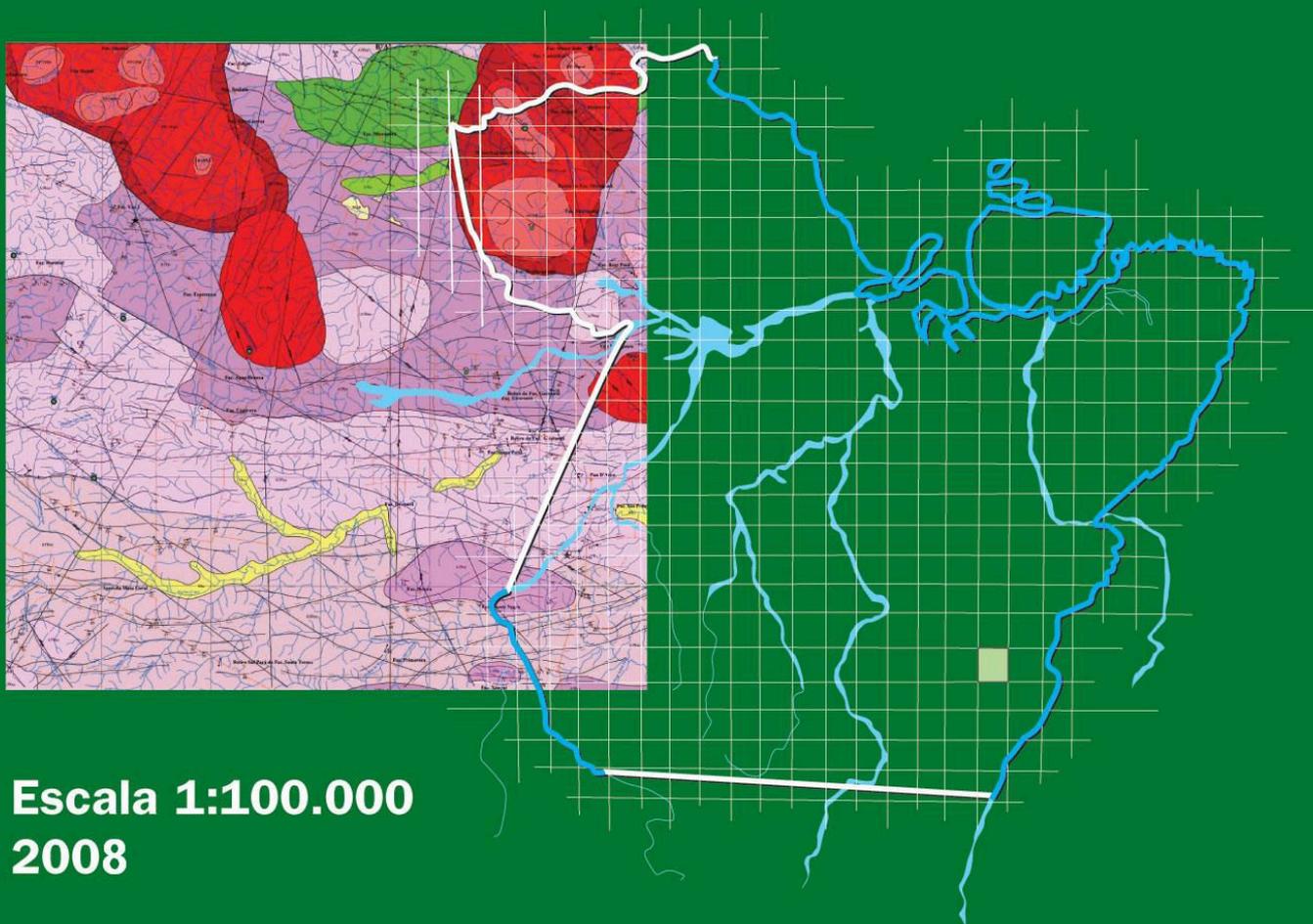


**Programa Geologia do Brasil  
Levantamentos Geológicos Básicos**

# **GEOLOGIA DA FOLHA MARAJOARA\* SB.22-Z-C-V**

**Sistema de Informações Geográficas – SIG**



**Escala 1:100.000  
2008**

\* PARCERIA COM A UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARÁ – UFPA

 **CPRM**  
Serviço Geológico do Brasil

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

EDISON LOBÃO  
*Ministro*

**Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

CLÁUDIO SCLIAR  
*Secretário*

**CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

AGAMENON SÉRGIO LUCAS DANTAS  
*Diretor-Presidente*

MANOEL BARRETTO DA ROCHA NETO  
*Diretor de Geologia e Recursos Minerais*

JOSÉ RIBEIRO MENDES  
*Diretor de Hidrogeologia e Gestão Territorial*

FERNANDO PEREIRA DE CARVALHO  
*Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento*

EDUARDO SANTA HELENA  
*Diretor de Administração e Finanças*

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA**

PROFESSOR ALEX BOLONHA FIÚZA DE MELLO  
*Reitor*

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

PROFESSOR JOSÉ GERALDO DAS VIRGENS ALVES  
*Diretor*

***PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL***  
***Contrato CPRM- UFPA N.º. 070/PR/05***

*Brasília, 2008*

## APRESENTAÇÃO

O Programa Geologia do Brasil (PGB), desenvolvido pela CPRM - Serviço Geológico do Brasil, é responsável pela retomada em larga escala dos levantamentos geológicos básicos do país. Este programa tem por objetivo a ampliação acelerada do conhecimento geológico do território brasileiro, fornecendo subsídios para novos investimentos em pesquisa mineral e para a criação de novos empreendimentos mineiros, com a conseqüente geração de novas oportunidades de emprego e renda. Além disso, os dados obtidos no âmbito desse programa podem ser utilizados em programas de gestão territorial e de recursos hídricos, dentre inúmeras outras aplicações de interesse social.

Destaca-se, entre as ações mais importantes e inovadoras desse programa, a estratégia de implementação de parcerias com grupos de pesquisa de universidades públicas brasileiras, em trabalhos de cartografia geológica básica na escala 1:100.000. Trata-se de uma experiência que, embora de rotina em outros países, foi de caráter pioneiro no Brasil, representando uma importante quebra de paradigmas para as instituições envolvidas. Essa parceria representa assim, uma nova modalidade de interação com outros setores de geração de conhecimento geológico, à medida que abre espaço para a atuação de professores, em geral líderes de grupos de pesquisa, os quais respondem diretamente pela qualidade do trabalho e possibilitam a inserção de outros membros do universo acadêmico. Esses grupos incluem também diversos pesquisadores associados, bolsistas de doutorado e mestrado, recém-doutores, bolsistas de graduação, estudantes em programas de iniciação científica, dentre outros. A sinergia resultante da interação entre essa considerável parcela do conhecimento acadêmico nacional com a excelência em cartografia geológica praticada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) resulta em um enriquecedor processo de produção de conhecimento geológico que beneficia não apenas a academia e o SGB, mas à toda a comunidade geocientífica e à indústria mineral.

Os resultados obtidos mostram um importante avanço, tanto na cartografia geológica quanto no estudo da potencialidade mineral e do conhecimento territorial em amplas áreas do território nacional. O refinamento da cartografia, na escala adotada, fornece aos potenciais usuários, uma ferramenta básica, indispensável aos futuros trabalhos de exploração mineral ou aqueles relacionados à gestão ambiental e à avaliação de potencialidades hídricas, dentre outros.

Além disso, o projeto foi totalmente desenvolvido em ambiente SIG e vinculado ao Banco de Dados Geológicos do SGB (GEOBANK), incorporando o que existe de atualizado em técnicas de geoprocessamento aplicado à cartografia geológica e encontra-se também disponível no Portal do SGB [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br).

As metas físicas da primeira etapa dessa parceria e que corresponde ao biênio 2005-2006, foram plenamente atingidas e contabilizam 41 folhas, na escala 1:100.000, ou seja aproximadamente 1,5% do território brasileiro. As equipes executoras correspondem a grupos de pesquisa das seguintes universidades: UFRGS, USP, UNESP, UnB, UERJ, UFRJ, UFMG, UFOP, UFBA, UFRN, UFPE e UFC.

Este CD contém a *Nota Explicativa da Folha Marajoara*, juntamente com o *Mapa Geológico na escala 1:100.000 (SB.22-Z-C-V)*, em ambiente SIG, executado pela UFPA, através do Contrato CPRM-UFPA N° 069/PR/05.

Brasília, junho de 2008

AGAMENON DANTAS  
Diretor Presidente

MANOEL BARRETTO  
Diretor de Geologia e Recursos Minerais

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL

**PROGRAMA GEOLOGIA DO BRASIL**  
Contrato CPRM-UFPA N°. 070/PR/05

**NOTA EXPLICATIVA DA FOLHA**

**MARAJOARA**

(SB.22-Z-C-V)

1:100.000

**AUTORES**

José de Arimatéia Costa de Almeida, Marcelo Augusto de Oliveira,  
Cândido Augusto Veloso Moura, Davis Carvalho de Oliveira,  
Fernando Jacques Althoff, Hilton Túlio Costi,  
Régis Munhoz Kráz Borges

COORDENAÇÃO GERAL  
Roberto Dall'Agnol

**APOIO INSTITUCIONAL DA CPRM**

*Departamento de Geologia-DEGEO*

*Divisão de Geologia Básica-DIGEOB*

Inácio Medeiros Delgado

*Divisão de Geoprocessamento-DIGEOP*

João Henrique Gonçalves

*Edição do Produto*

*Divisão de Marketing-DIMARK*

Ernesto von Sperling

*Gerência de Relações Institucionais e  
Desenvolvimento - GERIDE/ SUREG-BH*

Marcelo de Araújo Vieira

Brysa de Oliveira

Elizabeth de Almeida Cadête Costa

M. Madalena Costa Ferreira

Rosângela Gonçalves Bastos de Souza

Silvana Aparecida Soares

*Representante da CPRM no Contrato*

Orlando José Barros de Araújo

**APOIO TÉCNICO DA CPRM**

*Supervisor Técnico do Contrato*

Luiz Carlos da Silva

*Apoio de Campo*

Evandro L. Klein

*Revisão do Texto*

Luiz Carlos da Silva

*Organização e Editoração*

Luiz Carlos da Silva

Carlos Augusto da Silva Leite

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM/Serviço Geológico do Brasil.

Marajoara- SB.22-Z-C-V, escala 1:100.000: nota explicativa./José de Arimatéia Costa de Almeida, Marcelo Augusto de Oliveira, Cândido Augusto Veloso Moura, Davis Carvalho de Oliveira, Fernando Jacques Althoff, Hilton Túlio Costi, Régis Munhoz Kráz Borges,- Pará: UFPA/CPRM, 2007.

110p; 01 mapa geológico (Série Programa de Geologia do Brasil – PGB) versão em CD-Rom.

Conteúdo: Projeto desenvolvido em SIG – Sistema de Informações Geográficas utilizando o GEOBANK – Banco de dados.

1- Geologia do Brasil- I- Título II- Dall'Agnol, R. Coord. III- Almeida, J.A.C., IV- Oliveira, M.A. V- Moura, C.A.V. VI- Oliveira, D.C. VII- Althoff, F.J. VIII- Costi, H.T. IX- Borges, R.M.K..

CDU 551(815)  
ISBN 978-85-7499-040-8

## RESUMO

---

A Folha Marajoara (SB.22-Z-C-V) localiza-se no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), no contexto geológico da Província Mineral de Carajás (PMC), porção leste do Cráton Amazônico. É constituída por *greenstone belts* e plutons granitóides. Os *greenstone belts* do Supergrupo Andorinhas são a unidade mais antiga da região. De acordo com aspectos geológicos petrográficos e geoquímicos foi possível distinguir quatro principais grupos de granitóides aflorantes na Folha Marajoara: 1) Tonalito Arco Verde; 2) Granodiorito Rio Maria; 3) Leucogranitos potássicos tipo Mata Surrão, Garantã e Rancho de Deus e 4) Granitos anorogênicos da Suíte Jamon caso dos granitos Musa, Bannach e Marajoara. Os grupos 1, 2 e 3 possuem idade arqueana, enquanto o grupo 4 idade paleoproterozóica.

As unidades arqueanas apresentam direções tectônicas (foliação, bandamento) orientadas, em geral, NW-SE, com mergulhos moderados a fortes para SW. Após 1 Ga de “estabilidade” tectônica, a região foi palco de um intenso magmatismo anorogênico paleoproterozóico, marcado na Folha Marajoara pelos granitos Bannach, Musa e Marajoara e por alguns diques intermediários a máficos.

A integração dos dados de imagens de SRTM com os aerolevantamentos geofísicos estabelece altos radiométricos para os granitos anorogênicos da Suíte Jamon e baixos para as unidades arqueanas, com exceção dos domínios que ocorrem os leucogranitos potássicos.

Os *greenstone belt* são aflorantes no extremo norte da Folha Marajoara e, de forma subordinada, no extremo nordeste, correlacionadas ao Grupo Lagoa Seca e Grupo Babaçu, respectivamente. Constituem um conjunto de vulcanitos máfico-ultramáfico com alguns membros metafélsicos. As rochas do Tonalito Arco Verde afloram na porção nordeste, sudeste e oeste da área. O Tonalito Arco Verde possui coloração cinza clara a escura e textura fanerítica, heterogranular com granulação média. Em geral, as rochas desta unidade apresentam-se bastante deformadas, com foliação E-W a WNW, sendo intrusivas nos *greenstone belt* e seccionadas pelos demais granitóides.

As ocorrências do Granodiorito Rio Maria estão concentradas na porção sul, ocupam também uma pequena área no extremo norte e nordeste da Folha. Apresenta caráter intrusivo nos *greenstone belts* e no Tonalito Arco Verde, e é cortado pelos leucogranitos potássicos e granitos paleoproterozóicos. As rochas do GDrM apresentam coloração cinza clara com tons esverdeados e textura fanerítica, equigranular média a grossa. Mostram uma foliação subvertical com orientação NW-SE a WNW-ESE.

Os leucogranitos potássicos afloram como uma extensa faixa que ocupa boa parte da porção central da Folha, se estendendo de leste a oeste, e se espessando para noroeste. Além disso, têm-se três corpos graníticos, dois no extremo sudoeste da folha e outro, no seu extremo norte. Apresentam foliação de fluxo, bandamento magmático e xistosidade, sendo mais desenvolvida nas

bordas dos corpos com direção preferencial E-W a WNW-ESSE, com mergulhos normalmente suaves, variando para alto ângulo nas bordas. Apresentam três variedades petrográficas principais: (1) leucomonzogranito equigranular, associado ao Granito Mata Surrão; (2) leuco-monzogranito porfirítico relacionado ao Granito Guarantã e (3) leucomonzogranito heterogranular médio a grosso associado ao Granito Rancho de Deus. Essas rochas são intrusivas no Granodiorito Rio Maria, Tonalito Arco Verde e nas supracrustais, sendo intrudidos pelos granitos anorogênicos da Suíte Jamon.

As elevações máximas correspondem aos domínios dos granitos da Suíte Jamon, representados pelos granitos Bannach, localizado na porção noroeste; Musa, porção nordeste; e Marajoara, porção centro-leste. São granitos isotrópicos, intraplacas, de alto nível crustal, tendo sido colocados em uma crosta rígida, cortando discordantemente suas rochas encaixantes. Nas zonas de contato, xenólitos das rochas encaixantes são comumente encontrados nestes granitos e efeitos termais nas rochas adjacentes causaram metamorfismo de contato da fácies hornblenda hornfels. A distribuição espacial de suas fácies indica em geral um zoneamento aproximadamente concêntrico, com as fácies menos evoluídas situando-se na periferia e as mais evoluídas na porção central dos maciços. Foram cadastradas novas ocorrências e/ou indícios de wolfrâmio, ametista, cristal de rocha, sulfetos (pirita) na Folha Marajoara.

## **ABSTRACT**

---

The Marajoara sheet is located in the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, in the southern sector of the Carajás Mineral Province, southeastern Amazon Craton. The Marajoara sheet is dominated by greenstone belts and granitoid plutons. The greenstone belts of the Andorinhas Supergroup are the oldest units of the region. On the basis of age, petrographic and geochemical four groups of granitoids are distinguished in Marajoara sheet: 1) Arco Verde Tonalite; 2) Rio Maria Granodiorite; 3) Potassic leucogranites of calc-alkaline affinity (Mata Surrão, Garantã and Rancho de Deus Granites); and 4) Proterozoic anorogenic granites of the Jamon Suite (Musa, Bannach and Marajoara granites). Groups 1 to 3 are Archean.

These Archean units show a NW-SE trend with moderate to steeply dipping towards the southwest. This part of the Amazon Craton was stabilized in the Archean and remained stable until ca. 1.88 Ga when an episode of distension and mantle underplating led to the generation and emplacement of oxidized A-type granites of the Jamon suite and associated coeval mafic and felsic dikes.

The integration of radar image (SRTM) and gamma airborne data also showed that the strongest gamma responses are mainly related to Archean units while the lowest responses are associated with Proterozoic anorogenic granites, except the regions where potassic leucogranites occur.

The greenstone belts outcrop in the extreme north of the Marajoara sheet and are subordinate to the Lagoa Seca and Babaçu groups which occur in the extreme northeast. They comprise metamorphosed mafic-ultramafic and some felsic volcanic rocks. The rocks of Arco Verde Tonalite outcrop in the northeast, southeast and west of the sheet. The Arco Verde Tonalite is light to dark gray in color with phaneritic, inequigranular and medium grained texture. In general, the rocks of this unit are deformed, with E-W to WNW foliations, and have intruded the greenstone belts and are cross-cut by other granitoids. The Rio Maria Granodiorite is concentrated in the south, and a small area in the extreme north and northeast of the sheet. It shows intrusive relations with the greenstone belts and Arco Verde Tonalite, and are cross-cut by potassic leucogranites and Paleoproterozoic granites.

The rocks of the Rio Maria Granodiorite are light gray with green tones and phaneritic, equigranular and medium-coarse grained texture. They show a subvertical foliation with NW-SE to WNW-ESE orientation. The potassic leucogranites outcrop as an extensive belt that occupy a large part of the central portion of the sheet, from the east to west, and widening towards the northeast. In addition, there are three granite bodies, two in the extreme southwest of the sheet and the other, in the extreme north. They show flow foliation, magmatic banding and schistosity, more well developed along the borders of the bodies with preferential direction of E-W to WNW-ESE with normally shallow dips, varying to high angles in the borders. They show three main petrographic

varieties: (1) equigranular leucomonzogranite, associated with the Mata Surrão Granite; (2) Porphyritic leucomonzogranite related to the Garantã Granite; and (3) medium to coarse grained leucomonzogranite associated with the Rancho de Deus granite. These rocks intruded the Rio Maria Granodiorite, Arco verde Tonalites and the supracrustal rocks, which were intruded by Proterozoic anorogenic granites of the Jamon Suite.

The maximum elevations correspond to granite domains of the Jamon Suites, represented by the Bannach Granite, located in the northwest; Musa granite, in the northeast, and Marajoara Granite in the central-east. They are non-foliated, high-level granites, which were emplaced in a rigid crust and cut discordantly their country rocks. In the contact zones, xenoliths of the country rocks are commonly included in the granites and thermal effects in the adjacent rocks attained the hornblende-hornfels facies contact metamorphism. The spatial distribution of their facies indicate in general a zoning approximately concentric, with the less evolved facies located along the border and the more evolved situated in the central portion of the massif. New occurrences and/or indications of wolframite, amethyst, quartz vuggs, sulphides (pyrite), in the Marajoara sheet.

## SUMÁRIO

---

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	ii
ABSTRACT .....	iv
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Localização e Acessos .....	1
1.2 Dados de Produção .....	2
1.3 Agradecimentos .....	3
1.4 Aspectos Fisiográficos .....	3
1.4.1 Clima .....	3
1.4.2 Vegetação .....	3
1.4.3 Solo .....	4
1.4.4 Hidrografia .....	4
1.4.5 Geomorfologia .....	4
1.5 Trabalhos Anteriores .....	4
2. CONTEXTO TECTÔNICO E GEOLOGIA REGIONAL .....	6
3. ESTRATIGRAFIA .....	10
3.1 Geologia da Folha Marajoara .....	19
3.1.1 Aspectos Estruturais Gerais .....	19
3.1.2 Supergrupo Andorinhas – San – A3ls (Grupo Lagoa Seca) e A3ba (Grupo Babaçu) .....	20
3.1.3 Tonalito Arco Verde – Tav – A3γav .....	20
3.1.4 Granodiorito Rio Maria – GDrm – A3γrm .....	21
3.1.5 Leucogranitos potássicos tipo Mata Surrão (A3γms), Guarantã (A3γgt) e Rancho de Deus (A3γrd) .....	23
3.1.6 Granitos Anorogênicos paleoproterozóicos (PP3γmu, b, mj) .....	26
3.1.7 Depósitos Aluvionares .....	27
3.2 Caracterização Petrográfica das Rochas da Folha Marajoara .....	27
3.2.1 Introdução .....	27
3.2.2 Supergrupo Andorinhas .....	27
3.2.3 Tonalito Arco Verde .....	29
3.2.4 Granodiorito Rio Maria .....	33
3.2.5 Leucogranitos Potássicos .....	39
3.2.6 Granitos Anorogênicos Paleoproterozóicos .....	48
3.3 Geocronologia .....	60
3.3.1 Introdução .....	61
3.3.2 Procedimentos Analíticos e Tratamento dos Dados .....	61
3.3.3 Apresentação dos Resultados Analíticos .....	62
3.3.4 Discussões e Interpretações .....	63
3.3.5 Quadro Litoestratigráfico da Folha Marajoara .....	68

3.4 Geoquímica das Rochas da Folha Marajoara .....	68
3.4.1 Introdução .....	68
3.4.2 Supergrupo Andorinhas.....	69
3.4.3 Tonalito Arco Verde .....	69
3.4.4 Granodiorito Rio Maria .....	76
3.4.5 Leucogranitos Potássicos.....	81
3.4.6 Granitos Anorogênicos Paleoproterozóicos .....	88
4. RECURSOS MINERAIS DA FOLHA MARAJOARA .....	97
4.1 Minerações.....	97
4.1.1 Wolfrâmio .....	98
4.1.2 Ametista .....	98
4.1.3 Cristal de rocha .....	98
4.1.4 Sulfetos .....	99
4.1.5 Granito.....	99
4.1.6 Molibdenita .....	99
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	102

# **1. INTRODUÇÃO**

---

No ano de 2001, foi criado o programa GIS do Brasil proporcionando a introdução da tecnologia digital GIS e banco de dados GEOBANK, e criando uma rede de integração 1:2.500.000 e 1:1.000.000 do país. Em uma fase após a criação do programa GIS do Brasil, foram analisados os problemas cartográficos, sobretudo de ordem litoestratigráfica, geocronológica, tectônica e metalogenética.

A partir disto, houve a concepção, dentro do Plano Plurianual (PPA) 2004-2007 do Governo Federal, de um novo programa de levantamentos geológicos com vistas ao avanço no conhecimento geológico do Brasil: o Programa Nacional de Geologia (PRONAGEO), vinculado diretamente ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Este programa visa á retomada do ciclo de geração de jazidas minerais, o fortalecimento dos sistemas estaduais de geologia e recursos minerais, a indução do setor de serviços em geologia, geofísica, geoprocessamento e outros, o incremento no conhecimento geocientífico e, a capacitação de recursos humanos.

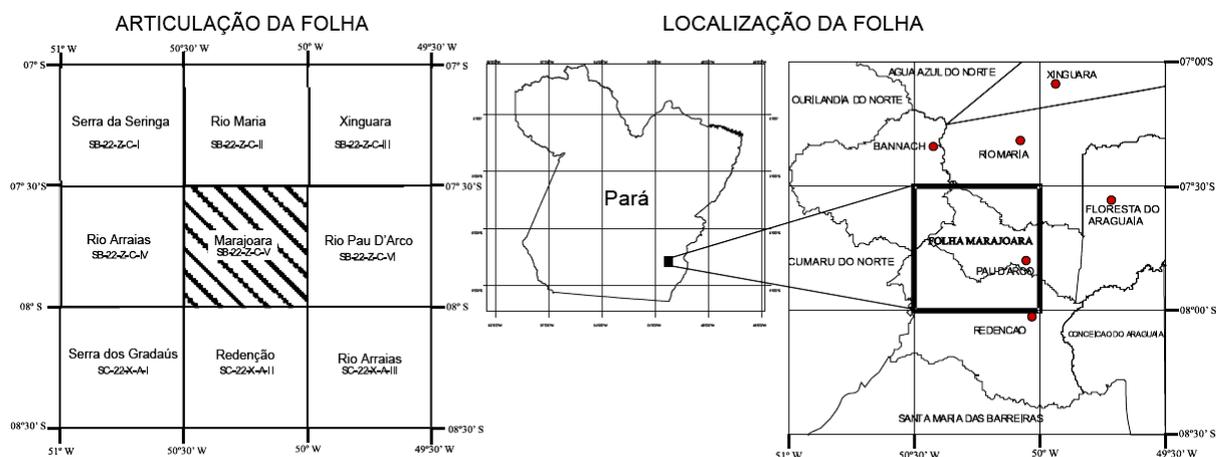
Os dados sobre a geologia da Folha Marajoara (SB.22-Z-C-V) resultam em grande parte de trabalhos de mapeamento geológico e prospecção, executados pelas equipes da Docegeo e CPRM. Pesquisadores responsáveis pela execução deste trabalho e pertencentes ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) e ao Laboratório de Geologia Isotópica do Centro de Geociências – UFPA, deram uma contribuição significativa nas últimas décadas, através de trabalhos de detalhe na região, em particular sobre as rochas granitóides, tendo sido realizados trabalhos de conclusão de cursos de graduação em Geologia (Rocha Jr. 2004), dissertações de mestrado (Gastal 1987, Duarte 1992, Almeida 2005, Oliveira 2005) e teses de doutorado (Althoff 1996).

