
MnO	< l.d.	0,05	0,03	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,03	0,05	< l.d.	< l.d.	< l.d.
MgO	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
CaO	0,55	0,39	0,16	0,18	0,46	0,29	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Na ₂ O	9,74	9,36	9,80	10,10	9,96	10,22	10,55	10,48	10,40	11,49	11,58	10,90
K ₂ O	0,17	0,54	0,50	0,05	0,06	0,13	0,07	0,05	0,05	0,11	0,11	0,79
Total	98,56	98,21	98,12	99,12	99,10	99,03	99,69	99,51	99,78	100,56	100,50	99,67
Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios												
Si	12,031	12,057	12,016	12,076	12,066	12,056	12,073	12,090	12,105	12,037	12,044	12,042
Al	4,087	4,092	4,126	4,047	4,055	4,046	3,820	3,841	3,868	3,808	3,786	3,876
Fe ³⁺	0,013	0,000	0,003	0,009	0,003	0,009	0,213	0,177	0,143	0,171	0,175	0,101
Soma T	16,131	16,149	16,144	16,131	16,123	16,110	16,107	16,108	16,115	16,016	16,005	16,019
Ti	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000
Mn	0,000	0,007	0,005	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004	0,007	0,000	0,000	0,002
Mg	0,001	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002
Ca	0,104	0,073	0,030	0,034	0,087	0,054	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Na	3,327	3,207	3,365	3,425	3,379	3,475	3,582	3,561	3,518	3,881	3,914	3,715
K	0,038	0,123	0,113	0,010	0,013	0,030	0,016	0,011	0,010	0,024	0,024	0,177
Soma M	3,471	3,413	3,515	3,477	3,479	3,559	3,601	3,577	3,539	3,907	3,940	3,896
Cátions												
Ab	19,602	19,562	19,659	19,608	19,602	19,669	19,708	19,685	19,654	19,923	19,945	19,916
An	98,7	97,9	97,1	97,6	94,2	95,9	99,5	99,7	99,7	99,4	99,4	95,4
Or	1,0	1,5	2,5	1,5	2,1	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	0,3	0,6	0,4	0,8	3,6	3,2	0,4	0,3	0,3	0,6	0,6	4,5

* incluem MgO e SrO < 0,1%

Legenda: < l.d.: abaixo do limite de detecção; C.l.: composição inicial; mag: magmática; n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

Tabela 5

Estimativa de composições iniciais* para feldspato alcalino e análises químicas representativas (WDS) de albita das associações aluminosa e alcalina do Maciço Morro Redondo

Amostra Cristal Ponto	Associação Alcalina									
	MR-05			MR-21			MR-27			
	2 - albita pós-mag			1 - albita pós-mag			1 - albita pós mag		2 - albita pós mag	
	1-b	2-j	3-n	1-i	2-b	3-b	1-b	2-n	1-i	2-n
SiO ₂	69,44	69,34	69,35	69,16	68,85	69,37	69,24	68,68	69,22	68,73
TiO ₂	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,06	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.
Al ₂ O ₃	19,43	18,80	18,63	18,78	19,10	19,08	18,83	18,58	18,70	18,56
Fe ₂ O ₃	0,10	1,06	1,27	1,10	0,49	0,25	0,75	1,30	1,01	1,19
MnO	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,00	0,00	0,02	0,03
MgO	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	< l.d.	0,02	0,02	< l.d.	< l.d.
CaO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
Na ₂ O	11,61	11,56	11,37	11,65	11,61	11,60	11,48	11,35	11,50	11,44
K ₂ O	0,17	0,17	0,23	0,08	0,08	0,05	0,06	0,06	0,05	0,04
	100,75	100,93	100,84	100,79	100,18	100,36	100,40	100,01	100,51	99,99
Fórmula estrutural com base em 32 oxigênios										
Si	12,031	12,029	12,044	12,017	12,011	12,062	12,053	12,026	12,049	12,034
Al	3,967	3,844	3,813	3,847	3,927	3,909	3,863	3,834	3,836	3,831
Fe ³⁺	0,013	0,139	0,167	0,143	0,064	0,033	0,098	0,172	0,132	0,156
Soma T	16,011	16,011	16,024	16,007	16,003	16,005	16,014	16,032	16,017	16,021
Ti	0,000	0,002	0,000	0,001	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,003	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004
Mg	0,000	0,003	0,000	0,002	0,001	0,001	0,004	0,005	0,000	0,000
Ca	0,001	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,004	0,002	0,000	0,000
Na	3,899	3,888	3,827	3,926	3,926	3,910	3,876	3,852	3,882	3,883
K	0,037	0,037	0,050	0,017	0,017	0,012	0,012	0,014	0,012	0,010
Soma M	3,937	3,930	3,880	3,952	3,954	3,923	3,896	3,872	3,897	3,897
Cátions	19,947	19,941	19,904	19,958	19,957	19,927	19,910	19,904	19,914	19,919
Ab	99,0	99,1	98,7	99,3	96,8	99,6	99,6	99,6	99,7	99,7
An	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0	0
Or	0,9	0,9	1,3	0,6	3,2	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3

* incluem MgO e SrO < 0,1%

Legenda: < l.d.: abaixo do limite de detecção; C.l.: composição inicial; mag: magmática; n: núcleo; i: zona intermediária; b: borda