A Folha Marajoara está inserida na área deste projeto e a execução do levantamento geológico de tal foi de responsabilidade de uma equipe de profissionais geólogos da Universidade Federal do Pará (UFPA), sob a coordenação do professor Roberto Dall’Agnol.

## **1.1 Localização e Acessos**

A Folha Marajoara (SB.22-Z-C-V), objeto deste mapeamento, abrange uma superfície de aproximadamente 3.025 km<sup>2</sup>, e está situada na porção sudeste do Estado do Pará. É limitada pelos paralelos 7°30’ e 8°00’ sul e pelos meridianos 50°00’ e 50°30’ oeste de Greenwich (Figura 1.1). Os seus domínios territoriais envolvem os seguintes municípios: Pau D’Arco, Rio Maria, Bannach e Redenção, sendo que as sedes dos três últimos encontram-se fora dos limites da folha.

O acesso à área pode ser feito através de via rodoviária ou aéreo e rodoviário integrados. O principal acesso, partir de Belém, é feito através da rodovia pavimentada PA-150, que corta a folha na sua porção extremo leste, no sentido aproximado norte-sul, em toda a sua extensão.



**Figura 1.1:** Articulação da Folha Marajoara

Outra forma de acesso é através da BR-010 (Belém-Brasília) até os entroncamentos com a PA-070 e com a TO-376/PA-287, sendo que ambas convergem em direção a PA-150 nas cidades de Marabá e Redenção, respectivamente.

A área da Folha Marajoara apresenta uma satisfatória rede de estradas vicinais, as quais em sua maioria estão ligadas a PA-150 ou a estrada que liga as cidades de Redenção e Cumaru (sudoeste da folha). A maior parte das vicinais está em estado de razoável trafegabilidade sendo possível alcançar através destas, na maioria das vezes, as sedes de fazendas e os demais núcleos populacionais.

Em termos de acesso aéreo, este pode ser feito a partir de Belém até as cidades de Marabá e Carajás através de vôos regulares de jatos de grandes empresas aéreas, e no caso de Redenção, em vôos realizados por aviões de menor porte. Existe ainda a possibilidade de utilização de campos de pouso de algumas sedes municipais e fazendas, os quais suportam aviões de pequeno porte, tipo mono e bimotores.

## 1.2 Dados de Produção

Durante o decorrer do projeto de mapeamento na escala 1: 100.000 da Folha Marajoara SB.22-Z-C-V, foram descritos 1-2381-274-9 afloramentos, a partir dos quais foram selecionadas amostras para confecção de 50 (cinquenta) lâminas petrográficas e, posteriormente, com base no estudo petrográfico, foram realizadas análises químicas em trinta amostras. Na busca do entendimento da relação entre as unidades que ocorrem na Folha Marajoara, bem como pelo melhor posicionamento estratigráfico de tais, foram realizadas duas datações geocronológicas, pelo método Pb-Pb em zircão, em amostras posteriormente reconhecidas como sendo afins do Tonalito Arco Verde e do Leucogranito tipo Mata Surrão.

### **1.3 Agradecimentos**

A equipe técnica, que produziu este trabalho, agradece:

Ao apoio dos geólogos da CPRM da SUREG-Belém, principalmente na área de geoprocessamento (Geólogo Paulo Marinho). Ao geólogo Evandro Klein, pela participação na etapa de fiscalização do projeto, bem como pelas sugestões oriundas de sua participação;

À Universidade Federal do Pará, pela infra-estrutura e apoio de seus profissionais;

À Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa, pelo apoio na administração dos recursos financeiros deste projeto;

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides, pelas diferentes e valorosas colaborações a este trabalho;

Ao Laboratório Pará-Iso da Universidade Federal do Pará, através dos geólogos Cândido Augusto Moura e Bruno Luís Pinheiro, pela colaboração na obtenção das idades geocronológicas deste projeto.

### **1.4 Aspectos Fisiográficos**

#### **1.4.1 Clima**

Segundo dados do IBGE e do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, a área abrangida pela Folha Marajoara caracteriza-se por apresentar clima quente e úmido, com chuvas abundantes durante quase todo o ano. A estação chuvosa compreende o período de outubro a maio, sendo o mês de março o de maior precipitação. A estação mais seca, não muito pronunciada, abrange no máximo quatro meses, de junho a setembro.

De acordo com os institutos citados, a média anual das precipitações pluviométricas alcança, na área, aproximadamente 2.000mm. As temperaturas médias anuais são sempre superiores a 20°C, normalmente situadas entre 24° e 26°C, sendo que a média máxima situa-se entre 31° e 32°C. Na região são freqüentes os dias nublados e a umidade relativa do ar é bastante alta, situando-se em torno de 80 a 85%. O mês de abril é o de maior umidade, alcançando cerca de 90%.

#### **1.4.2 Vegetação**

A cobertura vegetal que ocorre na Folha Marajoara, de acordo com estudos realizados por Veloso *etal.* (1974), pode ser dividida em três grandes grupos, a saber: a) Região de Cerrado, b) Região de Floresta Aberta e c) Faixa de Contato.

a) A Região de Cerrado se caracteriza por apresentar árvores tortuosas e de grandes folhas, raramente residuais, bem como, por formas biológicas adaptadas aos solos deficientes, profundos e aluminizados.

b) A Região da Floresta Aberta ocupa aproximadamente cerca de 60% da área da Folha Marajoara, cuja principal característica é a de grandes árvores, bastante espaçadas e de freqüentes

grupamentos de palmeiras e enorme quantidade de plantas lenhosas flexíveis. Nela se encerra uma gama considerável de madeiras de lei, tais como: mogno (rara), angelim, massaranduba, su cupira etc.

- c) A Faixa de Contato caracteriza-se pela presença de pequenos grupos de vegetação de cerrado (Campo Cerrado e Cerradão), além do tipo Floresta Densa Sub-Montana Acidentada, envolvida pela Floresta Aberta. Na Folha Marajoara, eles ocorrem em áreas do Grupo Tocantins e de rochas graníticas. Na Faixa de Contato, observa-se, ainda, uma concentração de espécies residuais, principalmente sobre cristas quartzíticas com capeamento arenoso.

#### **1.4.3 Solo**

Generalizadamente, segundo dados com pilados de Rosatelli *et al.* (1974), a Folha Marajoara abriga quatro tipos principais de solos: Podzólico Vermelho-Amarelo, Solos Litólicos, Latossolo Vermelho-Amarelo e Solos Hidromórficos Gleyzados.

#### **1.4.4 Hidrografia**

A malha hidrográfica da Folha Marajoara abrange o rio Pau D'Arco e seus tributários.

#### **1.4.5 Geomorfologia**

O estudo dos aspectos geomorfológicos da Folha Marajoara foi realizado a partir das observações efetuadas durante o mapeamento geológico, associados aos trabalhos anteriores executados na região, além dos sensores remotos e cartas planialtimétricas. Tais informações foram integradas e analisadas, segundo a metodologia proposta por Ponçano *et al.* (1979), que se baseia no estudo de Sistemas de Relevo. Conceitualmente, esses sistemas compreendem áreas com características físicas próprias, e são constituídas por unidades e elementos de relevo.

A integração dos dados obtidos com a metodologia desenvolvida por Ponçano *et al.* (1979) permitiu individualizar os seguintes Compartimentos Geomorfológicos e Sistemas de Relevo:

- a) Relevo Colinoso;
- b) Relevo de Serras;
- c) Relevo de Morros.

### **1.5 Trabalhos Anteriores**

Na área da Folha Marajoara, foram realizadas diversas pesquisas a nível de iniciação científica, trabalho de conclusão de curso (TCC) de graduação, mestrado e doutorado, todos ligados à Universidade Federal do Pará (UFPA). Um dos trabalhos pioneiros na região foi a Dissertação de Mestrado de Gastal (1987), cujos estudos envolveram petrografia, geoquímica e mapeamento geológico (1:50.000) do Granito Anorogênico Musa, situado na porção nordeste da Folha Marajoara. No trabalho de Gastal (1987), foram coletadas, dentro da área da Folha Marajoara, 208 amostras das quais 34 foram laminadas e submetidas a análises modais. Do conjunto amostrado, foram feitas análises químicas de elementos maiores e alguns traços em 30 amostras com ou sem

lâmina delgada. Posteriormente, foram obtidos valores de suscetibilidade magnética (SM) em 76 amostras (Magalhães 1991).

A Dissertação de Mestrado de Duarte (1992), envolveu trabalhos de mapeamento geológico (1:50.000), petrografia, geoquímica e geocronologia, concentrados em amostras do Leucogranito Potássico Mata Surrão e de sua encaixante, o Tonalito Arco Verde. Foram ainda estudadas em caráter de reconhecimento, algumas amostras do Granito Bannach, coletadas no centro-norte da Folha. No total, foram coletadas 153 amostras, sendo confeccionadas lâminas delgadas de 36 amostras, todas submetidas a análises modais, além de 18 análises químicas e 6 determinações isotópicas de Rb-Sr que permitiram a construção de uma isócrona Rb-Sr em rocha total.

Concluída em 1996, a Tese de Doutorado do geólogo Fernando Jacques Althoff (Althoff 1996), teve como base um mapeamento geológico na escala 1:100.000 e estudos petrográficos, geoquímicos, estruturais e petrológicos, em granitóides arqueanos que ocorrem essencialmente nas cercanias da PA-150, desde o norte de Vila Marajoara até norte da cidade de Redenção, porção leste da Folha Marajoara. Nesta região, ocorrem granitóides arqueanos, dentre eles o Tonalito Arco Verde, o Granodiorito Rio Maria e Leucogranitos Potássicos, sendo que o trabalho foi concentrado em 75 amostras destas rochas, sendo elaboradas 18 lâminas delgadas, todas submetidas a análises modais e 3 análises químicas.

Durante o Trabalho de Conclusão de Curso de Rocha Jr. (2004), foi realizado mapeamento geológico (1:100.000) e coletadas 11 amostras do Granito Marajoara (10) e do Tonalito Arco Verde (01) estudo petrográfico em 09 lâminas delgadas do Granito Marajoara, leste da Folha homônima, sendo realizadas análises modais em todas elas.

A Dissertação de Mestrado de Almeida (2005) concentrou-se no mapeamento geológico (1:100000) e estudo petrográfico e geoquímico do Granito Bannach, noroeste da Folha, e parte da amostragem está dentro da área da Folha Marajoara. São 115 amostras, em sua ampla maioria do Granito Bannach e algumas poucas de suas encaixantes arqueanas, Granodiorito Rio Maria, Leucogranitos Potássicos e Tonalito Arco Verde. Deste conjunto, foram confeccionadas 30 lâminas delgadas, 17 análises modais e 07 análises químicas. O trabalho desenvolvido por Oliveira (2005) em sua Dissertação de Mestrado, foi concentrado na porção do Granodiorito Rio Maria que ocorre na região a leste da cidade de Bannach, em sua quase totalidade nos domínios da Folha SB-22-Z-C II, Rio Maria. Foram coletadas apenas 4 amostras no extremo norte da Folha Marajoara, sendo 1 de Granodiorito Rio Maria e 3 do Supergrupo Andorinhas, das quais foram feitas 3 lâminas polidas.

## **2. CONTEXTO TECTÔNICO E GEOLOGIA REGIONAL**

---

A Folha Marajoara, objeto deste trabalho, localiza-se na borda sudeste do Cráton Amazônico, dentro da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira 1999) (Figura 2.1) ou Carajás (Santos *et al.* 2000) no contexto da Província Mineral de Carajás (PMC) e, mais especificamente, do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM).

A Província Mineral de Carajás constitui o limite sul-oriental do Cráton Amazônico (Almeida 1967), e está limitada a leste pelo Cinturão Araguaia. A PMC tem sido intensamente estudada nos últimos anos, havendo diversas sínteses sobre sua evolução geológica (Docegeo 1988, Huhn *et al.* 1988, Souza *et al.* 1990, Araújo *et al.* 1994, Costa *et al.* 1995, Macambira & Lafon 1995, Dall'Agnol *et al.* 1997a, entre outros). Estudos geocronológicos apontaram idades arqueanas para a PMC (Machado *et al.* 1991, Macambira 1992, Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lafon 1995, Macambira & Lancelot 1996, Huhn *et al.* 1999). Alguns autores (Docegeo 1988, Souza *et al.* 1990, entre outros) propuseram modelos estratigráficos para a PMC, onde estabeleceram a existência de um terreno granito-*greenstone* preservado na porção sul (região de Rio Maria – Serra dos Gradaús).

A divisão do Cráton Amazônico em províncias tectônicas foi inicialmente proposta por Cordani & Brito Neves (1982), Hasui *et al.* (1984), Lima (1984). Hasui *et al.* (1984) consideraram que a formação do cráton ocorreu essencialmente no Arqueano e que, posteriormente, durante o Proterozóico, ele foi afetado por eventos de reativação. Porém, os demais autores mencionados admitem que um núcleo foi formado durante o Arqueano, e eventos acrecionários promoveram a geração gradual de novas províncias durante o Proterozóico.

Nos últimos anos vários modelos geotectônicos foram propostos para o Cráton Amazônico (Costa & Hasui 1997, Cordani & Sato 1999, Tassinari & Macambira 1999, Santos *et al.* 2000), avaliados e discutidos por Dall'Agnol *et al.* (2000). No modelo que divide o Cráton Amazônico em diversos blocos tectônicos, Costa & Hasui (1997) consideram que estes blocos possuem idade arqueana ou, pelo menos, paleoproterozóica, porém não apresentam dados geocronológicos que sustentem tais idades. Por sua vez, os trabalhos de Cordani & Sato (1999), Santos *et al.* (2000) e Tassinari & Macambira (1999), baseiam-se em dados geocronológicos para propor a divisão do Cráton Amazônico em diferentes províncias. Apesar de alguns pontos divergentes, em todos os modelos citados acima a PMC encontra-se em domínio arqueano.

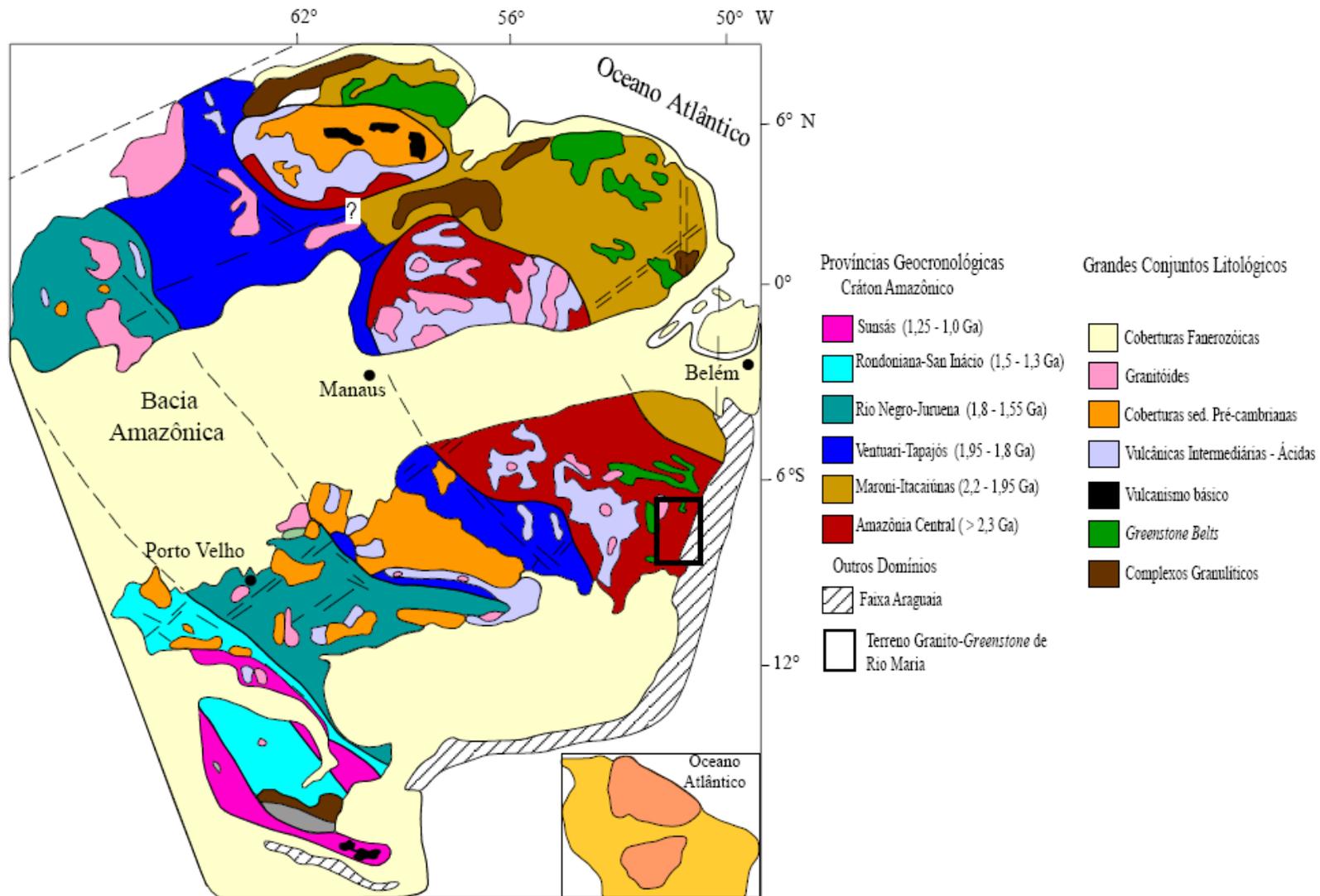
No modelo de Tassinari e Macambira (1999), o Cráton Amazônico foi dividido em seis províncias geocronológicas, dentre as quais a PMC situa-se na porção oriental da Província Amazônia Central (Figura 1.2). Santos *et al.* (2000) subdividem o Cráton Amazônico em oito províncias geotectônicas: (1) Carajás-Imataca; (2) Transamazônica; (3) Tapajós-Parima; (4) Amazônia Central; (5) Rio Negro; (6) Rondônia-Juruena; (7) K'Mudku e (8) Sunsás. Com base neste modelo

a PMC está localizada na Província Carajás-Imataca, mais precisamente no que é definido pelos autores citados como Província Carajás, arqueana.

Araújo *et al.* (1994), Araújo & Costa (1994) e Costa *et al.* (1995) distinguiram na PMC três compartimentos tectônicos, denominados, de norte para sul, de Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (CI), Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM) e Cinturão Pau D'Arco (CPD). Com o avanço do conhecimento, tal modelo passou a ser questionado por Althoff *et al.* (1991, 1995), Althoff (1996) e Dall'Agnol *et al.* (1997a) que não confirmam a existência do CPD na região de Redenção e admitem ser esta uma extensão para sul do TGGRM e não um cinturão distinto. Além disso, nos últimos anos, o limite entre o TGGRM e o CI tem sido também discutido e colocado ou a sul de Xinguara (Costa *et al.* 1990) ou a norte do *Greenstone belt* Sapucaia (Souza 1994). Tal limite foi deslocado por Leite (2001) para o norte da região de Xinguara. O mesmo individualizou granitóides e gnaisses ocorrentes nesta área, desmembrando-os do Complexo Xingu em duas novas unidades: Complexo Tonalítico Caracol e Trondhjemito Água Fria. Além disso, identificou uma nova ocorrência do Granodiorito Rio Maria, que é intrusivo no Complexo Tonalítico Caracol e cortado pelo Trondhjemito Água Fria, e apresentou um estudo detalhado do Leucogranito arqueano Xinguara. O prolongamento do TGGRM até a Serra do Inajá, sul de Redenção, foi demonstrado por Rolando & Macambira (2002, 2003) que, através de idades Pb-Pb em zircão e dados isotópicos Sm-Nd, em rochas dessa região correlacionadas ao Tonalito Arco Verde, Granodiorito Rio Maria e Granito Mata Surrão, além de *greenstone-belts* do Grupo Serra do Inajá, confirmaram a similaridade entre as primeiras e aquelas pertencentes ao terreno granito-*greenstone* de Rio Maria. Com base nisso propuseram a extensão até a Serra do Inajá do TGGRM.

De acordo com Souza *et al.* (1996), a Província Carajás é dividida em dois domínios tectônicos, o Terreno Granito *Greenstone* de Rio Maria (TGGRM) e a Bacia Carajás (BC), os quais mostram algumas diferenças marcantes, conforme discutido por Dall'Agnol *et al.* (1997a, 2000) e Althoff *et al.* (2000). Os *greenstone belts* do TGGRM têm idades de 2,97 a 2,9 Ga e são formados predominantemente por komatiitos e basaltos toleíticos, enquanto na BC as sequências supracrustais do Supergrupo Itacaiúnas são comparativamente mais jovens (2,76 Ga; Machado *et al.* 1991) e composicionalmente formadas por metavulcânicas máficas e formações ferríferas bandadas. As rochas arqueanas do TGGRM foram formadas entre 3,0 e 2,86 Ga (Macambira & Lafon 1995, Leite 2001), já na BC as principais unidades arqueanas foram formadas de 2,76 a 2,70 Ga. Na BC há registros de um evento deformacional arqueano entre 2,58 e 2,50 Ga (Machado *et al.* 1991), enquanto no TGGRM o evento deformacional arqueano mais novo tem idade de 2,86 Ga. Além destas diferenças, três grupos de granitóides arqueanos, com idades entre 2,97 e 2,86, foram distinguidos no TGGRM (Dall'Agnol *et al.* 1997a e referências naquele trabalho), são eles: os tipo TTG, trondhjemitos e tonalitos com raros granodioritos; granodioritos com alto MgO similares aos granitóides sanukitóides; e leucogranitos com alto K<sub>2</sub>O. Em contrapartida, na BC e na sua zona de transição com o TGGRM tem-se a ocorrência de granitóides subalcalinos (Complexo Estrela e Granitos Planalto e Serra do Rabo), que mostram idades em torno de 2,75 Ga (Huhn *et al.* 1999, Sardinha 2002, Barros *et al.* 2004), da suíte granítica Plaquê, com idade de 2,73 Ga (Avelar *et al.* 1999) localizada a sul da bacia, e granitos tipo-A sintectônicos datados em 2,55 Ga (Granito Old Salobo; Machado *et al.* 1991).

A estabilização tectônica do TGGRM ocorreu antes do que na BC. Na Bacia Carajás, Lindenmayer (1990) assumiu a hipótese de que as seqüências supracrustais estão relacionadas a ambiente tectônico de rift continental, enquanto Teixeira & Egler (1994) propuseram um modelo envolvendo um ambiente de margem continental, evolução que foi relacionada à subducção de uma crosta oceânica, seguida por uma colisão continental.



**Figura 2.1:** Provincias Geocronológicas do Cráton Amazônico (Tassinari & Macambira 1999).

### 3. ESTRATIGRAFIA

---

A litoestratigrafia do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria pode ser melhor visualizada no mapa geológico da Figura 3.1, e os dados geocronológicos disponíveis estão nas Tabelas 3.1 e 3.2.

O Supergrupo Andorinhas engloba os *greenstone belts* do TGGRM, formados predominantemente por komatiitos e basaltos toleíticos, com idades que variam de 2,97 a 2,9 Ga, correspondendo, assim como a geração do Tonalito Arco Verde e Complexo Tonalítico Caracol, ao evento geológico mais antigo deste terreno (Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lafon 1995). O evento que produziu os *greenstone belts* do TGGRM foi predominantemente vulcânico máfico-ultramáfico, com contribuições ácidas e sedimentares ocorrendo subordinadamente.

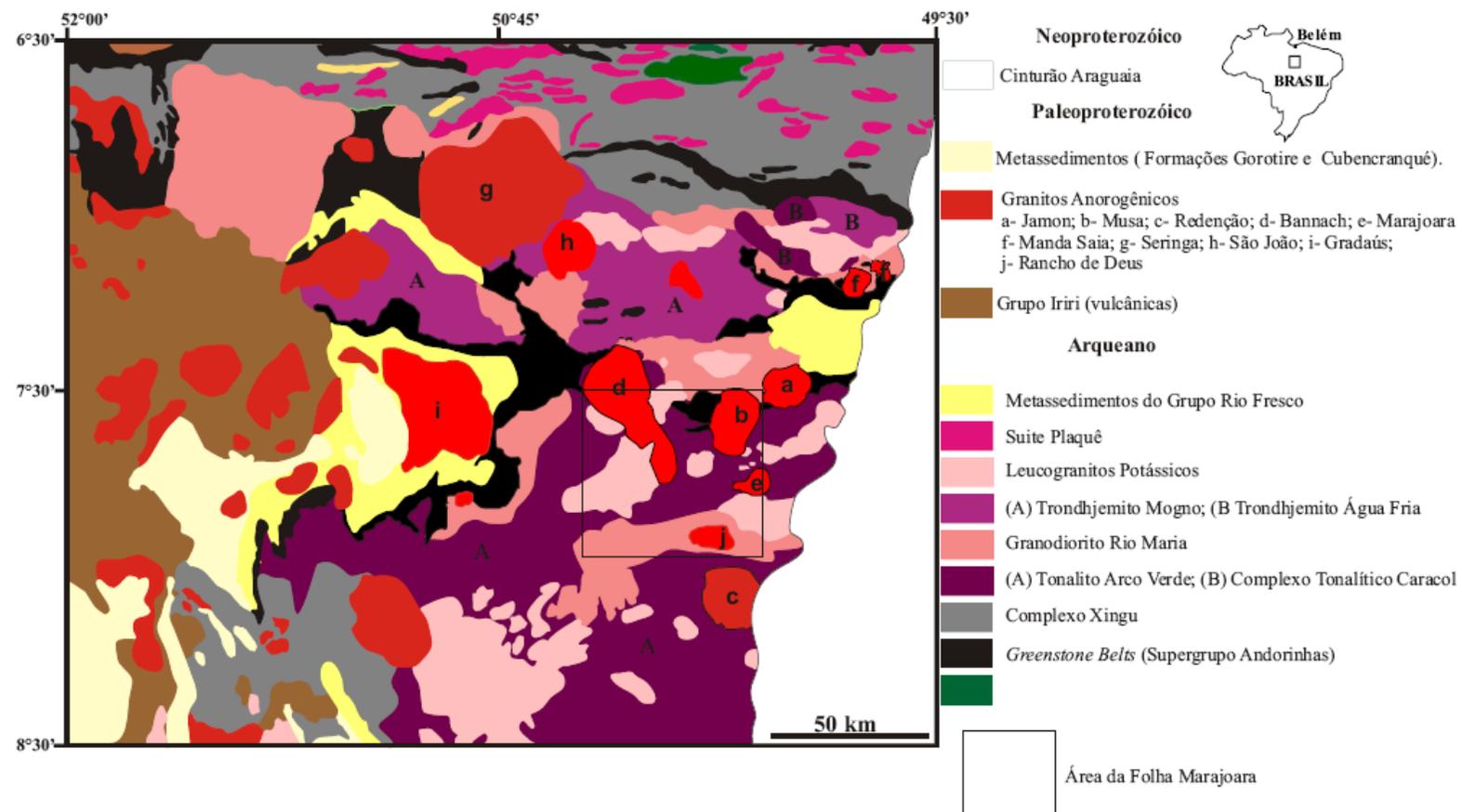
No período entre 2,98 e 2,92 Ga são originados, também, corpos plutônicos da série TTG, agrupados no Tonalito Arco Verde que apresenta idades U/Pb em zircão de 2,96 Ga (Macambira 1992) e Pb/Pb em zircão de  $2948 \pm 7$  Ma e  $2981 \pm 8$  Ma (Rolando & Macambira 2003) e corresponde, juntamente com o Complexo Tonalítico Caracol, com idades de  $2948 \pm 5$  a  $2924 \pm 2$  Ma (Leite 2001), aos granitóides mais antigos do TGGRM. O Granito Guarantã com idade de ~ 2,93 Ga (Althoff 1996, Althoff *et al.* 2000) é o leucogranito potássico mais velho da região. Posteriormente, entre 2,87-2,86 Ga, a região foi afetada por um novo evento magmático que gerou os granitóides TTG mais jovens, representados pelo Trondhjemito Mogno, Trondhjemito Água Fria e Tonalito Parazônia (Huhn *et al.* 1988, Souza 1994, Leite 2001), granitóides sanukitóides de alto Mg do tipo Granodiorito Rio Maria (Medeiros & Dall'Agnol 1988, Souza 1994, Althoff 1996, Leite 2001), além dos leucogranitos potássicos, de afinidade cálcico-alcálica, Mata Surrão (Duarte 1992, Duarte *et al.* 1991), Xinguara (Leite *et al.* 1999, 2004). Após a geração destes granitóides, formaram-se as rochas sedimentares do Grupo Rio Fresco.

Durante o Paleoproterozóico, mais precisamente em torno de 1,88 Ga, a região de Rio Maria foi palco de magmatismo granítico anorogênico (CPRM 2000, Dall'Agnol *et al.* 1994, 1997a, 2000, 2005), representado na região pelos Granitos Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1999a), Musa (Gastal 1987), Marajoara (Rocha Jr. 2004), Bannach (Almeida 2005), Redenção (Montalvão *et al.* 1982, Vale & Neves 1994, Oliveira 2001) e Manda Saia (Leite 2001), que são agrupados na Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1999b, 2005). Há ainda a presença de diques félsicos a máficos, contemporâneos dos granitos proterozóicos, e que seccionam tanto as unidades arqueanas quanto os granitos paleoproterozóicos (Gastal 1987, Huhn *et al.* 1988, Souza *et al.* 1990, Silva Jr. 1996, Rivalenti *et al.* 1998, Silva Jr. *et al.* 1999).

A seguir será apresentada uma síntese das principais características das unidades litoestratigráficas que compõem o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), com base na literatura.

## **- Supergrupo Andorinhas**

Hirata *et al.* (1982) agruparam os *greenstone belts* do TGGRM no Supergrupo Andorinhas, que foi subdividido em Grupo Babaçu (unidade inferior) e Grupo Lagoa Seca (unidade superior), apesar de mantê-los como parte do Complexo Xingu. O Grupo Babaçu é composto predominantemente por rochas máficas e ultramáficas e o Grupo Lagoa Seca por rochas metassedimentares clásticas e metavulcânicas félsicas. O Supergrupo Andorinhas é representado na região estudada pela seqüência Pedra Preta (Docegeo 1982, Cordeiro *et al.* 1984), formada por uma unidade máfica basal, a base de derrames basálticos recobertos por prováveis tufos básicos, e uma segunda unidade composta por metassedimentos quartzosos, correspondendo a metarenitos, intercalados a metassiltitos, e por corpos orientados de metadacitos. Em trabalhos posteriores (Docegeo 1988, Huhn *et al.* 1988, Souza *et al.* 1988 e 1990, Souza 1994), o Supergrupo Andorinhas foi individualizado do Complexo Xingu e datado, mostrando idades em torno de 2,98 Ga e 2,90 Ga (Macambira 1992, Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lafon 1995, Tabela 1.1). O Supergrupo Andorinhas não mostra no campo relações estratigráficas claras com o Tonalito Arco Verde e o Complexo Tonalítico Caracol, porém Leite (2001) relaciona xenólitos máficos que ocorrem no último com a seqüência Sapucaia. Segundo Souza (1994), a seqüência de Identidade é cortada pelo Granodiorito Rio Maria e Trondhjemitó Mogno, o que confere idade mais antiga, dentro do TGGRM, aos *greenstone-belts*.



**Figura 3.1:** Mapa Geológico simplificado da área de ocorrência do Terreno Granito-Greenstone do Rio Maria reproduzido a partir da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (CPRM 2004) (Fontes originais *et al.* 1987, Huhn *et al.* 1988, Docegeo 1988, Souza *et al.* 1990, Althoff *et al.* 1991, Duarte 1992, Souza 1994, Araújo *et al.* 1994, Vale & Neves 1994, Althff *et al.* 2000, Leite 2001, Almeida 2005, Oliveira 2005)

**Tabela 3.1:** Dados geocronológicos das rochas arqueanas do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria.

Unidades Estratigráficas	Tipo de Rocha	Método	Material Analisado	Idade/ Referência
Granito Xinguara	Leucogranito (área tipo)	Pb-Pb	Zircão	2865 ± 1 Ma (10)
	Leucogranito (Serra do Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2875 ± 11 Ma (8)
	Leucogranito (Marajoara)	Pb-Pb	Zircão	2871 ± 7 Ma (6)
Complexo Xingu	Gnaisses Tonalíticos	U-Pb	Titanita	2798 ± ? Ma (2)
Granito Mata Surrão	Leucogranito (área tipo)	Pb-Pb	Rocha total	2872 ± 10 Ma (5)
Granodiorito Cumaru	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2817 ± 4 Ma (4)
Tonalito Parazônia	Granitóide	U-Pb	Titanita	2858 Ma (2)
Trondhjemito Água Fria	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2864 ± 21 Ma (9)
Trondhjemito Mogno	Granitóide	U-Pb	Titanita	2871 ± ? Ma (2)
Granodiorito Rio Maria	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2874 + 9/-10 Ma (1)
	Granodiorito	U-Pb	Zircão, Tit.	2872 ± 5 Ma (2)
	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2878 ± 4 Ma (3)
	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2850 ± 17 Ma (12)
	Granodiorito (Serra do Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2879 ± 4 Ma (8)
				2877 ± 6 Ma (11)
Granito Guarantã	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2930 Ma (7)
Complexo Tonalítico Caracol	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 5 Ma (10)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 3 Ma (10)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2942 ± 2 Ma (10)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	U-Pb	Zircão	2957 + 25/-21 Ma(1)
		Pb-Pb	Zircão	2948 ± 7 Ma (8)
		Pb-Pb	Zircão	2981 ± 8 Ma (11)
Supergrupo Andorinhas /Lagoa Seca	Metagrauvascas	U-Pb	Zircão	2971 ± 18 Ma (1)
	Metavulcânica Félsica	U-Pb	Zircão	2904+29/-22Ma(1)
	Metavulcânica Félsica	U-Pb	Zircão	2972 ± 5 Ma (2)

Fonte dos dados: (1) - Macambira (1992); (2) - Pimentel & Machado (1994); (3) - Dall'Agnol *et al.* (1999a); (4) - Lafon & Scheller (1994); (5) - Lafon *et al.* (1994); (6) - Althoff *et al.* (1998); (7) - Althoff *et al.* (2000); (8) - Rolando & Macambira (2002); (9) Macambira *et al.* (2000); (10) Leite (2001); (11) Rolando & Macambira (2003); (12) Avelar (1996).

### – Granitóides Arqueanos

Os Granitóides arqueanos do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria foram divididos por Dall'Agnol *et al.* (1997a), com base em aspectos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos, em três grupos. Os três grupos têm idades arqueanas de 3,0 a 2,86 Ga (Tabela 1.1). Um quarto grupo reuniria os granitos paleoproterozóicos (1,88 Ga), discutidos adiante. Os três grupos de granitóides mais antigos são assim definidos: 1 – Séries tonalito-trondhjemito-granodioritos do tipo TTG; 2 – granitóides sanukitóides de alto Mg (Althoff 1996), tipo Granodiorito Rio Maria; e 3 – leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcálica. O grupo dos TTGs foi ainda dividido em dois subgrupos em função de suas idades: 1A – TTGs mais antigos mostrando idades entre 2,98 e 2,92 Ga; e 1B – TTGs mais jovens apresentando idades próximas de 2,87 Ga (Tabela 1.1). No que diz respeito aos

leucogranitos potássicos, o evento mais expressivo de sua formação foi datado em torno de 2,87 Ga (Lafon *et al.* 1994, Leite *et al.* 2004), porém uma idade de 2,93 Ga obtida por Althoff *et al.* (2000) para o Granito Guarantã leva a crer na existência de um magmatismo granítico mais antigo.

### **– Granitóides tonalíticos-trondhjemiticos (TTGs)**

De acordo com Dall'Agnol *et al.* (1997a), e levando em consideração as modificações introduzidas por Leite (2001), os granitóides da série tonalito-trondhjemitito-granodiorito do TGGRM são representados pelo Tonalito Arco Verde, Complexo Tonalítico Caracol, Trondhjemitito Mogno e Trondhjemitito Água Fria, sendo os tonalitos e trondhjemitos enquadrados nos subgrupos de TTGs mais antigos e mais jovens, respectivamente.

O Tonalito Arco Verde apresentou idades em zircões de  $2957 \pm 25$  Ma (U-Pb, Macambira 1992),  $2948 \pm 7$  Ma,  $2981 \pm 8$  Ma,  $2965 \pm 1$  Ma e  $2988 \pm 5$  Ma (Rolando & Macambira 2002, 2003) e corresponde, juntamente com o Complexo Tonalítico Caracol, com idades de  $2948 \pm 5$  Ma a  $2924 \pm 2$  Ma (Leite 2001), aos granitóides mais antigos datados no TGGRM. Idades similares foram obtidas para TTGs do Complexo Xingu ( $2972 \pm 16$  Ma, Avelar 1996, Avelar *et al.* 1999). De acordo com Althoff (1996) e Althoff *et al.* (2000), o Tonalito Arco Verde é uma típica suíte TTG, seguindo o *trend* de enriquecimento acentuado em  $\text{Na}_2\text{O}$  nas rochas mais evoluídas, distinto daquele das séries cálcico-alcálicas, e mostrando características de trondhjemitito com alto  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Segundo Althoff (1996) e Althoff *et al.* (2000), o Tonalito Arco Verde seria derivado de fusão parcial de um granada-anfibolito, com a evolução do magma inicial acontecendo por cristalização fracionada. Os padrões de elementos terras raras desprovidos de anomalia significativa de Eu e o forte fracionamento e empobrecimento em elementos terras raras pesados sugerem um fracionamento simultâneo de plagioclásio e anfibólio, além da retenção de terras raras pesados na fonte ou nas fases fracionadas (Dall'Agnol *et al.* 1996, 1997a) como fatores determinantes para estas características.

O Complexo Tonalítico Caracol e o Trondhjemitito Água Fria (Leite 2001), que ocorrem nas cercanias da cidade de Xinguara, são igualmente granitóides do tipo TTG, destacando-se o ligeiro enriquecimento em  $\text{K}_2\text{O}$  nos termos mais evoluídos, granodioríticos, do último. O Complexo Tonalítico Caracol foi dividido geoquimicamente em um grupo com baixa e outro com mais altas razões  $\text{La}_n/\text{Yb}_n$ . O líquido gerador das rochas do Complexo Tonalítico Caracol, com altas razões  $\text{La}_n/\text{Yb}_n$ , seria oriundo da fusão de metabasaltos não enriquecidos, previamente transformados em granada-anfibolito. Os com baixas razões poderiam derivar de fonte similar a mencionada, porém transformado em anfibolitos sem granada. Leite (2001) aventava que os metabasaltos, prováveis fontes para estas rochas, poderiam corresponder aos do *Greenstone Belt* de Identidade ou de rochas geoquimicamente similares.

Os TTGs mais jovens (trondhjemitos Mogno e Água Fria), apesar de serem formados predominantemente por trondhjemitos, mostram características geoquímicas similares aos TTGs mais antigos. Os magmas que formaram os trondhjemitos podem ter sido derivados de processos semelhantes aos que formaram os TTGs mais antigos. Com idade de 2.871 Ma (U/Pb em

titanita, Pimentel & Machado 1994), o Trondhjemitó Mogno forma um batólito que varia composicionalmente para termos tonalíticos (Tonalito Parazônia, Docegeo 1988).

### **- Granitóides sanukitóides com alto Mg**

As rochas granitóides ricas em Mg do TGGRM são representadas pelo Granodiorito Rio Maria (GDrm) com idade em torno de 2874  $\pm$  9/-10 Ma (U/Pb em zircão, Macambira 1992, Macambira & Lancelot 1996, idade esta confirmada por varias datações posteriores; cf. Tabela 1.1). Dall'Agnol *et al.* (1986) denominaram informalmente de Granodiorito Rio Maria, os domos de granitóides arrasados identificados por Cordeiro (1982), truncando biotita gnaisses, migmatitos e seqüências do tipo *greenstone-belts*. Medeiros *et al.* (1987) formalizaram a denominação de Granodiorito Rio Maria.

O Granodiorito Rio Maria (GDrm) ocorre em grandes áreas do TGGRM (Figura 1.2). Sua área tipo está localizada nas proximidades da cidade de Rio Maria, mas também acha-se exposto a sul e noroeste de Xinguara, a norte de Redenção e a leste da cidade de Bannach. Alguns granitóides descritos nas regiões de Carajás, Xingu e Serra do Inajá, são também correlacionados ao Granodiorito Rio Maria (Docegeo 1988, Costa *et al.* 1995, Rolando & Macambira 2002, 2003). Normalmente ocorrem associadas a ele, rochas máficas e intermediárias formando enclaves, ou mais raramente pequenos corpos, como a sul de Xinguara e na região a leste da cidade de Bannach (Medeiros 1987, Medeiros & Dall'Agnol 1988, Souza 1994, Oliveira 2005).

As fácies identificadas no GDrm mostram-se predominantemente granodioríticas, e subordinadamente, monzograníticas, quartzo-dioríticas, quartzo-monzodioríticas e dioríticas (Medeiros 1987, Althoff 1996, Leite 2001, Oliveira 2005). Os dioritos, quartzo-dioritos e quartzo-monzodioritos são pouco abundantes se comparados aos granodioritos. De acordo com os dados modais, as rochas do Granodiorito Rio Maria seguem o *trend* da série cálcico-alcalina granodiorítica de Lameyre & Bowden (1982).

O Granodiorito Rio Maria forneceu idades de cristalização de 2874  $\pm$  9/-10 Ma (U/Pb em zircão, Macambira 1992, Macambira & Lancelot 1996), 2872  $\pm$  5 Ma (U/Pb em zircão e titanita, Pimentel & Machado 1994) e 2878  $\pm$  4 Ma (Pb-Pb em zircão em quartzo-diorito, Dall'Agnol *et al.* 1999a) (Tabela 1.1). Rochas similares ao GDrm que ocorrem na região do Xingu, na área de transição entre o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria e o Bloco Carajás, mostraram idade de 2850  $\pm$  17 Ma (Pb-Pb em zircão; Avelar 1996, Avelar *et al.* 1999). Rolando & Macambira (2002, 2003) obtiveram idades de 2879  $\pm$  4 Ma, 2877  $\pm$  6 Ma, 2881  $\pm$  8 Ma, 2880  $\pm$  4 Ma, 2875  $\pm$  7 Ma (Pb/Pb em zircão) para rochas do GDrm e afins, aflorantes na região da Serra do Inajá, a aproximadamente 100 km ao sul da cidade de Redenção.

O Granodiorito Rio Maria apresenta caráter metaluminoso e características afins com as das séries cálcico-alcalinas em certos diagramas, porém mostra conteúdos mais baixos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e CaO e mais altos de MgO, Cr e Ni do que estas séries, assemelhando-se geoquimicamente às suítes sanukitóides da Província Superior do Canadá (Stern *et al.* 1989, Stern & Hanson 1991). Os conteúdos e padrões de elementos terras raras das rochas do Granodiorito Rio Maria são caracterizados pelo enriquecimento acentuado em elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos elementos terras raras pesados (ETRP), com forte a moderado fracionamento dos ETRP.

Rochas máficas, com estruturas acamadadas, e intermediárias (quartzo-dioritos e quartzo-monozodioritos) ocorrem associadas ao Granodiorito Rio Maria principalmente na região de Bannach. Segundo Oliveira (2005), o Granodiorito Rio Maria e as rochas máficas e intermediárias associadas apresentam grandes afinidades petrográficas e, em certa medida, geoquímicas e são interpretados como rochas cogenéticas mas não comagmáticas.

Segundo Leite (2001) e Althoff (1996), a afinidade geoquímica do Granodiorito Rio Maria com as séries cálcico-alcálicas típicas é enganosa, pois as associações cálcico-alcálicas típicas de margens continentais são bem mais ricas em  $Al_2O_3$  e CaO e mais pobres em MgO, Cr e Ni. Oliveira (2005) confirmou que o Granodiorito Rio Maria, na verdade, mostra características químicas similares aos granodioritos arqueanos ricos em Mg (suítes sanukitóides), definidos por Stern *et al.* (1989) e Stern & Hanson (1991), o que reforça as evidências de seus contrastes geoquímicos com os granitóides TTG.

No âmbito do TGGRM, ainda se discute a origem do magma que formou o Granodiorito Rio Maria, pois a fonte que gerou este granitóide ainda não foi definida. Para Medeiros (1987), a origem mais plausível seria a de fusão parcial na base da crosta, podendo envolver contribuições de material de origem mantélica ou com baixo tempo de residência crustal. Outra possibilidade é a de um modelo genético que envolveria anatexia de rochas máficas dos *greenstone-belts* (crosta oceânica) na zona de subducção com o magma inicial tendo uma interação com o manto enriquecido e a crosta sílica para explicar o enriquecimento em elementos incompatíveis e de transição que ocorrem no GDrM (Dall'Agnol *et al.* 1997a). Leite (2001) aventa que o magma gerador do GDrM seria derivado de um manto enriquecido, situado acima de uma zona de subducção, cuja fusão se daria em função do fluxo térmico presente em terrenos arqueanos refletindo os seus gradientes térmicos mais elevados que em terrenos fanerozóicos.

#### **- Leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcálica**

No Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, os leucogranitos potássicos são abundantes, sendo representados pelos granitos Xinguara (Leite 1995, Leite & Dall'Agnol 1997a, Leite *et al.* 1999, Leite 2001), Mata Surrão (Duarte *et al.* 1991, Duarte 1992, Althoff *et al.* 2000) e Garantã (Althoff *et al.* 1991, 1995, 2000, Althoff 1996) e por pequenos *stocks* graníticos encontrados em contato com o *Greenstone Belt* de Identidade (Souza 1994, Souza & Dall'Agnol 1996) e a leste da cidade de Bannach, em contato com o GDrM (Oliveira 2005).

Em termos de relações estratigráficas, o Granito Mata Surrão é intrusivo no Tonalito Arco Verde (Althoff *et al.* 2000), tendo em sua área tipo fornecido idade de  $2872 \pm 10$  Ma (Pb-Pb em rocha total, Lafon *et al.* 1994, Macambira & Lafon 1995). Na região de Marajoara, Althoff *et al.* (2000) correlacionaram inicialmente um corpo de leucogranito potássico, situado a sul de Pau d'Arco, ao Granito Garantã (Althoff 1996), porém este corpo é, geoquímica e geocronologicamente, afim do Granito Mata Surrão e apresentou idade Pb-Pb em zircão de  $2871 \pm 7$  Ma (Althoff *et al.* 1998, 1999).

O Granito Xinguara é outra unidade pertencente a este grupo. Possui idade de  $2865 \pm 1$  Ma (Leite 2001, Leite *et al.* 2004) e apresenta relações intrusivas no Complexo Tonalítico Caracol e Granodiorito Rio Maria e evidências estruturais de colocação simultânea e idade similar a do

Trondhjemitó Águas Frias (Leite & Dall'Agnol 1994, Leite 1995, Leite & Dall'Agnol 1997a, b, Leite 2001, Leite *et al.* 2004).

Estes granitóides, quando comparados com os demais grupos discutidos acima, mostram mais baixos conteúdos de CaO, MgO e Sr e mais elevados de K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Rb, além de apresentarem altas razões K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O (Duarte 1992, Althoff *et al.* 1995, Leite 1995, Duarte *et al.* 1991, Dall'Agnol *et al.* 1997a, Leite *et al.* 1999). Os granitos Xinguara e Mata Surrão mostram muitas similaridades no que diz respeito aos seus padrões de elementos terras raras, com moderado fracionamento dos terras raras pesados e marcante anomalia de Eu, consequência, provavelmente, de um forte fracionamento de plagioclásio. Por sua vez, o Granito Guarantã, com idade de aproximadamente 2,93 Ga (Althoff *et al.* 2000), apresenta um padrão distinto de elementos terras raras, o que sugere uma geração e evolução de magma diferente para este granitóide, em relação aos demais corpos leucograníticos do TGGRM (Dall'Agnol *et al.* 1997a, Althoff *et al.* 2000).

Leite *et al.* (1999) e Leite (2001) assumem que o Granito Xinguara seria produto de cristalização de um magma formado a partir de diferentes graus de fusão parcial de fontes arqueanas de composição similar aos granitóides TTG mais antigos do TGGRM ou a rochas afins ao Granodiorito Rio Maria. A pequena diferença de idade de cristalização entre o Granodiorito Rio Maria e o Granito Xinguara (cerca de 10 Ma) é um forte argumento para inviabilizar a hipótese desta rocha ser fonte do magma formador do leucogranito, porém poderia ter havido em profundidade uma rocha mais antiga similar em composição ao Granodiorito Rio Maria que teria servido de fonte para o Granito Xinguara.

#### **– Grupo Rio Fresco**

Esta unidade litoestratigráfica corresponde a coberturas plataformais arqueanas, compostas basicamente de uma seqüência clástica transgressiva, apresentando granulação grossa na base, com gradação, em direção ao topo, para siltitos e sedimentos químicos (Docege 1988, Huhn *et al.* 1988). Tais seqüências recobrem as rochas do Supergrupo Andorinhas (*greenstone belts*), além dos granitóides arqueanos do TGGRM, sendo consideradas mais antigas que as intrusões graníticas paleoproterozóicas. A idade arqueana dessas coberturas sedimentares é sugerida pela ausência de zircões paleoproterozóicos em suas rochas (Macambira & Lancelot 1991), porém ainda não foram observadas relações de contato entre elas e granitos anorogênicos paleoproterozóicos da Suíte Jamon.

#### **– Magmatismo anorogênico paleoproterozóico**

Os granitos anorogênicos paleoproterozóicos formam batólitos ou *stocks* com formas subcirculares, que intrudem as rochas arqueanas do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. Estes granitos estão representados em toda a Província Mineral de Carajás e subdivididos em suítes: (1) Jamon, presente no TGGRM; (2) Serra dos Carajás, nos domínios da Bacia Carajás e (3) Velho Guilherme, presente na região do Xingu. A suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005) é formada pelos plútons Jamon (Dall'Agnol 1982, Dall'Agnol *et al.* 1999 a, b), Musa (Gastal 1987), Marajoara (Rocha Jr. 2004), Bannach (Almeida 2005) e Redenção (Montalvão *et al.* 1982, Vale & Neves 1994, Barbosa *et al.* 1995, Oliveira 2001, Oliveira *et al.* 2002). O evento magmático que

originou estes corpos é um dos mais importantes do Cráton Amazônico (Dall'Agnol *et al.* 1994), sendo os granitóides formados correlacionados aos granitos rapakivi dos escudos da Fennoscandia e da América do Norte (Bettencourt *et al.* 1995, Ramo & Hapalla 1995, Dall'Agnol *et al.* 1999d).

Os granitos anorogênicos do TGGRM e da Província Mineral de Carajás, em geral, quando datados pelo método U-Pb em zircões e Pb-Pb em rocha total mostraram idades, interpretadas como de cristalização e colocação, próximas de 1,88 Ga (Tabela 1.2). Porém, o método Rb/Sr fornece idades um pouco mais jovens, em torno de 1,60 a 1,82 Ga (Gastal *et al.* 1987, Macambira *et al.* 1990, Macambira 1992, Barbosa *et al.* 1994, 1995).

Diversos trabalhos foram realizados nos Granitos Jamon (Dall'Agnol 1982, Dall'Agnol *et al.* 1999a), Musa (Gastal 1987, 1988), Redenção (Montalvão *et al.* 1982, Barbosa *et al.* 1994, Vale & Neves 1994, Oliveira 2001, Oliveira *et al.* 2002) e Bannach (Almeida 2005) em termos geológicos, petrográficos, geoquímicos e de petrologia magnética, os quais contribuíram para a melhor caracterização do magmatismo anorogênico na região de Rio Maria. Esses granitos são isotrópicos, intraplacas, de alto nível crustal, tendo sido colocados em uma crosta rígida, cortando discordantemente suas rochas encaixantes. Nas zonas de contato, xenólitos das rochas encaixantes são comumente encontrados nestes granitos e efeitos termais nas rochas adjacentes causaram metamorfismo de contato da fácies hornblenda hornfels (Dall'Agnol *et al.* 1985, Soares 1996).

A distribuição espacial de suas fácies indica em geral um zoneamento aproximadamente concêntrico, com as fácies menos evoluídas situando-se na periferia e as mais evoluídas na porção central dos maciços. Possuem característica metaluminosa a peraluminosa e afinidades com os granitos do tipo-A de Whalen *et al.* (1987), incidindo exclusivamente no campo dos granitos do subtipo A2, conforme definidos por Eby (1992). As razões  $K_2O/Na_2O$  desses granitos aumentam gradualmente com a diferenciação magmática e revelam valores situados entre 1 e 2.

O conteúdo expressivo de minerais opacos, as altas razões  $FeOt/(FeOt+MgO)$ , a presença marcante de magnetita, a ocorrência ocasional de mineralizações de wolframita, os altos valores de suscetibilidade magnética e a presença da paragênese magnetita-titanita-quartzo, são características dos granitos desta suite. Os mesmos se enquadram entre os granitos da série magnetita (Ishihara, 1977, 1981), formados em condições de fugacidade de oxigênio próximas daquelas dos tampões NNO e HITMQ (Wones 1989, Dall'Agnol *et al.* 1997a, 1999c). Os padrões de elementos terra raras (ETR) das diferentes fácies dos Granitos Jamon, Musa e Redenção mostram algumas analogias. Dentre as principais semelhanças destacam-se o enriquecimento em elementos terra raras leves, o empobrecimento discreto em terra raras pesados e a presença de uma anomalia negativa de európio, que cresce das fácies menos evoluídas para as mais evoluídas (Gastal 1987, Dall'Agnol *et al.* 1999a).

**Tabela 3.2:** Dados geocronológicos dos granitóides paleoproterozóicos do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria.

Unidades Estatigráficas	Método	Material Analisado	Idade/Referência
Granito Musa	U-Pb	Zircão	1883 + 5/-2 Ma (1)
Granito Jamon	Pb-Pb	Zircão	1885 ± 32 Ma (2)
Granito Redenção	Pb-Pb	Rocha Total	1870 ± 68 Ma (3)
Granito Seringa	Pb-Pb	Zircão	1892 ± 30 Ma (4)
Granito Marajoara	Rb-Sr	Rocha Total	1724 ± 50 Ma (5)

Fonte dos dados: (1) – Machado *et al.* (1991); (2) - Dall'Agnol *et al.* (1999b); (3) Barbosa *et al.* (1995); (4) Avelar (1996); (5) Macambira (1992).

De modo geral os Granitos Jamon, Musa, Redenção e Bannach apresentam afinidades petrográficas, geoquímicas e de petrologia magnética que os distinguem de outros granitos anorogênicos da Província Carajás (Suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás) os contrastes são ocasionados provavelmente pela natureza distinta de suas fontes, bem como da temperatura de fusão, conteúdo de água e fugacidade de oxigênio dos seus respectivos magmas (Dall'Agnol *et al.* 1997a, Dall'Agnol *et al.* 1999c, Dall'Agnol *et al.* 2005). Dall'Agnol *et al.* (1999c) apresentam os resultados de modelamento geoquímico e experimento de cristalização para o hornblenda-biotita-monzogranito do maciço Jamon e estimam que o magma formador do mesmo teve a sua gênese provavelmente ligada a uma fonte ígnea oxidada de composição máfica a intermediária de idade Arqueana, similar geoquimicamente às rochas menos evoluídas associadas ao Granodiorito Rio Maria.

Diques félsicos a máficos, de modo geral contemporâneos dos granitos, ocorrem sob forma de corpos subverticais, tabulares, com espessuras de até 10 a 20 metros, cortando as unidades arqueanas, bem como localmente os granitos proterozóicos (Gastal 1987, Souza *et al.* 1990, Huhn *et al.* 1988, Silva Jr. 1996, Rivalenti *et al.* 1998, Silva Jr *et al.* 1999).

### 3.1 Geologia da Folha Marajoara

A seguir, as unidades litoestratigráficas presentes na área da Folha Marajoara serão melhor definidas e caracterizadas quanto aos seus aspectos mais relevantes.

#### 3.1.1 Aspectos Estruturais Gerais

Na Folha Marajoara, as unidades arqueanas apresentam direções tectônicas (foliação, bandamento) orientadas, em geral, NW-SE, com mergulhos moderados a fortes para SW. Os *greenstone-belts* e granitóides arqueanos possuem direções estruturais similares, as quais são mais marcantes em zonas de cisalhamento dúctil. Em termos de arranjo tectônico, Souza *et al.* (1992) entende que os *greenstone-belts* são comprimidos por dois blocos de granitóides num regime de transpressão, resultando na formação de estruturas em flor positiva. Após 1 Ga de "estabilidade" tectônica, a região é palco de um intenso magmatismo anorogênico paleoproterozóico, marcado na Folha Marajoara pelos granitos Bannach, Musa e Marajoara e por alguns diques intermediários a máficos.

### **3.1.2 Supergrupo Andorinhas – San – A3ls (Grupo Lagoa Seca) e A3ba (Grupo Babaçu)**

Conforme Gastal (1987), CPRM (2000) e Oliveira (2005), as rochas supracrustais presentes na Folha Marajoara são aflorantes no extremo norte da área e, de forma subordinada, no extremo nordeste. No extremo norte da área são dois os corpos principais. A faixa mais ao norte é correlacionada ao Grupo Lagoa Seca, sendo predominantemente rochas micáceas, cinza-claras, similares a xistos-micáceos e, subordinadamente, metadacitos. Possui aproximadamente 20 km no sentido E-W e 10 km N-S, fazendo contato ao norte com rochas do Granodiorito Rio Maria e Leucogranito tipo Mata Surrão e, mais ao sul, com o Tonalito Arco Verde e Granito Bannach.

A faixa mais ao sul possui dimensão N-S bem mais estreita, em torno de 3 km, e seu eixo E-W tem aproximadamente 15 km, é correlacionada ao Grupo Babaçu e suas rochas ocorrem como matacões ou no leito em cortes de estradas. São meta-básicas ou meta-intermediárias, deformadas, de coloração cinza-escuro com matriz de granulação média e fenocristais grossos de anfibólios. Ocorrem também variações de coloração preta a cinza-escuro, finas, foliadas, com falso aspecto maciço (Docegeo 1982, 1985, Cordeiro *et al.* 1984). A ocorrência de Greenstone do extremo nordeste da Folha é bem mais restrita que as demais, e está em contato com Granito Musa. Os Greenstone Belts aflorantes na área da Folha Marajoara são correlacionados a rochas do Supergrupo Andorinhas e são consideradas as rochas mais antigas da área mapeada neste projeto (Tabela 5.1).

#### **– Metamorfismo e Deformação**

Segundo DOCEGEO (1988), os *greenstone-belt*, que ocorrem na Folha Marajoara são um conjunto de vulcanitos máfico-ultramáfico com alguns membros metafélicos, que constituem uma seqüência de supracrustais retrabalhadas. São, essencialmente, exemplos de epimetamorfismo transformados a xistos a actinolita, tremolita, clorita, talco, serpentina ou epidoto. O metamorfismo varia na faixa xisto-verde baixo-alto, com transformações mineralógicas, completas ou em desequilíbrio.

De maneira geral, as rochas dos Grupos Babaçu e Lagoa Seca, na área da Folha, mostram foliação protomilonítica a milonítica.

### **3.1.3 Tonalito Arco Verde – Tav – A3γav**

As rochas do Tonalito Arco Verde (Tav) afloram em grande parte da porção nordeste da folha além de uma faixa no sudeste e de uma ocorrência menor no oeste da área. Geralmente, ocorrem em porções mais arrasadas ou, no caso da ocorrência do oeste da área, como corpos menores, constituídos morfologicamente por morros e serras, porém apresentando cotas topográficas mais baixas que as dos granitos paleoproterozóicos. Segundo Althoff (1996) e CPRM (2000) o Tonalito Arco Verde é intrusivo nas seqüências supracrustais e intrudido pelos demais granitóides arqueanos e paleoproterozóicos, sendo comum rochas do Tonalito Arco Verde cortadas por veios leucograníticos, em geral, possivelmente ligados aos Leucogranitos Potássicos (Figuras 3.2b, c). Em geral, as rochas desta unidade apresentam-se bastante deformadas, com foliação E-W a WNW, ocorrem em afloramentos na forma de lajedos ou como matacões e acham-se na parte

centro-norte da área em contato com o Supergrupo Andorinhas. São granitóides que variam de coloração, desde cinza a cinza claro (tonalitos) a esbranquiçados (trondhjemitos). Em termos texturais são na maioria das vezes equigranulares de granulação média, podendo variar para granulação grossa e, subordinadamente, fina.

Em relação às ocorrências de TTG no sudeste da área, apesar dos dados petrográficos, geoquímicos e aerogeofísicos serem importantes, não eram suficientes para definir estas rochas como sendo da geração mais antiga ou mais jovem de TTG. A partir disso, foi selecionada a amostra, de rocha com composição tonalítica, MAR-149 para que fossem realizadas datações Pb-Pb em zircão, que tiveram como resultado uma idade de  $2936 \pm 4$  Ma, confirmando assim a correlação dessas rochas com o Tonalito Arco Verde.

### – Metamorfismo e Deformação

O Tonalito Arco Verde possui expressiva ocorrência na área da Folha Marajoara. De um modo geral, há presença de um forte lineamento estrutural, de *trend* E-W. O bandamento composicional está presente na maioria dos afloramentos do Tonalito Arco Verde estudados, sendo marcante a sua regularidade. É caracterizado pela alternância de bandas esbranquiçadas e bandas cinzas (Figura 3.2a), com espessuras variáveis entre 3 e 15 cm. As bandas claras são formadas essencialmente por plagioclásio e quartzo, as bandas cinzas apresentam, além destes minerais, biotita, titanita e epidoto.

**Tabela 3.3:** Dados geocronológicos das rochas da Folha Marajoara.

Unidades Estratigráficas	Tipo de Rocha	Método	Material Analisado	Idade/ Referência
Granito Musa	Granitóide	U-Pb	Zircão	1883 + 5/-2 Ma (1)
Granito Mata Surrão	Leucogranito (Marajoara)	Pb-Pb	Zircão	2871 ± 7 Ma (4)
Granito Mata Surrão	Leucogranito (área tipo)	Pb-Pb	Rocha total	2872 ± 10 Ma (3)
Granito Mata Surrão	Leucogranito (Pau D'Arco)	Pb-Pb	Zircão	2868 ± 5 Ma (5)
Granodiorito Rio Maria	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2874 + 9/-10 Ma (1)
	Granodiorito	U-Pb	Zircão, Tit.	2872 ± 5 Ma (2)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	U-Pb	Zircão	2957 + 25/-21 Ma (1)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 4 Ma (5)
Supergrupo Andorinhas /Lagoa Seca	Metagrauvacas	U-Pb	Zircão	2971 ± 18 Ma (1)
	Metavulcânica Félsica	U-Pb	Zircão	2904+29/-22Ma(1)
	Metavulcânica Félsica	U-Pb	Zircão	2972 ± 5 Ma (2)

Fonte dos dados: (1) - Macambira (1992); (2) - Pimentel & Machado (1994); (3) - Lafon *et al.* (1994); (4) - Althoff *et al.* (1998); (5) – Dados obtidos durante este trabalho.

#### 3.1.4 Granodiorito Rio Maria – GDr<sub>m</sub> – A3γ<sub>rm</sub>

Na área da Folha Marajoara, as ocorrências de rochas do GDr<sub>m</sub> estão concentradas na porção sul, em uma extensa faixa que se estende do limite leste até o oeste, intrudida no leste pelo Granito potássico Rancho de Deus e, no oeste, provavelmente, por dois pequenos corpos de Leucogranitos tipo Mata Surrão. Rochas do GDr<sub>m</sub> também ocupam pequena área no extremo norte e nordeste da Folha.

O extremo sudoeste da Folha Marajoara é uma porção na qual muito se discute sobre a natureza e área de ocorrência das rochas, uma vez que os mapas geológicos da Folha Xinguara 1:250.000 (CPRM 2000) e do GIS/Brasil (CPRM 2004) são contraditórios quanto à faixa de ocorrência do GDrM. Segundo CPRM (2004), o Granodiorito Rio Maria estenderia-se, na porção sul, do extremo oeste ao extremo leste da área da Folha, o que é condizente com os dados de aeromagnetometria, enquanto que o mapa geológico de CPRM (2000) mostra uma faixa similar, porém interrompida na porção sudoeste pela presença de leucogranitos potássicos, de acordo com o que sugerem os dados de aeroradiometria. Com base nos trabalhos de campo, análises das imagens aerogeofísicas e estudos petrográficos, constatou-se que a faixa de GDrM estende-se até o limite sudoeste da Folha Marajoara, e há ainda a presença de dois corpos de Leucogranito tipo Mata Surrão, com dimensões bem menores que aquela proposta por CPRM (2000) e com relações de contato não muito claras com o GDrM, imaginando-se, com base no relevo e imagens aerogeofísicas, que este seja cortado pelos leucogranitos.

A morfologia no domínio do Granodiorito Rio Maria, no geral, é bastante uniforme e peneplanizada, com ocorrências de morrotes isolados, cuja distribuição de uma forma geral não obedece um padrão regular. Em alguns casos, como no sudoeste da área, relevos mais positivos correspondem à transição a corpos de leucogranitos potássicos ou do Tonalito Arco Verde, que mostram cotas topográficas mais elevadas.



**Figura 3.2:** Feições geológicas do Tonalito Arco Verde: (a) Banda-mento composicional de orientação NW-SE; (b, c) Tonalito Arco Verde cortado por veios leucograníticos.

Segundo Althoff (1996), CPRM (2000), Oliveira (2005) e os dados dos trabalhos de campo deste projeto, em termos de relações de contato, o Granodiorito Rio Maria apresenta caráter intrusivo nos Greenstone Belts do Supergrupo Andorinhas e no Tonalito Arco Verde, e é intrudido pelos

leucogranitos potássicos e granitos paleoproterozóicos. As rochas dominantes na unidade apresentam forte homogeneidade textural, dada por uma textura fanerítica, equigranular média a grossa. São essencialmente granodioríticas com variações monzograníticas muito subordinadas. Em geral, apresentam coloração cinza clara com tons esverdeados, devidos essencialmente aos cristais de plagioclásio saussuritizados, com uma certa variação em resposta à variação petrográfica. Os monzogranitos ocorrem de forma localizada, sudoeste da área, e apresentam cor cinza rosada com tons esverdeados, também em resposta à saussuritização do plagioclásio, diferindo dos granodioritos pela coloração rosada, em resposta ao maior conteúdo modal de feldspato alcalino.

O Granodiorito Rio Maria, de uma forma geral, apresenta uma foliação de direção WNW-ESE, que varia desde fraca a marcante, sendo no último caso notada uma forte orientação, principalmente dos minerais ferro-magnesianos. Em alguns pontos, o Granodiorito Rio Maria é cortado por veios leucograníticos (Figura 3.3a) provavelmente ligados aos leucogranitos potássicos. É notável a ocorrência de enclaves máficos (Figura 3.3b), que podem estar orientados ou não segundo a foliação do Granodiorito Rio Maria.

#### **– Metamorfismo e Deformação**

A estrutura principal observada no Granodiorito Rio Maria é uma foliação subvertical com orientação geral NW-SE a WNW-ESE concordante com a foliação regional. Ela é indicada pela orientação dos minerais e salientada muitas vezes pela presença de enclaves máficos deformados. Tal foliação pode ser magmática ou formada em condições *subsólidas*. Ela varia ao longo dos pontos estudados, havendo desde rochas fortemente orientadas, até áreas onde elas são praticamente isotrópicas. A foliação magmática é rara sendo definida pela orientação preferencial de cristais primários de feldspatos que apesar de estarem orientados, não estão recristalizados. Nestes casos, o quartzo ainda guarda sua característica intersticial, indicando a origem submagmática da foliação.

Apesar de por vezes apresentar aspecto isotrópico em escala de afloramento, a nível microscópico uma foliação é definida pela orientação de cristais de quartzo, feldspatos e minerais máficos. Já em escala mesoscópica os melhores indicadores da foliação do GDrm são os enclaves máficos centimétricos a métricos que permitem uma melhor definição do estilo de deformação sofrido pelo GDrm. As formas dos enclaves variam, podendo ser achatada ou estirada.

Em zonas de contato com intrusões posteriores, geralmente as rochas do Granodiorito Rio Maria são afetadas, mas com metamorfismo chegando a graus sempre mais baixos que anfibolito (Soares 1996).

#### **3.1.5 Leucogranitos potássicos tipo Mata Surrão (A3 $\gamma$ ms), Guarantã (A3 $\gamma$ gt) e Rancho de Deus (A3 $\gamma$ rd)**

Na Folha Marajoara, além das ocorrências relativas aos corpos Mata Surrão (Duarte 1992), Guarantã (Althoff 1996), os leucogranitos potássicos afloram como uma extensa faixa que ocupa boa parte da porção central da Folha, se estendendo de leste a oeste, e se espessando para

noroeste. Além disso, têm-se três corpos graníticos, dois no extremo sudoeste da folha e outro, no seu extremo norte, no contato nordeste do Granito Bannach.

Os granitos Mata Surrão (Figura 3.4a) e Guarantã (Figura 3.4b), e as ocorrências do sudoeste e centro-norte possuem similaridades geomorfológicas, sendo formados por conjunto de morros e serras com cotas inferiores apenas as dos corpos graníticos anorogênicos. Contrariamente as ocorrências mencionadas, a faixa de rochas leucograníticas, correspondente a maior área aflorante dos leucogranitos potássicos, mostra um relevo peneplanizado atingindo cotas topográficas mais elevadas apenas na porção noroeste.

No centroleste da Folha Marajoara, foi descrito, por CPRM (2000), um corpo granítico denominado Rancho de Deus (Figura 3.4c) e tido como anorogênico paleoproterozóico, possivelmente afim daqueles da Suíte Jamon. Porém, através de estudos petrográficos, geoquímicos e estruturais, realizados durante este projeto, foi constatado que o Granito Rancho de Deus é similar aos granitos potássicos do TGGRM (Mata Surrão, Guarantã e Xinguara). Além do Granito Rancho de Deus, há também a ocorrência de um corpo menor, localizado a sul do granito, que foi relacionado a este.

Apesar destas similaridades entre os granitos Mata Surrão e Guarantã, eles exibem idades contrastantes. Além do contraste de idades, o Granito Guarantã, segundo Althoff *et al.* (2000) e Althoff *et al.* (2005), apresenta algumas evidências de campo que sugerem que este tenha idade de cristalização/colocação mais próxima do Tonalito Arco Verde do que dos granitos potássicos. A faixa central de leucogranitos potássicos da Folha Marajoara, apresentam duas variedades petrográficas principais: (1) leucomonzogranito equigranular, associado ao Granito Mata Surrão; (2) leucomonzogranito porfirítico, mais deformado que o anterior, associado, por Althoff *et al.* (2000), ao Granito Guarantã. A variedade porfirítica, ocorre principalmente na região de Vila Marajoara e de Pau D'Arco, ao longo da PA-150, sendo inclusive cortada por uma zona de cisalhamento E-W. Os aspectos de campo deste granitóide são similares aos do Granito Guarantã, porém estes dados, mesmo aliados aos petrográficos e geoquímicos, não foram suficientes para associar as ocorrências destes leucogranitos porfiríticos com o Granito Mata Surrão ou Guarantã, sendo realizada assim datações Pb-Pb em zircões em amostras de rochas localizadas a sul da cidade de Pau D'Arco, na Fazenda Cordeiro a direita da PA-150 no sentido Pau D'Arco-Redenção. Estas datações revelaram uma idade média de  $2868 \pm 5$  Ma (Pb-Pb em zircão), sendo possível assim associar essas rochas ao Leucogranito Mata Surrão.

De acordo com os trabalhos anteriores (Duarte 1992, Althoff 1996, CPRM 2000, Oliveira 2005) e dados deste projeto, as relações de campo, na maioria das ocorrências, mostram contatos abruptos entre os leucogranitos potássicos e as rochas do Granodiorito Rio Maria, com os primeiros cortando claramente o granodiorito. Além de serem intrusivos no Granodiorito Rio Maria, os leucogranitos cortam também rochas do Tonalito Arco Verde e das supracrustais, sendo intrudidos pelos granitos anorogênicos Musa (Gastal 1987), Bannach (Almeida 2005), Marajoara (Rocha Jr. 2004) e Rancho de Deus (CPRM 2000). Os leucogranitos ocorrem sob a forma de lajedos ou grandes blocos, sendo rochas que variam de isotrópicas a moderadamente deformadas, compostas por quartzo, feldspato alcalino, plagioclásio e raros máficos. Exibem coloração rosa a cinza-claro e granulação média a fina com textura, em geral, equigranular.



**Figura 3.3:** Feições geológicas do Granodiorito Rio Maria: (a) Granodiorito Rio Maria cortado por veio leucogranítico; (b) Granodiorito Rio Maria com enclaves de formas variadas.

### – Metamorfismo e Deformação

Em termos de metamorfismo, não há aspectos significativos a serem destacados nessas rochas. Quanto aos aspectos deformacionais, as principais feições observadas nos granitos potássicos foram: foliação, foliação de fluxo e xistosidade.



**Figura 3.4:** Feições geológicas dos Leucogranitos Potássicos: (a) Leucogranito Potássico com textura equigranular; (b) Leucogranito Potássico com textura porfirítica; (c) Granito Potássico Rancho de Deus cortado por veios leucograníticos.

A foliação dos Leucogranitos Potássicos geralmente é marcada por estruturas de fluxo, bandamento magmático e por uma xistosidade. A foliação é quase sempre mais desenvolvida nas bordas dos corpos, o que pode ser bem observado no Granito Rancho de Deus. Apresenta direção preferencial E-W a WNW-ESSE, com mergulhos normalmente suaves, variando para de alto ângulo nas bordas.

Os leucogranitos apresentam ainda uma foliação de fluxo que é caracterizada pela orientação preferencial de cristais, às vezes fenocristais, idiomórficos a subidiomórficos de feldspatos, quartzo e biotita. Essa estrutura é melhor observada nos granitos porfíricos. Ao microscópio, os cristais ligados à foliação de fluxo, apesar da sua orientação preferencial, não mostram evidências de deformação. A origem magmática desta foliação é sustentada pelos seguintes evidências: (i) ausência de deformação nos minerais, incluindo o quartzo e (ii) presença de fenocristais idiomórficos e hipidiomórficos de feldspatos, localmente imbricados ou entelhados, sugerindo interação entre grãos minerais durante fluxo magmático.

A xistosidade é definida pela orientação preferencial de biotita e quartzo achatado paralelos aos feldspatos orientados nas estruturas primárias. Esta feição não é penetrativa, e na maioria das regiões onde ocorre ainda são perceptíveis aspectos da textura original da rocha.

### **3.1.6 Granitos Anorogênicos paleoproterozóicos (PP3γmu, b, mj)**

Na Folha Marajoara as elevações máximas correspondem aos domínios dos granitos da Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005), representados pelos granitos Bannach (Almeida 2005) (Figura 3.5a), localizado na porção noroeste; Musa (Gastal 1987), porção nordeste; e Marajoara (Rocha Jr. 2004), porção centro-leste. Os relevos acidentados dos maciços são formados por dois padrões geomorfológicos principais: a) morros apresentando formas arqueadas e escarpas íngremes com altitudes que variam entre 400 até 650m; b) Morros fortemente orientados na direção NE-SW e subordinadamente NW-SE com cotas que alcançam 700m. Em alguns casos, como o corpo Bannach, há estruturas dentro dos corpos mostrando padrões concêntricos formando anfiteatros (Almeida 2005).

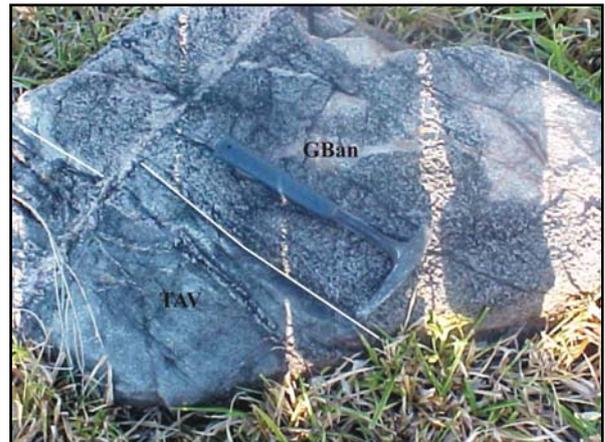
Costa *et al.* (1990, 1995) sugerem que os *trends* da estruturação regional da Província Mineral de Carajás são devidos a movimentos extensionais, os quais geraram falhamentos normais orientados segundo NE-SW e NW-SE e afetaram coberturas vulcânicas e sedimentares e granitos anorogênicos. Tal observação é consistente com os padrões principais de fraturamento observados nos corpos anorogênicos. CPRM (2000) destacou o padrão estrutural do Granito Bannach, e a presença das feições anelares, mencionadas acima.

#### **- Metamorfismo e Deformação**

Os granitos da Suíte Jamon seccionam indistintamente todas as unidades arqueanas presentes na Folha Marajoara (Figura 3.5b), são isotrópicos, cortam discordantemente suas rochas encaixantes e foram colocados em uma crosta rígida, sendo, portanto, de alto nível crustal. Nas zonas de contato, xenólitos das rochas encaixantes são comumente encontrados nestes granitos e efeitos termais nas rochas adjacentes causaram metamorfismo de contato da fácies hornblenda hornfels (Dall'Agnol *et al.* 1985, Soares 1996).



**Figura 3.5.a:** Vista panorâmica a sudeste, mostrando a forma de relevo do corpo Bannach e suas rochas encaixantes. O marrote em primeiro plano é formado por TTGs, possivelmente relacionados ao Tonalito Arco Verde, e as serras alinhadas ao fundo constituem o domínio do corpo.



**Figura 3.5.b:** Relação de contato a NW do corpo entre o Granito Bannach e um granitóide TTG indiferenciado. Notar o contato brusco entre as duas unidades e veios de microgranito cortando tanto a fácies ABMzG, quanto à sua encaixante.

### 3.1.7 Depósitos Aluvionares

Os depósitos aluvionares ocorrem fundamentalmente ao longo das drenagens e as zonas mais expressivas situam-se no centro-sul e sudoeste da Folha, ao longo do rio Pau-D'Arco e seus afluentes. São formados por sedimentos típicos de canais fluviais e planície de inundação, sendo arenosos, siltsos e argilosos.

## 3.2 Caracterização Petrográfica das Rochas da Folha Marajoara

### 3.2.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados os aspectos de campo, as descrições petrográficas e as composições modais das rochas mais representativas das rochas estudadas. O número de lâminas petrográficas descritas, de cada unidade, foi baseado nas lacunas observadas a partir das informações compiladas de trabalhos anteriores. Com base nisso, foram descritas, neste projeto, cinquenta lâminas petrográficas, sendo trinta e quatro dos leucogranitos potássicos, oito do Tonalito Arco Verde e oito do Granodiorito Rio Maria. Em todas as trinta amostras analisadas quimicamente foram realizadas análises modais prévias.

### 3.2.2 Supergrupo Andorinhas

Na área da Folha Marajoara, o Supergrupo Andorinhas está representado pelos grupos Babaçu e Lagoa Seca. Na área de ocorrências dos *greenstone-belts*, a DOCEGEO desenvolveu durante vários anos, trabalhos técnicos em vários níveis, tanto em nível regional quanto de detalhe. Portanto, a divisão do Supergrupo Andorinhas em Grupo Babaçu (porção basal) e Grupo Lagoa Seca (porção superior), além das subdivisões destes, foi baseada em trabalhos de detalhe e, especialmente, em sondagens profundas realizadas pelas equipes daquela empresa. Em virtude disso, os aspectos petrográficos dessas unidades, descritos neste relatório são baseados em DOCEGEO (1988).

### **– Grupo Babaçu**

A porção mais basal (Grupo Babaçu) do Supergrupo Andorinhas é constituída de metabasaltos, metaultrabasaltos e sedimentos químicos. As rochas que predominam em termos de ocorrência são os metabasaltos, que correspondem aos derrames basálticos, aos quais estão associados os sedimentos químicos (*meta-chert*, formação ferrífera bandada e carbonatos). Subordinadamente associam-se aos metamafitos, pequenas intrusões diferenciadas de metagabros, metapiroxi-tose metaperidotitos.

Os metabasaltos apresentam deformação com aspecto heterogêneo, ocorrendo desde tipos fortemente deformados até aqueles que são praticamente isotrópicos, e que ainda exibem estruturas primárias do tipo *pillow*. Além disso, os metabasaltos são rochas de granulação fina, e, por esse aspecto, quando em superfície encontram-se intemperizadas e alteradas para talco xistos, clorita xistos, serpentinitos e xistos diversos. As formações ferríferas bandadas ocorrem sob a forma de finas camadas de comprimentos quilométricos (DOCEGEO 1988) e representam os sedimentos químicos de maior relevância.

Os metabasaltos são rochas de coloração cinza esverdeada e essencialmente isotrópicas. Apresentam textura blastofítica, matriz microcristalina, em geral preservada em relação à milonitização mais intensa. Os plagioclásios ocorrem como cristais totalmente pseudomorfizados por clorita e epidoto. Esses metabasaltos são constituídos mineralogicamente por clorita + epidoto ± sericita ± quartzo ± clinozoisita ± opacos.

Os anfíbolitos são de granulação fina e coloração cinza-escuro, possuem venulações preenchidas com sulfetos e discreta orientação dos minerais. Em termos texturais, são nematoblásticos, com freqüentes bandas de segregações formadas por piroxênios e epidoto, os quais alternam com faixas de anfíbólio. Mineralogicamente são compostos por hornblenda actinolítica + plagioclásio + quartzo ± diopsídio ± epidoto + opacos.

Os quartzo-mica xistos ocorrem hidrotermalizados, de protólitos desconhecidos, apresentam coloração bege (rocha alterada) e granulação média. Microscopicamente possuem textura granolepidoblástica, com perfil de foliação milonítica irregular. São formados por sericita + muscovita + quartzo + plagioclásio + opacos + zircão.

### **– Grupo Lagoa Seca**

O Grupo Lagoa Seca representa a porção superior do Supergrupo Andorinhas (DOCEGEO 1988), e é formado por um conjunto de metassedimentos clásticos e químicos, os quais são intercalados com metavulcânicas máficas e félsicas, que, em geral, constituem faixas estreitas e alongadas. Os siltitos e grauvacas predominam dentre os metassedimentos clásticos, os quais são intercalados pelas metavulcânicas félsicas (metadacitos e metariodacitos) e, mais esporadicamente, por lentes de metavulcânicas basálticas.

Os dacitos e riódacitos apresentam coloração cinza rósea, textura porfirítica, na qual predominam fenocristais de plagioclásio serciticados e, mais raramente, de microclina. Essas rochas possuem matriz afanítica, sendo composta por plagioclásio, quartzo e feldspato potássico. Os minerais acessórios são turmalina, epidoto, clorita e opacos.

Os metassedimentos clásticos (grauvacas, arenitos e siltitos) possuem uma mineralogia constituída essencialmente por quartzo, plagioclásio, biotita e clorita.

### **3.2.3 Tonalito Arco Verde**

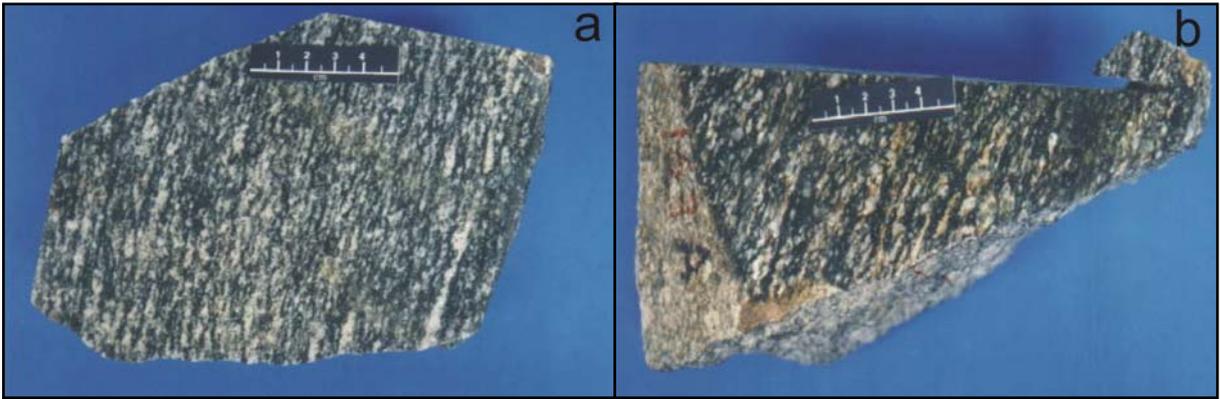
#### **- Descrição macroscópica**

O Tonalito Arco Verde caracteriza-se por exibir uma coloração cinza clara a escura e textura, fanerítica, heterogranular, com granulação média, eventualmente grossa (Figura 3.6a). Sua estruturação é marcada por um bandamento composicional, definido por bandas regulares formadas predominantemente por minerais félsicos (plagioclásio + quartzo), alternadas com bandas enriquecidas em biotita e minerais acessórios. Plagioclásio, quartzo e biotita são os minerais mais abundantes. Na porção NW da área, a rocha passa a ter uma coloração cinza escura e o bandamento composicional é mais raro. Macroscopicamente são comuns fenoclastos ovalados de feldspatos (plagioclásio) em matriz fina, fortemente foliada (Figura 3.6b).

#### **- Composições modais e classificação**

As treze análises modais [quatro deste projeto e nove de Althoff (1996)] são mostradas na Tabela 3.4 e representadas no diagrama Q-A-P (Figura 3.7) e mostram a marcante homogeneidade composicional deste granitóide que posiciona-se no campo dos tonalitos e trondhjemitos (Streckeisen 1976). As amostras são fundamentalmente biotita-tonalitos (dez amostras) com variações para biotita-anfibólio-tonalitos. A Tabela 3.4 mostra que os teores de minerais máficos variam de 5,3 a 18,8% com media de 12%. Dessa forma, em termos de composições modais, o Tonalito Arco Verde corresponde a uma associação tonalítica, e possui comportamento similar a série cálcico-alcálica trondhjemítica de baixo potássio (Lameyre & Bowden 1982) ou cálcico-alcálica tonalítica ou trondhjemítica (Bowden *et al.* 1984) (Figura 3.7).

Esta associação é formada em média, essencialmente por plagioclásio e quartzo, com conteúdos médios, respectivamente de 52,75% e 31,75%, tendo a biotita como principal fase ferromagnésiana (3,12 a 14,1%). Dentre os minerais acessórios destacam-se zircão, titanita, opacos, alanita, epidoto, apatita e muscovita.



**Figura 3.6:** Feições macroscópicas do Tonalito Arco Verde: (a) Aspecto macroscópico do Tonalito Arco Verde, onde é possível visualizar o bandamento e uma filiação (MAR-117). Os minerais estão estirados e não mostram sinais de rotação; (b) Aspecto textural do Tonalito Arco Verde. Notar cristais de plagioclásio.

**Tabela 3.1:** Análises modais de rochas do Tonalito Arco Verde da Folha Marajoara.

Variedades Petrográficas	Bt-Anf-Tonalito			Média	Bt-Tonalito										Média
	F-15	F-21B	F-3B		F-20B	F-57A	F-57F	F-58-1	F-58C	F-62N	MAR-109	MAR-117	MAR-148	MAR-149	
Quartzo	30.89	31.81	17.68	<b>26.79</b>	43.81	38.80	26.67	33.22	27.42	35.68	36.40	34.80	27.40	28.20	<b>33.24</b>
Microclínio	1.26	4.12	3.45	<b>2.94</b>	2.66	4.60	2.96	2.41	2.86	1.65	7.60	3.20	1.40	1.20	<b>3.05</b>
Plagioclásio	49.53	53.69	63.88	<b>55.70</b>	44.18	47.06	59.11	52.62	63.51	52.58	48.90	45.80	52.10	52.80	<b>51.87</b>
Anfibólio	0.07	2.36	7.55	<b>3.33</b>											<b>0.00</b>
Biotita	13.29	6.61	5.86	<b>8.59</b>	8.83	8.27	9.66	11.17	3.12	8.88	3.90	14.10	13.80	13.10	<b>9.48</b>
Muscovita	1.28	0.01	0.51	<b>0.60</b>	0.09	0.07	0.11	Tr	0.71	Tr	1.40	Tr	Tr	Tr	<b>0.24</b>
Clorita	2.08	0.51	0.14	<b>0.91</b>	0.07	0.19	0.85	0.41	1.04	0.3	0.2	Tr	0.6	0.5	<b>0.42</b>
Epidoto	1.57	0.36	0.35	<b>0.76</b>	0.28	0.64	0.43	Tr	0.76	0.06	1	1.3	3.8	3.2	<b>1.15</b>
Opacos	0.02	0.53	0.56	<b>0.37</b>	0.07	0.04	0.21	0.18	0.59	0.85	Tr	0.40	0.20	0.20	<b>0.27</b>
Apatita	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.10	0.10	0.10	0.10	<b>0.04</b>
Titanita	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.20		0.40	0.50	<b>0.11</b>
Zircão	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	<b>0.00</b>
<b>Máficos</b>	17.03	10.37	14.46	<b>13.95</b>	9.25	9.14	11.15	11.76	5.51	10.09	5.30	15.80	18.80	17.50	<b>11.43</b>
<b>A+P</b>	50.79	57.81	67.33	<b>58.64</b>	46.84	51.66	62.07	55.03	66.37	54.23	56.50	49.00	53.50	54.00	<b>54.92</b>
Microclínio*	1.54	4.60	4.06	<b>3.40</b>	2.93	5.09	3.34	2.73	3.05	1.84	8.18	3.82	1.73	1.46	<b>3.42</b>
Quartzo*	37.82	35.49	20.80	<b>31.37</b>	48.33	42.89	30.05	37.64	29.24	39.68	39.18	41.53	33.87	34.31	<b>37.67</b>
Plagioclásio*	60.64	59.91	75.14	<b>65.23</b>	48.74	52.02	66.61	59.63	67.72	58.48	52.64	54.65	64.40	64.23	<b>58.91</b>

Abreviações: A – Alkali-feldspato; P – Plagioclásio; Ep – epidoto; Anf-anfibólio; Bt-biotita; \* recalculado a 100%.

## - Descrição mineralógica e textural

Ao microscópio o Tonalito Arco Verde apresenta duas variedades petrográficas (biotita-tonalito e, subordinadamente, biotita-anfibólio-tonalito) que são bastante similares entre si sendo diferenciadas pela presença de anfibólio. Caracterizam-se pela textura heterogranular média (Figuras 3.6a, b). A assembléia mineral é composta por plagioclásio, quartzo, biotita, microclina, clorita, muscovita, allanita, epidoto, titanita, opacos, apatita e zircão.

### Plagioclásio

Forma cristais hipidiomórficos a xenomórficos (Figuras 3.8a, b, c), de granulação predominantemente média, mas por vezes fina. Os cristais orientam-se paralelamente ao quartzo e a biotita. Exibem algumas feições primárias, como maclamento albita (Figura 3.8c) e, por vezes, um zoneamento normal pouco marcante.

A saussuritização é discreta e concentra-se na maioria das vezes nas porções centrais dos cristais. Possui inclusões de quartzo (Figura 3.8c). A recristalização é de caráter localizado e tende a ser mais pronunciada em bandas de cisalhamento.

### Quartzo

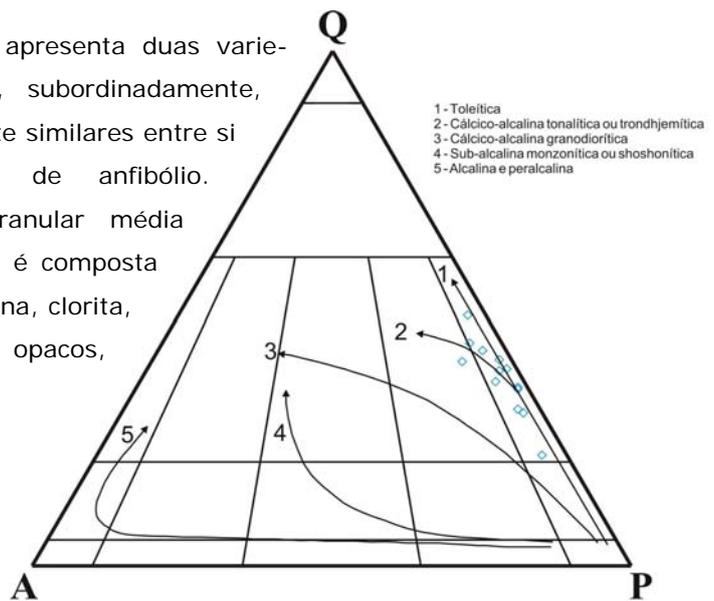
Forma agregados de cristais granulares xenomórficos, de granulação fina, com moderada extinção ondulante (Figuras 3.8a, b, d), os quais mostram-se alongados e achatados, nas rochas mais deformadas (Figura 3.8f). Os contatos entre os seus grãos são lobados, curvos ou retilíneos. Por vezes, estão inclusos em fenocristais de plagioclásio (Figura 3.8c).

### Álcali-feldspato

Está presente, embora em pequena quantidade, nas rochas estudadas (Tabela 3.4). Quando ocorre, forma cristais xenomórficos, tardios na cristalização, pois sua ocorrência é restrita aos espaços intersticiais entre plagioclásio e quartzo.

### Biotita

Forma cristais hipidiomórficos (Figuras 3.8a, b, c, d), de granulação fina, orientados na direção do maior comprimento dos cristais de plagioclásio e quartzo. Associa-se normalmente a minerais opacos, epidoto e aos demais acessórios (titanita, apatita, muscovita e zircão), com os quais define as faixas máficas do bandamento. Possui frequentemente inclusões de zircão.



**Figura 3.7:** Diagrama Q–A–P (Streeckeisen 1976) para o Tonalito Arco Verde da Folha Marajoara. 1 a 5 – Séries de granitóides e respectivos *trends* evolutivos (Lameyre & Bowden 1982, Bowden *et al.* 1984).

## **Muscovita**

Desenvolve cristais hipidiomórficos a idiomórficos, de granulação fina, orientados paralelamente à direção da biotita. Seus contatos são retos com a biotita, sugerindo equilíbrio entre estas duas fases minerais. Ocorre também associada aos demais minerais máficos.

## **Epidoto**

De acordo com seus aspectos texturais os epidotos do Tonalito Arco Verde podem ocorrer das seguintes formas:

- (i) epidoto em cristais essencialmente idiomórficos (Ep1), prismáticos, associados a biotita (Figura 3.8d, f) ou, por vezes incluso nesta. Possui contatos retos com a biotita, sugerindo equilíbrio entre estas duas fases minerais. São de ocorrência bastante restrita neste tipo de rocha;
- (ii) epidoto formando uma delgada auréola ou manto envolvendo cristais de alanita (Ep2; Figura 3.8e). Os núcleos de alanita costumam ser idiomórficos; e
- (iii) epidoto na forma de cristais xenomórficos (Ep3), sub-milimétricos, dispersos na rocha ou associados a biotita e opacos. Nos tonalitos deformados do domínio sudoeste da área, este tipo de epidoto está afetado pela deformação, possui formas amendoadas e contatos irregulares com a biotita.

Feições texturais similares foram descritas inicialmente em granitóides do Nordeste do Brasil (Sial 1990, 1993), no Granito Mata Surrão (Duarte 1992), no Granito Xinguara (Leite 1995, Leite & Dall'Agnol 1997a, Leite 2001), Complexo Tonalítico Caracol (Leite 2001) e Granodiorito Rio Maria (Oliveira 2005).

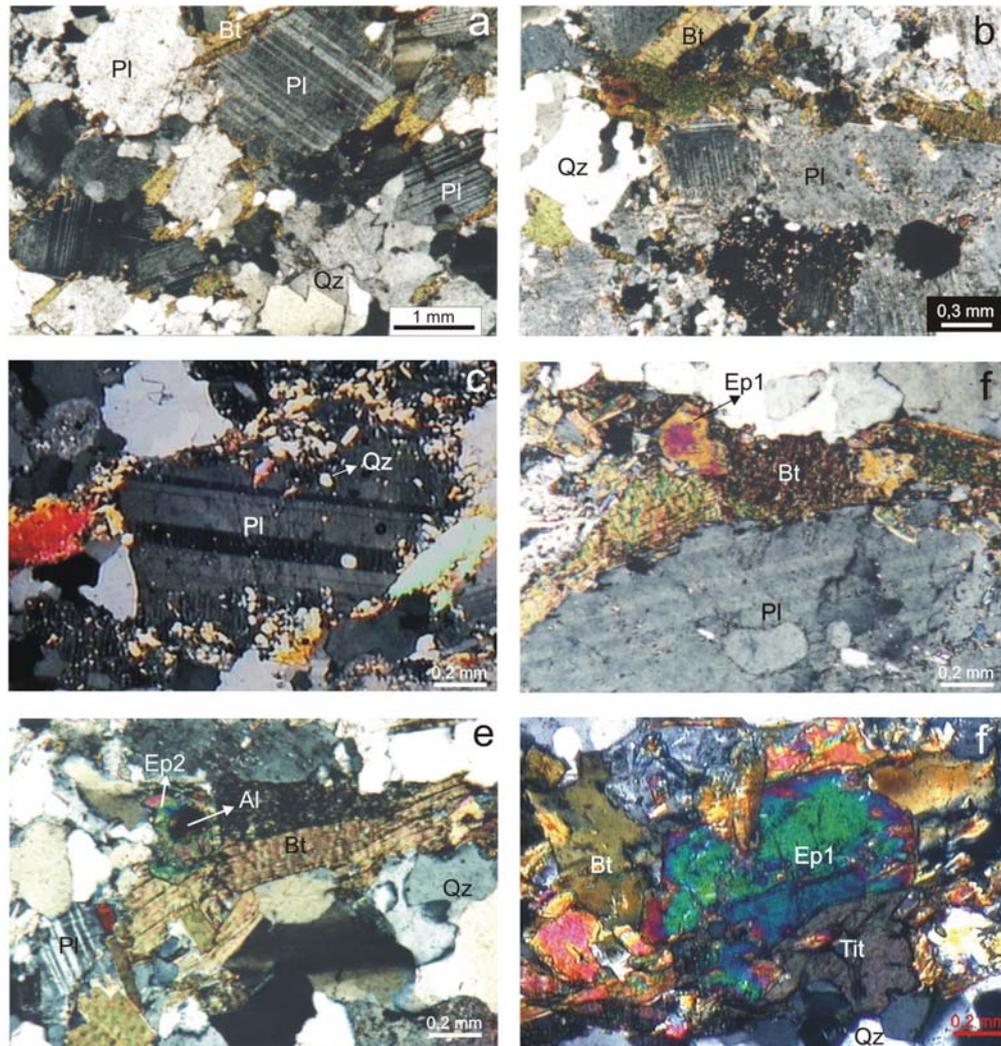
## **Outros minerais acessórios**

Os principais minerais acessórios restantes são: opacos, titanita, zircão, e apatita. Concentram-se principalmente nas faixas enriquecidas em minerais máficos. A titanita forma cristais prismáticos. Zircão e apatita formam cristais euédricos frequentemente inclusos na biotita ou no caso da apatita, também no plagioclásio.

### **3.2.4 Granodiorito Rio Maria**

#### **- Descrição Macroscópica**

As rochas do Granodiorito Rio Maria são bastante homogêneas texturalmente, apresentando textura granular hipidiomórfica média a grossa, coloração em geral cinza clara, com tons esverdeados (Figura 3.9a, b), essencialmente em consequência da saussuritização do plagioclásio. Apresenta pontuações escuras formadas por minerais máficos. Ocorre, em alguns locais da área, uma transformação mais acentuada da textura original em resposta à deformação que a afetou ocasionando, em geral, mudança na forma de feldspatos que passam a ser contornados por máficos e quartzo. O GDr<sub>m</sub>, comumente, apresenta enclaves máficos (Figura 3.9a, b) que são concordantes ou não à sua foliação.

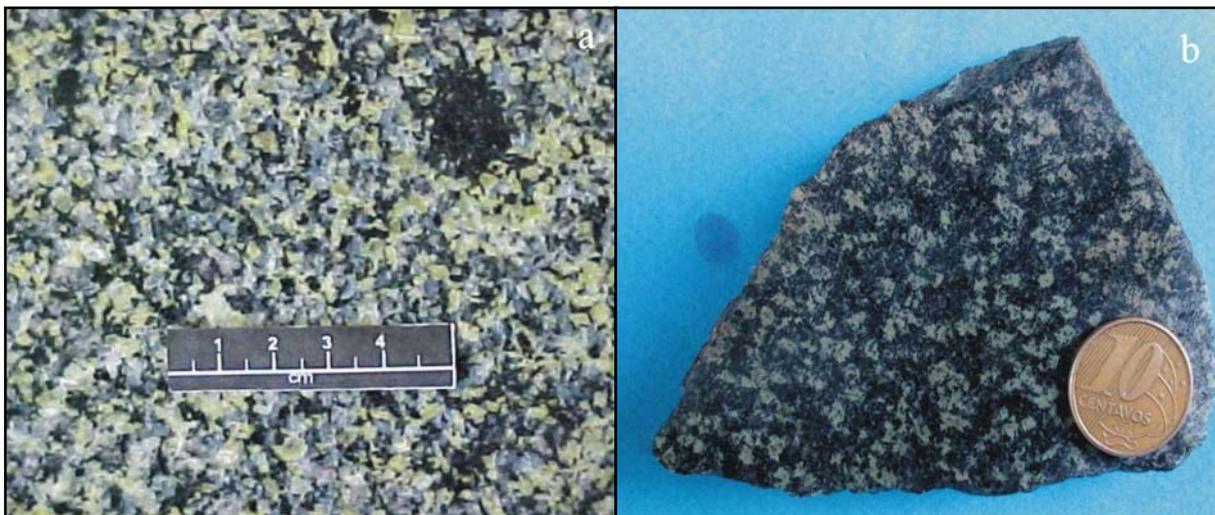


**Figura 3.8:** Feições microscópicas do Tonalito Arco Verde: (a) Aspecto microscópico do Tonalito Arco Verde com detalhe dos cristais de plagioclásio (Pl) e quartzo (Qz) que estão orientados (seção XZ, Nicóis cruzados (NC), MAR-149); (b) Cristais de biotita (Bt) paralelos aos de plagioclásio (seção XZ, NC, MAR-149); (c) Detalhe de cristais de plagioclásio (Pl) maclado com inclusões de quartzo (Qz) e lamelas associadas de biotita (Bt) (seção XZ, NC, MAR-148); (d) Cristal de biotita (Bt) associada com plagioclásio e epidoto idiomórfico (Ep1) (Seção XZ, NC, MAR-149); (e) Cristais de biotita (Bt) associada a epidoto do tipo 2.

### - Composições modais e classificação

Althoff (1996) efetuou seis análises modais em rochas do Granodiorito Rio Maria na Folha Marajoara, concentradas nas proximidades da PA-150, no sudeste da área da Folha. Neste projeto foram realizadas nove análises modais em amostras representativas, incluindo aquelas do domínio sudoeste. Os resultados das quinze análises modais (Tabela 3.5) foram plotados no diagrama Q-A-P (Figura 3.10, Streckeisen 1976), mostrando uma ampla concentração das amostras no campo dos granodioritos, com variações muito subordinadas para quartzo-dioritos. O Granodiorito Rio Maria de acordo com os dados modais enquadra-se perfeitamente na série cálcico-alcálica granodiorítica Bowden *et al.* (1984) (Figura 3.10). As principais variedades petrográficas identificadas na área da Folha Marajoara são: epidoto-hornblenda-biotita-quartzo-diorito (EpBtHbQzDr), epidoto-biotita-hornblenda-quartzo-diorito (EpBtHbQzDr), epidoto-hornblenda-biotita-granodiorito (EpHbBtGd) e epidoto-biotita-hornblenda-granodiorito (EpBtHbGd).

Os teores de minerais máficos variam de 7,6 a 30%, com média de 20,08%, valores estes bem superiores aos observados no Tonalito Arco Verde e demais granitóides da região. Os quartzodioritos são rochas pouco abundantes, estando restritas pequenas porções do domínio sudoeste da Folha.



**Figura 3.9:** Imagens de amostras de mão do Granodiorito Rio Maria com coloração típica, e enclaves máficos (a, MAR-20; b, MAR-29).

#### **- Descrição mineralógica e textural**

As rochas das diferentes variedades do Granodiorito Rio Maria apresentam, ao microscópio, características mineralógicas muito semelhantes, apesar das variações relativas que ocorrem. A seguir, será feita uma descrição mais detalhada, dos aspectos mineralógicos e texturais das rochas em questão.

#### **Plagioclásio**

Ocorre como cristais hipidiomórficos a idiomórficos, normalmente milimétricos podendo alcançar 7 mm (Figura 3.11a). O maclamento Albita é comum, ocorrendo com menos frequência o Carlsbad. Na maioria dos cristais as maclas são apenas parcialmente visíveis devido à forte alteração dos mesmos. Alguns cristais mostram maior alteração na parte central, sugerindo um núcleo mais cálcico, sendo forte evidência de um zoneamento normal (Figura 3.11a). Os cristais de plagioclásio apresentam-se bastante saussuritizados, tendo como principais produtos, sericita, epidoto e carbonato, sendo esta feição bastante marcante nestas rochas; por vezes o processo de transformação também leva à formação de biotita. O processo de saussuritização tende a obliterar o maclamento, e nos cristais muito afetados os planos de maclamento não estão visíveis ou mostram distribuições não contínuas. O plagioclásio em geral apresenta-se pouco afetado pela deformação, ocorrendo geralmente como cristais bem formados e com aspecto ígneo predominante. Porém, alguns cristais foram afetados por microfraturamentos que são preenchidos por sericita e carbonato essencialmente. Podem ser observados cristais de plagioclásio inclusos em cristais maiores de microclina.

**Tabela 3.5:** Análises modais de rochas do Granodiorito Rio Maria da Folha Marajoara.

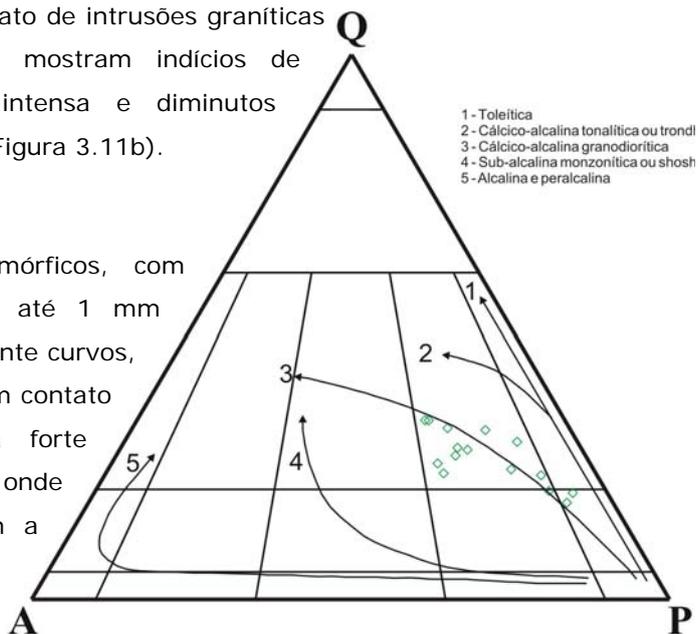
Variedades Petrográficas	EpHbBt/EpBtHbQzD		Média	Ep-Hb-Bt-Granodiorito											Média	Ep-Bt-Hb-Gd		Média
	MAR-20A	MAR-78A		F-10	F-10B	F-66	F-66A	F-66D	F-9A	MAR-134	MAR-145	MAR-29A	MAR-54A	MAR-92A		MAR-137	MAR-86A	
Quartzo	12.70	14.10	<b>13.40</b>	24.95	20.69	18.60	25.07	19.18	19.79	23.50	22.90	22.60	14.10	15.80	<b>20.65</b>	30.30	29.60	<b>29.95</b>
Microclínio	5.20	3.70	<b>4.45</b>	10.76	19.79	14.34	15.35	19.60	10.86	16.30	15.10	7.30	6.40	5.90	<b>12.88</b>	20.00	19.70	<b>19.85</b>
Plagioclásio	54.30	54.10	<b>54.20</b>	45.17	42.31	37.51	39.90	43.94	52.72	44.80	45.80	48.30	51.10	47.50	<b>45.37</b>	42.00	41.20	<b>41.60</b>
Anfibólio	22.60	9.30	<b>15.95</b>	9.70	12.15	19.43	14.02	9.71	8.53	8.70	9.40	10.90	22.30	20.30	<b>13.19</b>	0.90	0.40	<b>0.65</b>
Biotita	1.50	13.50	<b>7.50</b>	3.92	2.64	6.45	2.41	7.30	7.44	4.50	5.10	6.30	1.90	0.50	<b>4.41</b>	5.50	5.20	<b>5.35</b>
Epidoto	2.10	3.70	<b>2.90</b>	1.06	0.87	1.43	2.12	0.19	0.07	0.30	0.70	3.70	2.00	7.10	<b>1.78</b>	Tr	3.00	<b>1.50</b>
Clorita	Tr	Tr	<b>0.00</b>	1.65	1.20	1.04	1.11		0.22	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	<b>0.47</b>	Tr	Tr	<b>0.00</b>
Opacos	1.00	0.10	<b>0.55</b>	2.80	0.37	1.04	0.02	0.08	0.33	0.80	0.70	Tr	0.90	0.80	<b>0.71</b>	1.10	Tr	<b>0.55</b>
Apatita	0.80	0.30	<b>0.55</b>	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.10	0.10	0.10	0.90	0.30	<b>0.14</b>	0.10	Tr	<b>0.05</b>
Titanita	0.80	0.70	<b>0.75</b>	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.30	0.20	0.20	0.90	1.30	<b>0.26</b>	0.10	0.60	<b>0.35</b>
Acessórios	Tr	Tr	<b>Tr</b>	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	<b>Tr</b>	Tr	Tr	<b>Tr</b>
<b>Máficos</b>	28.00	27.30	<b>27.65</b>	19.13	17.23	29.39	19.68	17.28	16.59	14.60	16.10	21.10	28.00	30.00	<b>20.83</b>	7.60	9.20	<b>8.40</b>
<b>A+P</b>	59.50	57.80	<b>58.65</b>	55.93	62.10	51.85	55.25	63.54	63.58	61.10	60.90	55.60	57.50	53.40	<b>58.25</b>	62.00	60.90	<b>61.45</b>
Microclínio*	7.20	5.15	<b>6.17</b>	13.30	23.90	20.35	19.11	23.69	13.03	19.27	18.02	9.34	8.94	8.53	<b>16.13</b>	21.67	21.77	<b>21.72</b>
Quartzo*	17.59	19.61	<b>18.60</b>	30.85	24.99	26.40	31.21	23.19	23.74	27.78	27.33	28.90	19.69	22.83	<b>26.08</b>	32.83	32.71	<b>32.77</b>
Plagioclásio*	75.21	75.24	<b>75.23</b>	55.85	51.11	53.24	49.68	53.12	63.24	52.96	54.65	61.76	71.37	68.64	<b>57.78</b>	45.50	45.52	<b>45.51</b>

Abreviações: A – Alkali-feldspato; P – Plagioclásio; Ep – epidoto; Hb-hornblenda; Bt-biotita; Gd - granodiorito; QzD - quartzo-diorito; \* recalculado a 100%.

Em amostras localizadas, próximo ao contato de intrusões graníticas (MAR-137), os cristais de plagioclásio mostram indícios de recristalização, saussuritização menos intensa e diminutos cristais de minerais opacos neoformados (Figura 3.11b).

### Quartzo

Ocorre como cristais granulares xenomórficos, com tamanhos variando de sub-milimétricos até 1 mm (Figura 3.11c). Seus contatos são geralmente curvos, tendendo a suturados ou retos, quando em contato com plagioclásio. Possui moderada a forte extinção ondulante. Por vezes, em locais onde a deformação foi mais intensa, tendem a formar bandas de deformação.



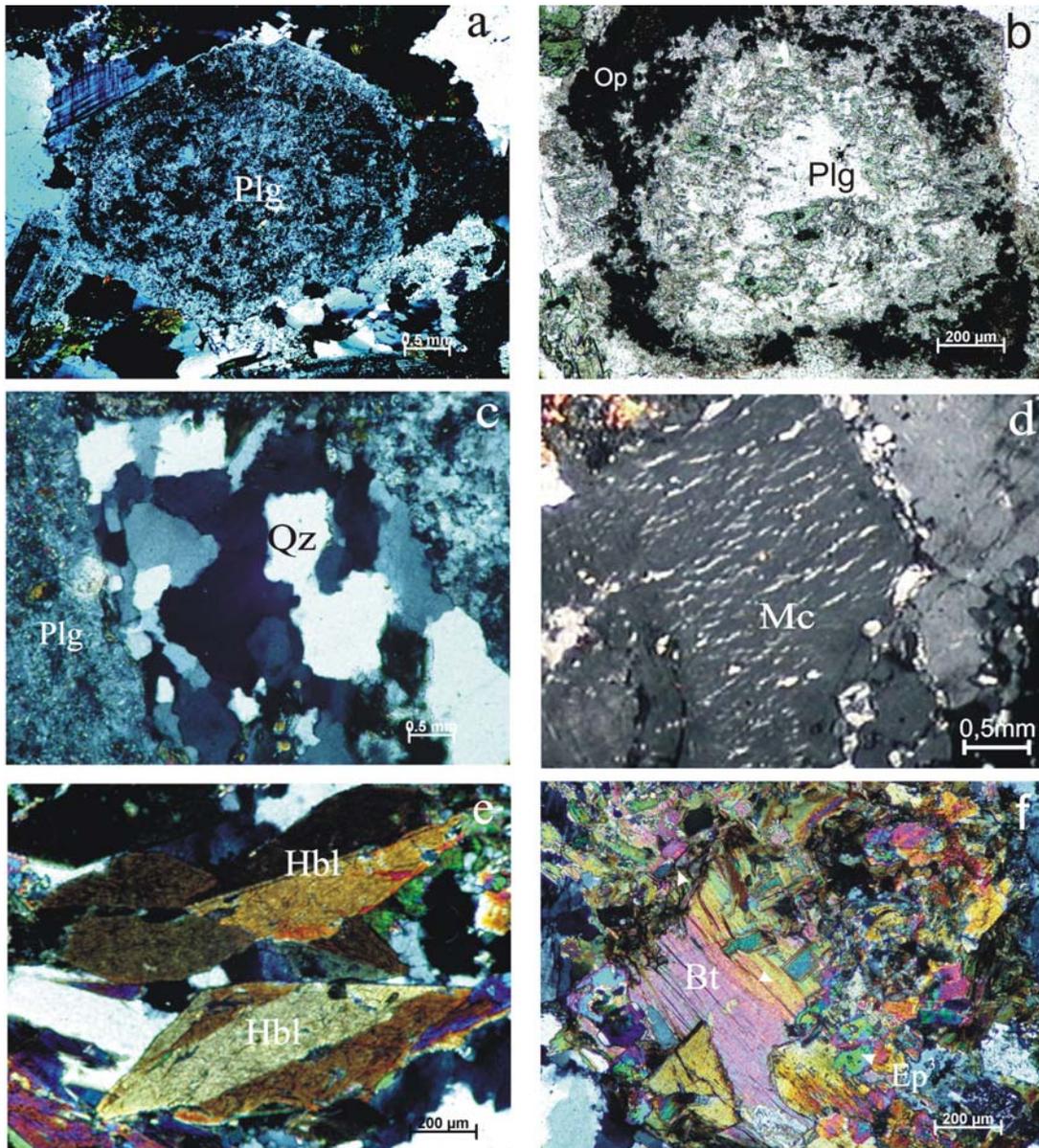
**Figura 3.10:** Diagrama Q–A–P (Streckeisen 1976) para o Granodiorito Rio Maria da Folha Marajoara 1 a 5 – Séries de granitoides e respectivos *trends* evolutivos (Lameyre & Bowden 1982, Bowden *et al.* 1984).

### Álcali-feldspato

O feldspato alcalino é microclina, a qual forma cristais xenomórficos a hipidiomórficos, apresentando contatos irregulares e raramente retos. Os cristais variam de submilimétricos (produtos de recristalização) até em torno de 5 mm, com inclusões de quartzo, plagioclásio e em menor abundância, anfibólio, conferindo um aspecto poiquilítico ao cristal. O maclamento albita-periclina está presente de forma parcial ou total em muitos cristais. O feldspato alcalino é fracamente peritítico havendo predominância de lamelas sódicas finas do tipo “string” (Smith 1974) (Figura 3.11d). Notam-se contatos irregulares entre cristais de microclina e plagioclásio e pode-se observar no contato de alguns cristais a presença de albita intergranular. Alguns cristais apresentam-se microfraturados e preenchidos por quartzo, biotita, clorita, epidoto e carbonato. Localmente ocorre recristalização de microclina formando finos cristais associados com quartzo.

### Hornblenda

O anfibólio pelo ângulo de extinção em torno de 23°, 2V em torno de 65° e sinal ótico biaxial negativo, é provavelmente uma hornblenda. Althoff (1996) e Leite (2001) obtiveram, através de análises de microsonda, composições de magnésio-hornblenda para a maioria dos anfibólios do GDrm nas regiões de Marajoara e Xinguara, respectivamente. Seus cristais são hipidiomórficos a xenomórficos com dimensões submilimétricas a milimétricas, ocorrendo mais localmente cristais idiomórficos maclados (Figura 3.11e). Há presença, em graus variáveis, de um processo de transformação do anfibólio gerando biotita e, subordinadamente, epidoto e titanita. Os cristais de biotita se distribuem de modo irregular podendo ou não se dispor segundo os planos de clivagem do anfibólio. Em um estágio mais avançado destas transformações chega a não haver mais vestígios do cristal original, embora em alguns casos possa ser reconhecida a forma da seção basal da hornblenda. Localmente, observam-se cristais de hornblenda curvados pela deformação, embora seu comportamento seja mais rígido que o da biotita, por exemplo.



**Figura 3.11:** Fotomicrografias mostrando feições microscópicas do Granodiorito Rio Maria: (a) Aspecto de cristal idiomórfico de plagioclásio (Plg) com núcleo mais afetado pela saussuritização que a borda, dando indícios de um zoneamento do tipo normal (Núcleo paralelos, NP) (MAR-29A); (b) Aspecto de cristal de plagioclásio de amostra da zona de contato com intrusões paleoproterozóicas. Notar a presença de diminutos cristais de opacos (Op) neoformados associados ao plagioclásio (NP) (MAR-137); (c) Aspecto de cristais de quartzo produto de recrystalização (Núcleo cruzados, NC) (MAR-92A); (d) Cristal de microclina (Mc) pertítica com lamelas do tipo "string" (NC) (MAR-92A); (e) Cristais idiomórficos de homblenda (Hbl) com maclamento e pouco transformados (NC) (MAR-29A); (f) Cristal de biotita associado com epidoto tipo  $Ep^3$  (Bt) (NC) (MAR-54A).

### Biotita

Ocorre como cristais hipidiomórficos, por vezes, idiomórficos, com tamanhos de, no máximo, 1,5mm (Figura 3.11f). É substituída parcialmente por clorita, cujas lamelas dispõem-se paralelamente aos seus planos de clivagem. São comuns inclusões de apatita e zircão. O comportamento mais dúctil da biotita frente à deformação resultou, em alguns cristais, na formação de "kinks". É comum a associação de epidoto, interpretado como magmático, com cristais primários de biotita, sendo que o primeiro quando em contato com a mica mostra formas euédricas.

## **Epidoto**

O epidoto é um mineral bastante freqüente no Granodiorito Rio Maria, ocorrendo geralmente associado à biotita e anfibólio.

Epidoto 1 (Ep<sup>1</sup>) – epidoto ocorrendo como cristais essencialmente idiomórficos, prismáticos, por vezes zonados, mostrando afinidade com a biotita, podendo estar associado ou até mesmo incluso nesta. Os cristais de Ep<sup>1</sup> possuem contatos retos com a biotita e são idiomórficos quando totalmente inclusos nesta. Quando os cristais de Ep<sup>1</sup> estão parcialmente inclusos na biotita, a borda do epidoto em contato com a mica é euédrica, sugerindo equilíbrio entre as duas fases, e torna-se irregular quando em contato com os demais minerais;

- Epidoto 2 (Ep<sup>2</sup>) – epidoto como pequenos cristais hipidiomórficos a xenomórficos, apresentando zoneamento e associados à allanita. Em alguns casos se observam apenas pontos castanhos no centro do agregado de epidoto, como relíquias de cristais de allanita;

- Epidoto 3 (Ep<sup>3</sup>) – epidoto em cristais hipidiomórficos a xenomórficos, sendo encontrados tanto isolados quanto associados com outros minerais (Figura 3.11f);

- Epidoto 4 (Ep<sup>4</sup>) – epidoto na forma de cristais muito finos ocorrendo no interior de plagioclásio saussuritizado.

## **Minerais acessórios**

Opacos, allanita, titanita, zircão e apatita são as principais fases acessórias. A titanita forma cristais idiomórficos dispersos na rocha ou grãos xenomórficos finos associados a epidoto, biotita, opacos e anfibólio. Muito provavelmente a primeira é magmática e a segunda está relacionada à alteração dos minerais opacos e máficos, sendo, portanto secundária. Zircão geralmente ocorre incluso na biotita, na qual forma halos pleocróicos.

Os minerais opacos em rochas do GDrm são bastante raros, ocorrendo como pequenos cristais em agregados de minerais máficos. Entretanto, na amostra MFR-137, localizada nas proximidades de uma intrusão granítica posterior (Granito Rancho de Deus), observam-se diminutos cristais de opacos neoformados em resposta ao efeito de contato desta intrusão (Figura 3.11b). Transformação análoga foi descrita por Soares (1996) em GDrm afetado pelas intrusões dos corpos Jamon e Musa, e por Oliveira (2005) em rochas do GDrm afetadas pelo Granito paleoproterozóico Bannach.

### **3.2.5 Leucogranitos Potássicos**

#### **- Descrição macroscópica**

Os leucogranitos potássicos aflorantes na Folha Marajoara são representados pelos Granitos Mata Surrão, Garantã e Rancho de Deus, os quais exibem diferenças texturais e composições modais ligeiramente distintas entre si, porém assinatura geoquímica muito similar.

#### ***Granito Mata Surrão***

Em geral, trata-se de um granito equigranular e hololeucocrático (Figura 3.12a). Sua coloração é róseo claro, com pontos escuros esparsos devidos aos poucos minerais máficos, e a granulação é

geralmente média. Existem porém tipos médios a finos nas proximidades dos contatos e tipos predominantemente finos nas zonas de deformação mais intensa. Veios leucograníticos e pegmatitos cortam sistematicamente tanto o granito, quanto as encaixantes.

Os veios graníticos são macroscopicamente similares aos leucogranitos. Os granitos pegmatóides são rochas de granulação muito grossa e coloração esbranquiçada.

### ***Granito Guarantã***

O Granito Guarantã é leucocrático, de coloração rosada com tons cinza, com granulação grossa e textura predominantemente porfirítica (Figura 3.12b), sendo os fenocristais formados por feldspato potássico automorfos a subautomorfos com dimensões geralmente entre 1 e 10 cm. A matriz constitui cerca de 50 a 70% da rocha e é constituída de cristais subautomorfos a xenomórficos de quartzo, plagioclásio (ambos com dimensões em torno de 4mm), feldspato potássico e proporções variáveis de máficos.

### ***Granito Rancho de Deus***

As rochas do Granito Rancho de Deus exibem coloração rosada e textura heterogranular média a grossa, diferindo dos Granitos Mata Surrão e Guarantã por não terem um caráter francamente porfirítico e por serem geralmente um pouco mais ricos em máficos do que os mesmos, outra diferença que separa o Granito Rancho de Deus dos demais leucogranitos potássicos é a presença de anfibólio modal presentes em suas rochas. Podemos destacar duas frações de cristais nas rochas do Granito Rancho de Deus, a predominante exibe granulação média, dimensões variáveis entre 2,0 e 5,0 mm e é composta pelos minerais essenciais e os máficos. A outra fração possui granulação grossa e é constituída essencialmente por microclina e, subordinadamente, por plagioclásio.

### **- Composições modais e classificação**

Os resultados das análises modais das diferentes variedades petrográficas dos leucogranitos potássicos da folha marajoara apresentam composições predominantemente monzograníticas com termos granodioríticos subordinados. As variações mineralógicas permitiram individualizar quatro variedades petrográficas principais: (1) Granodioritos; (2) Anfibólio-biotita leucomonzogranitos, as quais compõem as rochas do Granito Rancho de Deus; (3) Biotita-leucomonzogranitos e (4) Leucomonzogranitos.

De acordo com a nomenclatura proposta por Tuttle & Bowen (1958), todas as amostras correspondem a granitos *subsolvus*, caracterizados pela presença de duas fases feldspáticas independentes (plagioclásio e álcali-feldspato).

Nas variedades petrográficas, quartzo, plagioclásio e álcali-feldspato são os constituintes essenciais e suas proporções são aproximadamente equivalentes, exceto nos granodioritos. A principal fase máfica é a biotita e, entre os acessórios, encontram-se sempre opacos, titanita, apatita, allanita, epidoto e zircão. Os constituintes secundários são epidoto secundário, sericita-muscovita e, por vezes, carbonatos, clorita e hidróxidos de ferro. Nas amostras do Granito Rancho de Deus o anfibólio está sempre presente, porém em proporções bastante escassas.

Os dados modais, quando plotados no diagrama Q-A-P de Streckeisen (1976) (Figura 3.13), mostram que os leucogranitos potássicos da folha marajoara possuem composições predominantemente monzograníticas, com rochas granodioríticas associadas, mostrando um comportamento similar aos da série cálcico-alcalina granodiorítica (Bowden *et al.* 1984). Os dados modais, em particular os baixos conteúdos de quartzo, sugerem que essas rochas de composições granodioríticas possam representar termos menos evoluídos dos leucogranitos potássicos. A Tabela 3.6 mostra que os teores de minerais máficos (M) dos granodioritos variam de 2,8 a 10,3%, com valor médio de 7,6%. Tais valores são superiores aos obtidos para a média de minerais máficos das demais variedades. Em geral, os monzogranitos apresentam teores de M superiores a 5%, com exceção dos leucomonzogranitos cuja média é de 3,58%. Segundo a classificação de Le Maitre (2002) todas as variedades de leucogranitos potássicos da Folha Marajoara são classificáveis como hololeucocráticas, porém adotou-se a designação de leucogranitos apenas para as rochas com  $M < 5\%$ .

Os leucogranitos potássicos situam-se no campo dos granitos crustais de Lameyre & Bowden (1982). No entanto, conforme salientado por Leite & Dall'Agnol (1997a), os granitos crustais dos mencionados autores são análogos aos granitos do tipo S de Chappell & White (1974), correspondendo essencialmente a granitos peraluminosos, geralmente a duas micas, derivados de magmas formados a partir de fusões crustais de metassedimentos, ao passo que as características petrográficas dos leucogranitos potássicos da Folha Marajoara divergem bastante das daqueles granitos. Isto é interpretado por Leite & Dall'Agnol (1997a) como indicativo de que esses Granitos, embora efetivamente crustal, derive de fonte (meta?) ígnea, similar geoquimicamente aos granitóides arqueanos encaixantes do pluton. Eles teriam, conseqüentemente, mais afinidades com os leucogranitos cálcico-alcalinos afins ao tipo I e aos granitos da série a magnetita (Ishihara 1981) do que com os granitos do tipo S, único tipo admitido como crustal por Lameyre & Bowden (1982). Essa interpretação será reforçada pelas características geoquímicas desses Granitóides (Leite & Dall'Agnol 1999; ver capítulo da geoquímica).

#### **- Variedades petrográficas - descrição mineralógica e análise textural**

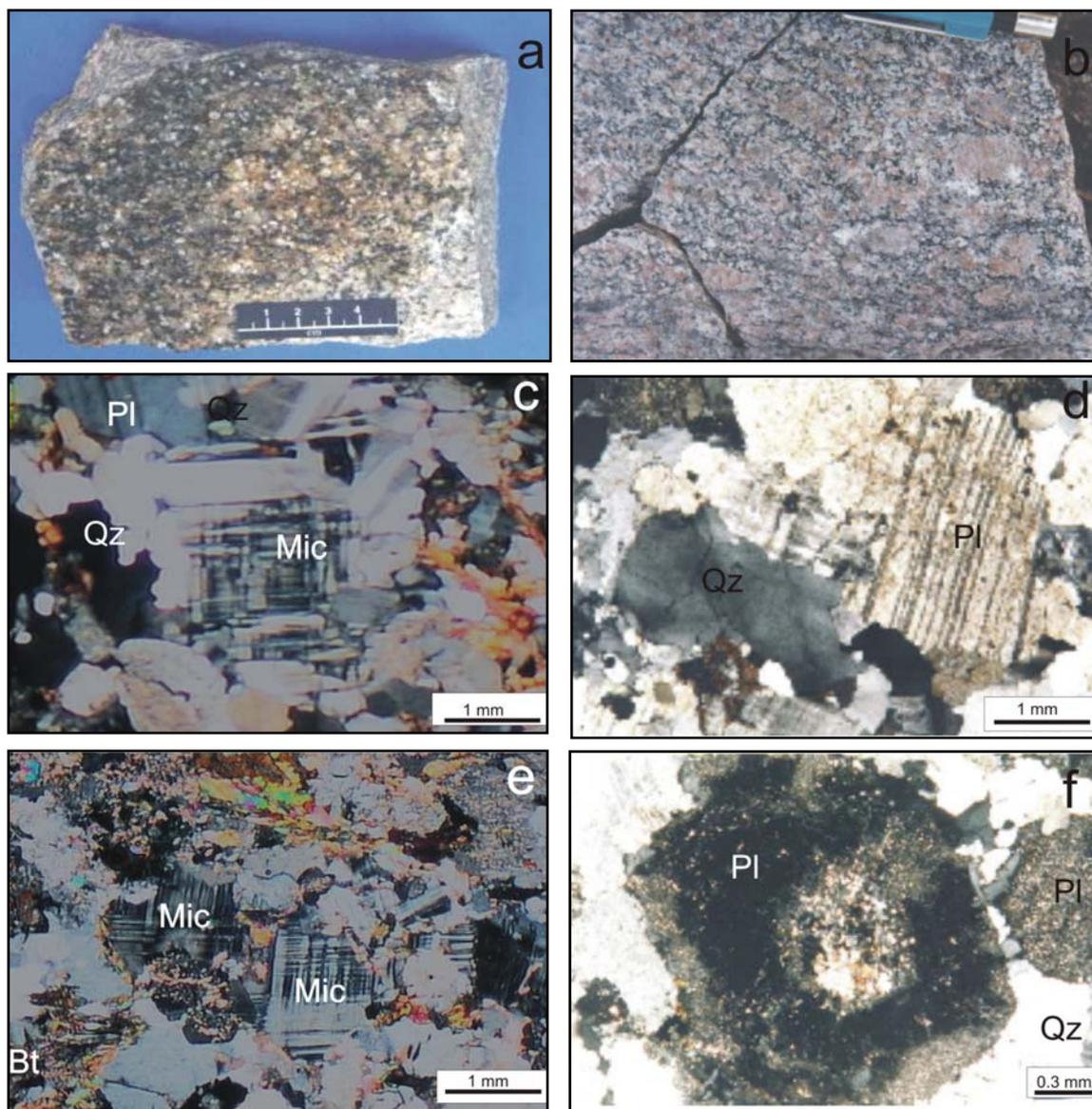
Conforme visto anteriormente os leucogranitos potássicos da folha marajoara são constituídos por quatro variedades, granodioritos; anfibólio-biotita leucomonzogranitos, biotita-leucomonzogranitos e leucomonzogranitos. Será dada maior atenção aos leucomonzogranitos, pois representam mais de 90% dos leucogranitos potássicos típicos estudados. Essas rochas serão tratadas conjuntamente, independentes de suas variedades, já que a composição e a textura dos minerais são muito similares.

#### **- Leucomonzogranitos**

Ao microscópio apresenta textura granular hipidiomórfica (Figura 3.12c) e as principais características dos seus constituintes minerais são:

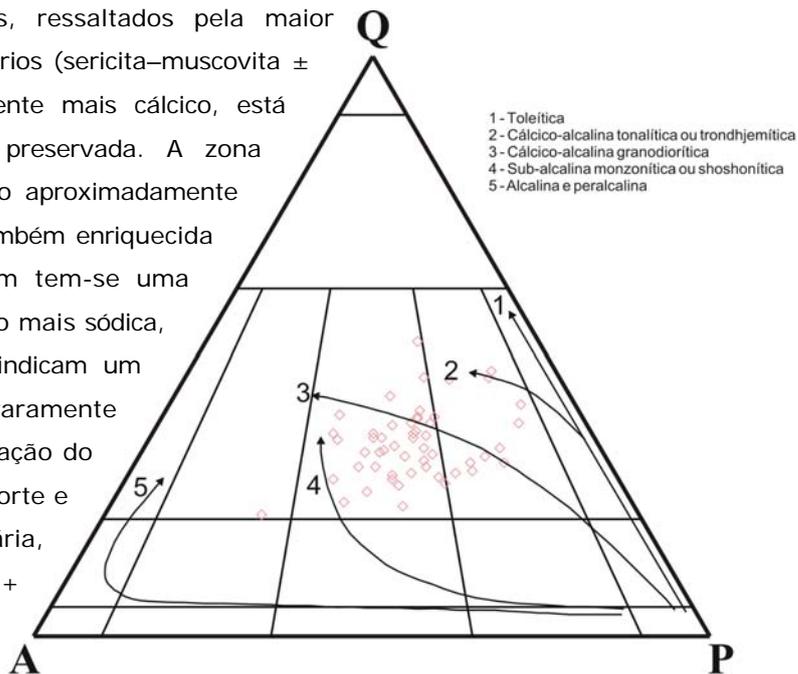
## Plagioclásio

Seus cristais são predominantemente hipidiomórficos e, eventualmente, xenomórficos de granulação média (Figura 3.12c, d e f), com tamanhos variando de 2 a 5 mm de comprimento, podendo mostrar-se orientados. Mostram freqüentemente maclas albitas, ocorrendo com bem menos freqüência geminações albita-periclina e albita-carlsbad. Geralmente encontram-se zonados, mas as composições das zonas não puderam ser determinadas pois acham-se mascaradas pela alteração. Muito localmente há cristais com núcleos idiomórficos, por vezes



**Figura 3.12:** Aspectos macro e microscópicos dos Leucogranitos Potássicos da Folha Marajoara: (a) feição macroscópica comum nos granitos potássicos tipo Mata Surrão, notando-se ausência de fenocristais de feldspatos e a textura equigranular média, orientação mineral pouco penetrativa, coloração cinza claro (seção próxima de XZ, MAR-42) (a) Aspecto macroscópico dos leucomonzogranitos do tipo Guarantã, com textura porfirítica e uma foliação de fluxo magmático dada pela orientação preferencial de fenocristais de feldspatos (foto em planta, seção próxima a XZ, ); (c) Aspecto microscópico mostrando a textura granular hipidiomórfica e aspectos dos cristais de plagioclásio (Pl) e microclina (Mic) (seção próxima a XZ, Nicóis cruzados, NC, MAR-49); (d) Aspecto microscópico mostrando textura granular hipidiomórfica bem preservada, dada por cristais de plagioclásio, microclina e quartzo (Qz). Não há evidências de recristalização importante na rocha (seção próxima a XZ, NC, MAR-155); (e) Aspecto microscópico de cristais de microclina com maclamento "xadrez", biotita e quartzo (NC, MAR-49); (f) Detalhe de uma seção (010) de cristal de plagioclásio com zoneamento oscilatório, sugerido pela alteração. O núcleo e a zona externa, provavelmente mais cálcicos são marcados pelo maior desenvolvimento da paragênese secundária (NC, MAR-49).

corroídos ou com embaixamentos, ressaltados pela maior concentração de minerais secundários (sericita–muscovita ± epidoto). Este núcleo, provavelmente mais cálcico, está envolvido por outra zona mais preservada. A zona seguinte possui ângulo de extinção aproximadamente igual ao do núcleo e mostra-se também enriquecida em produtos secundários. Por fim tem-se uma zona pouco espessa de composição mais sódica, similar a segunda. Estas feições indicam um zoneamento do tipo oscilatório, só raramente observado no corpo. A saussuritização do plagioclásio varia de moderada a forte e produz uma paragênese secundária, a base de sericita-muscovita + epidoto ± carbonatos, que tende a mascarar as feições originais do plagioclásio, muitas vezes encobrendo os seus planos de maclas e impossibilitando a



**Figura 3.13:** Diagrama Q–A–P (Streeckeisen 1976) para os Leucogranitos Potássicos da Folha Marajoara 1 a 5 – Séries de granitoides e respectivos *trends* evolutivos (Lameyre & Bowden 1982, Bowden *et.al.* 1984).

determinação da sua composição. São freqüentes inclusões de biotita, quartzo granular, alanita, opacos e apatita, posicionadas preferencialmente nas zonas externas dos cristais de plagioclásio. Responde aos efeitos da deformação através de kinks e de recristalização incipiente, localizada exclusivamente ao longo dos contatos entre cristais de plagioclásio ou das fraturas que os seccionam.

### Álcali-feldspato

É do tipo microclina pertítica, com freqüente maclamento albita-periclina nítido e constante, com raras maclas *carlsbad* e pertitas do tipo *string* ou veios (Smith 1974), geralmente muito escassos. Seus cristais são hipidiomórficos e, mais raramente, xenomórficos (Figura 3.12c), de granulação média a, localmente, grossa, podendo mostrar orientação. Seus tamanhos médios variam de 1,5 a 6,5 mm. Os contatos microclina/microclina são suturados ou marcados pelo desenvolvimento incipiente de albita intergranular em coroa trocada (Smith 1974). Nos contatos microclina/plagioclásio, desenvolvem-se mirmequitas do tipo planar ou em bulbos, invadindo os cristais de microclina (respectivamente, tipos C e F, Phillips 1980). Seus contatos com o quartzo são na maioria retilíneos. Localmente possui aspecto poiquilítico, englobando pequenos cristais de quartzo granular, plagioclásio, biotita, alanita, epidoto e opacos. Os efeitos da deformação aparecem na forma de fraturas que seccionam o cristal transversalmente ao seu maior comprimento, bem como através da recristalização incipiente, que concentra-se nestas fraturas ou nas bordas de cristais.

**Tabela 3.5:** Dados de análises modais dos leucogranitos potássicos da Folha Marajoara.

Variedades Petrográficas Amostra / Mineral	Granodioritos												Anfibólio-biotita leucomonzogranito				
	KY-24B	KY-100C	KY-89B	KZ-22	MAR-114	MAR-121	MAR-123	MAR-49A	MAR-64A	F-4	KY-75	Média	MAR-130A	MAR-132	MAR-126	MAR-127	MAR-129
Quartzo	36.30	39.80	40.10	27.60	23.60	27.70	26.20	27.80	27.90	26.34	34.20	30.69	20.00	25.10	33.00	25.40	26.00
Microclínio	7.00	9.80	8.70	15.00	24.40	19.30	18.60	13.30	16.70	20.58	9.60	14.82	32.30	19.20	25.10	25.60	29.10
Plagioclásio	50.50	41.10	40.40	52.10	44.00	46.00	44.60	46.70	47.80	49.52	51.20	46.72	40.70	45.80	37.60	44.80	40.20
Biotita	3.70	5.00	4.60	2.30	3.20	4.00	4.70	5.00	4.20	0.05	0.70	3.40	3.10	4.20	0.80	1.70	2.10
Anfibólio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.30	1.40	Tr	Tr	Tr
Epidoto	1.10	4.10	5.90	2.60	3.30	1.90	4.80	3.60	1.40	2.15	2.80	3.06	2.10	2.90	0.80	0.70	1.30
Clorita	0.30	-	-	0.20	0.10	0.20	0.20	0.20	0.50	0.55	0.40	0.29	0.30	0.20	0.70	0.80	-
Muscovita	0.10	-	-	-	0.40	0.10	0.10	2.60	0.50	0.78	0.60	0.65	0.40	0.10	1.20	0.40	0.30
Opacos	0.90	0.10	-	-	-	-	0.20	-	0.50	0.05	0.20	0.33	0.30	0.10	0.40	0.20	0.50
Apatita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.10	-	-	-
Titanita	-	-	0.10	-	0.60	0.30	0.40	0.40	0.20	-	-	0.33	-	0.90	0.10	0.20	0.10
Zircão	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-
<b>Máficos</b>	6.00	9.20	10.60	5.10	7.20	6.40	10.30	9.20	6.80	2.80	4.10	7.06	6.10	9.70	2.80	3.60	4.00
<b>A+P</b>	57.50	50.90	49.10	67.10	68.40	65.30	63.20	60.00	64.50	70.10	60.80	61.54	73.00	65.00	62.70	70.40	69.30
Microclínio*	7.46	10.80	9.75	15.84	26.52	20.75	20.81	15.15	18.07	21.34	10.11	16.06	34.73	21.31	26.23	26.72	30.54
Quartzo*	38.70	43.88	44.96	29.14	25.65	29.78	29.31	31.66	30.19	27.31	36.00	33.33	21.51	27.86	34.48	26.51	27.28
Plagioclásio*	53.84	45.31	45.29	55.02	47.83	49.46	49.89	53.19	51.73	51.35	53.89	50.62	43.76	50.83	39.29	46.76	42.18

Continuação

Biotita Leucomonzogranitos																					
F-54	F-57E	F-79B	KY-02	KY-03	KY-04	KY-07C	KY-100A	KY-156	KY-158	KY-159	KY-27B	KY-31B	KY-36D	KY-36E	KY-48	KY-77B	KY-85A	KY-86A	KY-88G	KY-88H	KY-89D
38.07	34.57	26.58	24.70	27.00	34.70	28.90	31.50	31.90	47.20	28.40	31.40	31.90	30.50	39.80	24.40	28.50	30.80	20.90	33.80	36.00	40.20
25.16	33.13	25.96	40.30	35.60	23.20	31.30	31.00	25.20	17.10	28.20	36.40	23.20	28.60	15.30	31.80	33.00	24.80	40.10	21.80	22.30	18.50
29.95	24.38	40.81	29.50	31.80	35.60	33.50	31.00	36.40	29.50	37.50	26.80	33.20	31.40	36.00	37.10	30.70	35.80	32.10	37.80	35.50	32.30
1.70	4.12	0.91	2.50	2.60	3.60	3.60	2.10	3.30	4.60	1.30	1.60	7.80	5.80	2.30	0.70	5.00	7.30	0.70	4.20	1.40	2.60
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.65	1.03	3.70	2.60	2.50	1.80	2.10	3.80	2.80	1.10	3.10	3.50	3.30	3.30	4.00	3.20	0.30	0.90	4.80	1.60	3.60	6.20
1.85	1.85	0.94	0.10	-	0.10	0.20	0.20	-	-	0.70	0.10	-	0.10	-	1.50	0.30	0.20	1.20	0.10	0.20	-
-	-	0.91	-	0.20	-	-	-	-	-	0.30	-	0.35	-	-	0.60	-	-	-	0.20	-	-
0.06	0.89	0.19	-	0.10	0.10	0.30	0.10	0.20	0.20	0.20	0.10	-	-	2.00	0.10	-	-	-	-	0.60	-
-	-	-	-	0.10	0.10	-	-	0.10	0.10	-	-	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	-	0.10	-	-
-	-	-	-	-	0.10	-	0.10	-	-	0.10	0.10	-	-	0.10	0.20	2.00	-	-	-	0.10	-
-	-	-	-	-	0.10	-	-	-	-	-	-	0.15	-	-	-	-	-	-	0.20	-	-
6.26	7.89	5.74	5.20	5.20	5.70	6.20	6.30	6.30	5.90	5.40	5.40	11.10	9.20	8.40	5.70	7.60	8.40	6.70	5.90	5.90	8.80
55.11	57.51	66.77	69.80	67.40	58.80	64.80	62.00	61.60	46.60	65.70	63.20	56.40	60.00	51.30	68.90	63.70	60.60	72.20	59.60	57.80	50.80
27.00	35.98	27.81	42.65	37.71	24.81	33.40	33.16	26.95	18.23	29.97	38.48	26.27	31.60	16.79	34.08	35.79	27.13	43.07	23.34	23.77	20.33
40.86	37.54	28.47	26.14	28.60	37.11	30.84	33.69	34.12	50.32	30.18	33.19	36.13	33.70	43.69	26.15	30.91	33.70	22.45	36.19	38.38	44.18
32.14	26.48	43.72	31.22	33.69	38.07	35.75	33.16	38.93	31.45	39.85	28.33	37.60	34.70	39.52	39.76	33.30	39.17	34.48	40.47	37.85	35.49

Conclusão

Biotita Leucomonzogranitos									LeucoMonzogranitos								
KZ-07A	KZ-29B	MAR-118	MAR-141	MAR-42A	MAR-44A	MAR-47A	MAR-93A	Média	F-65	F-77A	KY-104	KY-76	KY-89A	MAR-155	MAR-164A	MAR-167	F-69
23.90	22.60	34.10	27.90	29.10	34.70	27.20	26.90	<b>30.94</b>	32.36	33.95	26.10	31.30	27.30	33.00	33.50	29.00	19.56
31.60	36.10	23.20	29.10	24.50	20.50	25.10	23.40	<b>27.38</b>	31.02	27.64	32.10	29.90	33.80	37.40	24.30	24.60	54.69
38.70	34.60	35.80	31.90	38.40	37.80	39.20	47.40	<b>34.53</b>	31.13	33.57	37.90	36.30	34.60	26.40	35.30	41.40	22.99
1.70	4.40	0.40	2.80	4.50	2.30	1.80	0.80	<b>3.03</b>	3.84	1.71	1.10	1.30	3.40	0.80	0.90	0.40	1.90
-	-	-	-	-	-	-	-	<b>0.00</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.90	1.80	4.00	4.10	1.40	3.50	3.70	0.10	<b>2.76</b>	0.26	0.57	2.30	1.00	0.80	1.50	2.50	2.20	0.33
0.70	0.20	1.60	2.60	0.40	0.20	0.40	0.10	<b>0.51</b>	0.12	0.76	0.10	0.10	-	0.40	0.50	0.30	0.31
-	-	0.60	0.60	1.20	0.40	0.90	0.30	<b>0.21</b>	0.99	-	0.10	-	-	0.50	1.90	1.30	0.01
0.10	0.10	-	-	-	0.10	0.40	0.10	<b>0.19</b>	0.18	0.52	0.10	0.10	-	-	0.50	0.40	0.22
-	-	-	-	-	-	-	-	<b>0.04</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.20	0.10	0.20	0.30	0.10	0.10	0.70	0.30	<b>0.15</b>	-	-	-	-	-	-	0.40	0.40	-
-	-	-	-	-	-	-	-	<b>0.01</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.60	6.60	6.20	9.80	6.40	6.20	7.00	1.40	<b>6.64</b>	4.40	3.56	3.60	2.50	4.20	2.70	4.80	3.70	2.76
70.30	70.70	59.00	61.00	62.90	58.30	64.30	70.80	<b>61.90</b>	62.15	61.21	70.00	66.20	68.40	63.80	59.60	66.00	77.68
33.55	38.69	24.92	32.73	26.63	22.04	27.43	23.95	<b>29.47</b>	32.82	29.05	33.40	30.67	35.32	38.64	26.10	25.89	56.24
25.37	24.22	36.63	31.38	31.63	37.31	29.73	27.53	<b>33.36</b>	34.24	35.68	27.16	32.10	28.53	34.09	35.98	30.53	20.12
41.08	37.08	38.45	35.88	41.74	40.65	42.84	48.52	<b>37.18</b>	32.94	35.28	39.44	37.23	36.15	27.27	37.92	43.58	23.64

## **Quartzo**

Forma cristais hipidiomórfos a xenomórficos de granulação média, e tamanhos bem próximos aos dos feldspatos (Figuras 3.12c), os quais, por efeito da recristalização, são transformados em agregados policristalinos de cristais xenomórficos de granulação fina, no geral com moderada extinção ondulante e fraca orientação. Tais agregados, revelam ainda, a forma original do quartzo. Os contatos entre os grãos que compõem estes agregados de quartzo são irregulares, suturados ou ondulados, ao passo que os destes com os feldspatos são geralmente regulares. Localmente exhibe textura em mosaico, com formas poligonais e contatos retos em junção tríplice. Por vezes, ocorre como inclusões nos feldspatos, mostrando formas arredondadas ou granulares com moderada a fraca extinção ondulante e, no caso dos plagioclásios, quase sempre posiciona-se nas zonas marginais. Finalmente, ocorre como quartzo vermicular ou goticular formando, junto com o plagioclásio, intercrescimentos mirmequíticos.

## **Biotita**

Apresenta-se como lamelas hipidiomórficas, com tamanhos variando entre 0,5 e 1,5 mm. Seu pleocroísmo mais comum é amarelo pálido, passando para marrom esverdeado a marrom escuro (Z,Y). Em alguns locais acha-se parcial ou completamente substituída por clorita e normalmente contém inclusões de zircão e, com menor frequência, apatita. Suas bordas podem mostrar feições de corrosão, normalmente preenchidas por quartzo. Está inclusa em cristais de feldspatos, situando-se preferencialmente nas suas bordas. Lamelas xenomórficas são menos frequentes. Quando ocorrem, são submilimétricas e geralmente associam-se a alanita, epidoto, opacos esqueléticos e titanita xenomórfica.

## **Muscovita**

Ocorre em pequenas quantidades, estando ausente em algumas amostras. Geralmente acompanha a biotita. É hipidiomórfica e possui tamanhos inferiores aos da biotita. Seus contatos são retilíneos, principalmente com a biotita, e tende a orientar-se na mesma direção desta, embora, por vezes, disponha-se transversalmente a biotita.

## **Epidoto**

Com base nos seus aspectos texturais, podem ser distinguidos quatro tipos principais, similares aos descritos nas unidades anteriores:

- (i) cristais hipidiomórficos a idiomórficos, geralmente maclados e zonados, inclusos ou não na biotita (Ep1). É similar ao epidoto III de Sial (1990), considerado por este autor como de cristalização magmática;
- (ii) pequenos cristais xenomórficos a hipidiomórficos, associados à alanita, formando um manto de espessura variável sobre este mineral (Ep2). É similar ao epidoto II de Sial (1990). Por vezes, restam apenas pontos castanhos no centro do agregado de epidoto, como relíquias de cristais de alanita.
- (iii) cristais preferencialmente xenomórficos, com elevada birrefringência, em geral associados aos minerais máficos ou isolados na rocha (Ep3);

- (iv) epidoto em grãos submilimétricos xenomórficos, ocorrendo sobre cristais de plagioclásio, produto da sua saussuritização (Ep4). Similar ao epidoto IV de Sial (1990).

### **Minerais opacos**

Estes minerais ocorrem inclusos em cristais de feldspato alcalino e plagioclásio ou associados a biotita, titanita e epidoto..

*Magnetita*: apresenta-se de formas variadas, predominando cristais hipidiomórficos a idiomórficos bem preservados e pouco martitizados, existindo também cristais xenomórficos mais intensamente martitizados. A martitização pode limitar-se às bordas do cristal ou penetrar por seus planos de fraturas; excepcionalmente atinge todo o grão. Em alguns cristais observam-se fraturas preenchidas por goethita. Nos contatos entre cristais de magnetita com titanita ou magnetita com biotita, observam-se algumas reentrâncias, sugerindo que a magnetita foi parcialmente corroída e contribuiu para a nucleação e, talvez, crescimento destes minerais.

*Ilmenita*: os cristais de ilmenita são muito raros e se apresentam exclusivamente como ilmenita *trellis*, como discutido anteriormente.

*Hematita*: se desenvolve somente através de martitização da magnetita. Este processo desenvolve-se comumente ao longo do plano (111) de cristais de magnetita pobres em Ti (Haggerty 1981).

*Goethita*: ocorre invariavelmente como pequenos cristais isolados ou preenchendo fraturas na magnetita. Sua formação, segundo Haggerty (1981), pode resultar do processo de oxi-hidratação da magnetita. Outra possibilidade é a sua derivação da pirita.

### **Minerais acessórios**

Os principais minerais acessórios dos leucogranitos potássicos da Folha Marajoara são: Alanita, Titanita, apatita e zircão.

*Alanita*: forma normalmente cristais idiomórficos, em geral prismáticos e alongados, de tamanhos variando de 0,36 a 1,8 mm. Geralmente estão zonados e maclados e mostram diferentes graus de metamictização. Frequentemente estão envolvidos por um manto de epidoto de espessura variável e distribuição nem sempre regular.

*Titanita*: apresenta-se na forma de cristais losangulares, hipidiomórficos ou, raramente, xenomórficos. Possui dimensões submilimétricas e está associada com a biotita ou inclusa nesta. Cristais xenomórficos estão associados aos opacos e próximos de zonas de corrosão da biotita. Também ocorrem ao longo dos planos de clivagem da biotita, juntamente com a clorita, devendo neste caso ser uma fase secundária.

*Apatita*: forma pequenos cristais prismáticos, idiomórficos, de dimensões submilimétricas; na grande maioria das vezes, acompanha a biotita, estando por vezes inclusa nesta e também no plagioclásio.

*Zircão*: ocorre como minúsculos cristais submilimétricos, geralmente idiomórficos, metamictizados, inclusos ou não na biotita.

### **- Granodiorito**

Ao microscópio mostra uma textura granular fina, formada por plagioclásio, álcali-feldspato e quartzo. Eventualmente, ocorrem fenocristais de álcali-feldspato de aspecto poiquilítico, contendo várias inclusões de plagioclásio, quartzo e biotita. A recrystalização dos feldspatos é limitada a ausente; quando presente é restrita às regiões intergranulares.

### **Plagioclásio**

Forma cristais hipidiomórficos e xenomórficos, de granulação média a fina, que mostram maclamento albita e zoneamento do tipo normal. São comuns inclusões de opacos, biotita e apatita. A recrystalização é moderada. Cristais xenomórficos ocorrem em rochas onde há recrystalização e o desenvolvimento da foliação.

### **Álcali-feldspato**

Forma cristais xenomórficos, de granulação fina, com maclamento xadrez e poucas pertitas. A recrystalização é moderada. Alguns cristais são mais desenvolvidos e possuem aspecto poiquilítico com inclusões de plagioclásio, quartzo e biotita.

### **Quartzo**

Forma pequenos cristais xenomórficos, equigranulares, de granulação fina, com moderada extinção ondulante e contatos curvos. Em algumas amostras possuem formas alongadas semelhantes a *ribbon*.

### **Biotita e Muscovita**

A biotita geralmente ocorre como cristais lamelares de granulação fina, hipidiomórficos a xenomórficos, associados principalmente a epidoto e titanita. Não mostra sinais de cloritização. A muscovita ocorre como cristais hipidiomórficos de granulação fina, geralmente associados com a biotita, com a qual exibe contatos retos.

### **Minerais acessórios**

Poucos cristais de alanita; o epidoto ocorre exclusivamente como manto na alanita; opacos idiomórficos, cristais de titanita e zircão, inclusos ou não na biotita, e apatita, inclusa no plagioclásio.

## **3.2.6 Granitos Anorogênicos Paleoproterozóicos**

### **- Descrição macroscópica**

Os granitos anorogênicos paleoproterozóicos aflorantes na Folha Marajoara são representados pelos granitos Bannach, Musa e Marajoara, ambos da Suíte Jamon. Estes granitos não diferem em termos de composição modal de forma acentuada e texturalmente são semelhantes.

### ***Granitos Bannach e Musa***

Considerando a grande similaridade entre as fácies que constituem esses corpos, no que diz respeito às características mineralógicas, composicionais e texturais, a descrição a seguir abordará de modo integrado esses maciços.

As rochas desses corpos são texturalmente bastante variadas, apresentando desde termos com granulação grossa, equigranulares ou porfíricos até heterogranulares médios a grossos e equigranulares médios. Exibem, geralmente, em amostra de mão coloração rosada a acinzentada, alguns com tonalidades esbranquiçadas e outros avermelhadas, em especial, aqueles tipos mais leucocráticos. Em escala de afloramento apresentam-se, por vezes, bastante heterogêneos, observando-se grandes variações texturais. É muito comum o desenvolvimento da textura rapakivi em rochas de granulação grossa, assim como, a presença de agregados de minerais máficos, geralmente acompanhados de concentrações de cristais de plagioclásio.

### ***Granito Marajoara***

As rochas do Granito Marajoara são texturalmente e composicionalmente bastante homogêneas, exibindo uma textura equigranular média com conteúdo muito reduzido de minerais ferromagnesianos dando caráter hololeucocrático para essas rochas.

### **- Composições modais e classificação**

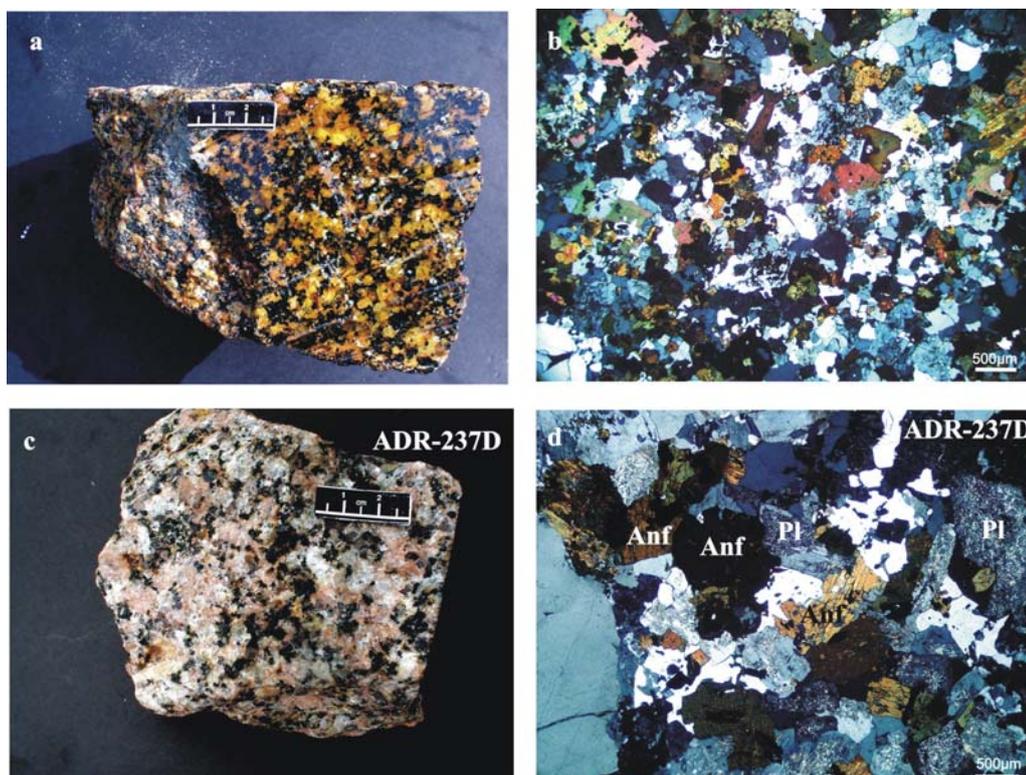
#### ***Granitos Bannach e Musa***

Esses maciços apresentam composição predominantemente monzogranítica e sienogranítica subordinada, exibem variações mineralógicas que permitem individualizar três fácies petrográficas principais: (1) granitos portadores de anfibólio+biotita±clinopiroxênio (PP3Yba e PP3Ymua); (2) granitos portadores de biotita±anfibólio (PP3Ybb e PP3Ymub); (3) leucogranitos (PP3Ybl e PP3Ymul). Estes granitos não diferem em termos de composição modal de forma acentuada. Eles apresentam composições monzograníticas a sienograníticas, as quais se superpõem em parte ou inteiramente. Apresentam mineralogia similar, com microclina, quartzo e plagioclásio como minerais essenciais; biotita ± anfibólio e, muito raramente, clinopiroxênio, como varietais; titanita, allanita, apatita e zircão como acessórios primários; epidoto, clorita, sericita-muscovita ± fluorita como fases secundárias.

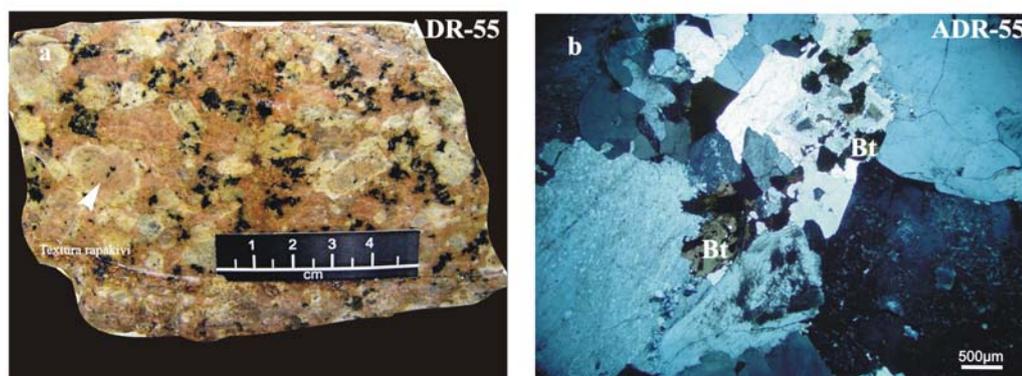
Os granitos portadores de anfibólio+biotita±clinopiroxênio (PP3Yba e PP3Ymua) (Figura 3.14) possuem duas variedades petrográficas: biotita-anfibólio-granodiorito (Figura 3.14a) e biotita-anfibólio-monzogranitos (Figura 3.14b). Essas variedades possuem os maiores conteúdos de minerais máficos (média de 12,95% para os granodioritos e 10,33% para os monzogranitos) dentre os conjuntos avaliados. Já os granitos portadores de biotita±anfibólio (PP3Ybb e PP3Ymub) apresentam três variedades: anfibólio-biotita-monzogranito (Figura 3.15), biotita-monzogranito e biotita-sienogranito. Existem duas variedades de leucogranitos (PP3Ybl e PP3Ymul): leucomonzogranitos e leucosienogranitos, estas fácies exibem ampla variação textural com termos de granulação grossa, média e fina (Figura 3.16).

As composições modais médias das diversas fácies desses granitos são apresentadas na tabela 3.7 e podem ser visualizados no diagrama Q-A-P (Streckeisen 1976) (Figura 3.17). A avaliação do conjunto de dados modais revela a existência de passagens graduais entre os vários grupos de rochas distinguidas, havendo pequenas superposições entre os mesmos. A transição entre as várias fácies é comandada pelos seguintes fatores que atuam isoladamente ou associados, dependendo do caso: (1) variações moderadas nas razões P/A (plagioclásio/microclina);

(2) variações acentuadas no conteúdo de máficos (M); (3) variações marcantes nas razões anfibólio/biotita; e (4) embora não indicada pelos dados modais, decréscimo gradual no conteúdo de anortita do plagioclásio. Em linhas gerais, as razões P/A e os valores de M tendem a exibir valores decrescentes no sentido das rochas com anfibólio varietal (fácies PP3 $\gamma$ ba e PP3 $\gamma$ mua) para os leucogranitos (PP3 $\gamma$ bl e PP3 $\gamma$ mul), passando pelas rochas portadoras de biotita $\pm$ anfibólio (PP3 $\gamma$ bb e PP3 $\gamma$ mub).



**Figura 3.14** - Aspectos macroscópicos e microscópicos (fotomicrografias em nicóis cruzados; b, d) das rochas portadoras de anfibólio+biotita $\pm$ clinopiroxênio: a) Aspecto macroscópico da fácies biotita-anfibólio-granodiorito com textura equigranular grossa; b) Aspecto microscópico do biotita-anfibólio-granodiorito; c) Aspecto macroscópico da fácies biotita-anfibólio-monzogranitos com textura equigranular grossa; d) Aspecto microscópico da fácies biotita-anfibólio-monzogranitos. Notar a nítida associação dos cristais de anfibólio com os plagioclásios.

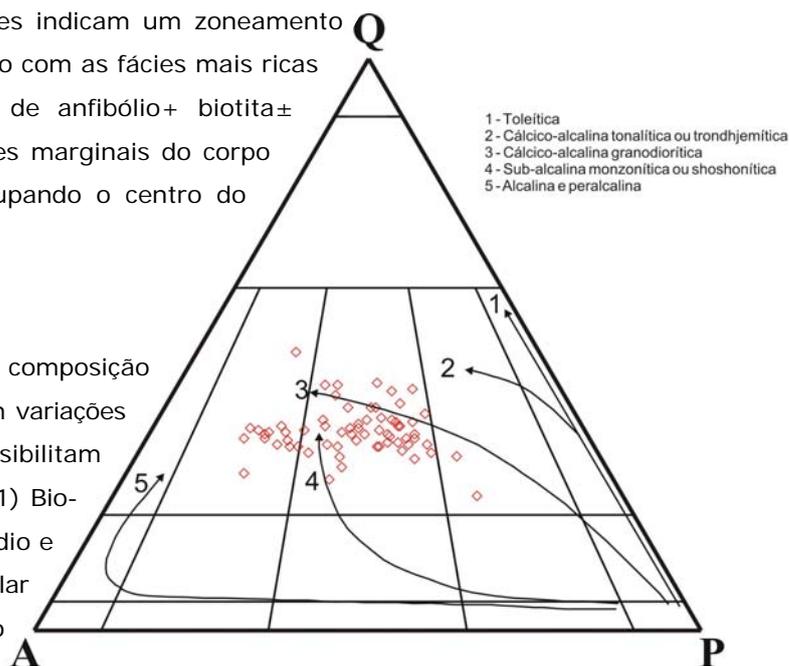


**Figura 3.15** - (a) Aspectos macroscópicos e (b) microscópicos (fotomicrografias em nicóis cruzados em f) das rochas portadoras de biotita $\pm$ anfibólio. Observa-se também o desenvolvimento da textura rapakivi (cristais ovóides de feldspato potássico manteados por plagioclásio) e o maior desenvolvimento de biotita em relação ao anfibólio.

A distribuição espacial dessas fácies indicam um zoneamento composicional e textural concêntrico com as fácies mais ricas em máficos (granitos portadores de anfibólio+ biotita± clinopiroxênio) situadas nas porções marginais do corpo e as fácies mais leucocráticas ocupando o centro do maciço (leucogranitos).

### Granito Marajoara

O maciço Marajoara apresenta composição essencialmente monzogranítica, com variações mineralógicas e texturais que possibilitam separar duas fácies petrográficas: (1) Biotita-monzogranito equigranular médio e (2) leucomonzogranito equigranular médio. Porém a individualização faciológica em mapa foi impossibilitada devido a escala de trabalho adotada.



**Figura 3.17:** Diagrama Q–A–P (Streckeisen 1976) para os Granitos Anorogênicos da Folha Marajoara 1 a 5 - Séries de granitóides e respectivos *trends* evolutivos (Lameyre & Bowden 1982, Bowden *et.al.* 1984).

A paragênese essencial das rochas do Granito Marajoara é representada por quartzo, microclina e plagioclásio. Os dados das análises modais (Tabela 3.7), quando plotados no diagrama Q-A-P (Streckeisen 1976), demonstram que os teores destes minerais variam significativamente, porém não deslocam-se do campo dos monzogranitos (Figura 3.17).

### - Variedades petrográficas - descrição mineralógica e análise textural.

Os biotita-anfibólio-granodiorito e biotita-anfibólio-monzogranitos possuem os maiores conteúdos de máficos que se reflete na sua coloração mais escura em relação às demais fácies.

Apresentam uma textura equigranular grossa e é perceptível o arranjo dos minerais máficos em agregados circundados por plagioclásio. A fácies biotita-anfibólio-monzogranitos diferem do biotita-anfibólio-granodiorito por possuírem menores quantidades de máficos e plagioclásio e proporções superiores de feldspato alcalino, os quais são responsáveis pela tonalidade rosada destas rochas (Figura 3.14a e b). Observa-se um aumento na granulação no sentido biotita-anfibólio-granodiorito→biotita-anfibólio-monzogranitos→anfibólio-biotita-monzogranitos-biotita-monzogranitos, provavelmente relacionado ao maior desenvolvimento dos cristais de quartzo e feldspatos, acompanhando o decréscimo de máficos.

Em amostras localizadas deste grupo de fácies, têm-se variações porfíricas com fenocristais de plagioclásio e feldspato alcalino, ora subédricos e tabulares, ora ovalados, de dimensões entre 20 mm até 50 mm. É comum o desenvolvimento de textura rapakivi nesses conjuntos de rochas (Figura 3.15a). Isso é mais comum nos anfibólio-biotita-monzogranitos que, por vezes, tendem a assumir caráter porfírico, em função do maior desenvolvimento do feldspato alcalino, que pode alcançar dimensões de até 30 mm, porém sempre com alta razão fenocristal/matriz.

**Tabela 3.7:** Dados de análises modais dos granitos anorogênicos da Folha Marajoara.

Fácies Petrográficas	Granitos portadores de Anfibólio+ Biotita±Clinopiroxênio (PPY3ba e PPY3Mua)												
Variedades Petrográficas	Biotita-anfibólio-Granodiorito			Biotita-anfibólio-monzogranito									
Amostra / Mineral	KM-73A	KM-85A	Média	ADR-218	ADR-241	ADR-67	ADR-68B	ADR-78A	CREMU-29B	KM-134	KM-68	KM-87A	Média
Quartzo	20.2	25.2	<b>22.70</b>	32.7	29.5	30	36.2	28.6	26.1	31.2	25.5	34	<b>30.42</b>
Plagioclásio	48.3	41.1	<b>44.70</b>	35.1	33.7	35.6	29.5	34	31.3	27.1	37	28.2	<b>32.39</b>
Microclínio	20	19	<b>19.50</b>	20.3	30.8	23.7	29.3	24.6	24.3	30.4	25.1	26.6	<b>26.12</b>
Biotita	2.9	1.4	<b>2.15</b>	3.4	1.3	2.6	1.2	2.4	2.1	3.6	1.8	3.2	<b>2.40</b>
Anfibólio	7	8.8	<b>7.90</b>	4.6	2.6	4.4	1.5	6.2	10.7	3.8	8.4	4.9	<b>5.23</b>
Clorita		0.8	<b>0.40</b>		0.3	0.2	0.1	0.9	0.4			0.3	<b>0.24</b>
Opacos	0.7	2.5	<b>1.60</b>	2.7	0.4	1.1	0.7	1.3	1.9	1.6	1.6	1.8	<b>1.46</b>
Titanita	0.9	0.8	<b>0.85</b>	0.2			0.1	0.2	1.6	1	0.2	0.6	<b>0.43</b>
Allanita		0.1	<b>0.05</b>	0.8	1.3			0.3		0.4	0.2		<b>0.33</b>
Fluorita			<b>0.00</b>										<b>0.00</b>
Apatita		0.2	<b>0.10</b>						1.4	0.7		0.1	<b>0.24</b>
Acessórios		0.1	<b>0.05</b>		0.3	0.2		0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	<b>0.20</b>
Clinopiroxênio	Tr	Tr	<b>0.00</b>	0.2		0.3	0.6	1					<b>0.23</b>
Muscovita			<b>0.00</b>										<b>0.00</b>
<b>Máficos</b>	11.50	14.40	<b>12.95</b>	11.90	5.90	8.60	4.20	12.30	16.70	10.40	12.20	10.80	<b>10.33</b>
<b>A+P</b>	68.5	66.3	<b>67.40</b>	67.8	63.2	65.6	65.7	62.6	57.4	58.3	62.5	62.2	<b>62.81</b>
Microclínio*	22.60	22.27	<b>22.44</b>	23.04	32.77	26.54	30.84	28.21	29.74	34.27	28.65	29.95	<b>29.34</b>
Quartzo*	22.82	29.54	<b>26.18</b>	37.12	31.38	33.59	38.11	32.80	31.95	35.17	29.11	38.29	<b>34.17</b>
Plagioclásio*	54.58	48.18	<b>51.38</b>	39.84	35.85	39.87	31.05	38.99	38.31	30.55	42.24	31.76	<b>36.50</b>

Continuação

Fácies Petrográficas	Granitos portadores de Biotita ± Anfibólio (PPY3bb e PPY3Mub)													
Variedades Petrográficas	Anfibólio-biotita-monzogranitos													
Amostra / Mineral	ADR-237D	ADR-74E	ADR-98A	CREMU-23	CREMU-29A	CREMU-35A	CREMU-42A	KM-113	KM-144B	KM-37A	KM-72	KM-77A	KM-81	Média
Quartzo	30.4	27.4	28	30.5	30.3	23.9	29.6	29.2	27.1	30.6	29.4	30.3	32.1	29.14
Plagioclásio	30	36.7	36.1	33.5	27.6	27.6	36.6	36.6	39.3	32.5	28.9	34.7	34	33.39
Microclínio	24.3	22	27.4	27.8	32.2	35.1	24.3	26	22.9	24.5	32.6	29.5	26	27.28
Biotita	6	5.5	5.8	5.4	8.4	4.8	4.1	4.2	6.3	9	3.6	2.2	3.4	5.28
Anfibólio	5.6	4.4	0.8	1.4	0.4	3.9	1.9	1.2	2.5	1	2.7	1.5	2.3	2.28
Clorita	0.3	0.1	0.2	0.4			0.9	0.6		0.4	0.5		0.3	0.28
Opacos	2.4	1.9	1.3	0.6	0.3	1	1.7	0.6	0.6	1	0.9	0.9	0.3	1.04
Titanita		0.2	0.1	0.4	0.8	2.7	0.8	1	0.7	0.2	1	0.9	1.4	0.78
Allanita	0.5	1.1												0.12
Fluorita														0.00
Apatita						0.4		0.4		0.5	0.4		0.2	0.15
Acessórios	0.5		0.1		0.6	0.1	0.2	0.6	0.3					0.18
Clinopiroxênio		0.3	0.3											0.05
Muscovita														0.00
<b>Máficos</b>	14.80	13.50	8.50	8.20	9.90	12.40	9.40	7.60	10.10	11.60	8.70	5.50	7.70	9.84
<b>A+P</b>	60.4	64.1	64.1	64	57.9	51.5	66.2	65.8	66.4	63.1	58.3	65	66.1	62.53
Microclínio*	28.69	25.55	29.95	30.28	35.74	40.53	26.85	28.32	25.64	27.97	35.86	31.22	28.23	30.37
Quartzo*	35.89	31.82	30.60	33.22	33.63	27.60	32.71	31.81	30.35	34.93	32.34	32.06	34.85	32.45
Plagioclásio*	35.42	42.62	39.45	36.49	30.63	31.87	40.44	39.87	44.01	37.10	31.79	36.72	36.92	37.18

Continuação

Fácies Petrográficas	Granitos portadores de Biotita ± Anfibólio (PPY3bb e PPY3Mub)														
Variedades Petrográficas	Biotita-monzogranitos											Biotita-anfibólio-sienogranitos			
Amostra / Mineral	ADR-41A	ADR-45B	ADR-69	CREMU-141F	CREMU-30A	GDR-2E*	GDR-7*	KM-115	KM-70B	KY-114	Média	CREMU-28	CREMU-57A	KM-32	Média
Quartzo	33.3	36.6	40.1	32.3	41.2	38.2	31.6	27.9	31.9	31.2	<b>34.43</b>	27.8	31.6	32.4	<b>30.60</b>
Plagioclásio	33.6	22.3	22.8	21.8	21.7	33	31.8	28.8	27.2	33.5	<b>27.65</b>	14.7	18.9	13.8	<b>15.80</b>
Microclínio	26.3	31.8	31.9	40.4	34.8	21	29	37.6	35.1	28.6	<b>31.65</b>	39.8	42.8	47.6	<b>43.40</b>
Biotita	3.9	4.5	2	2.6	8.4	2.9	4.7	4.1	3.3	5.1	<b>4.15</b>	12.4	3.3	2.3	<b>6.00</b>
Anfibólio											<b>0.00</b>	1	0.7	1.1	<b>0.93</b>
Clorita	0.6	2.2	3	0.4	1	0.8		0.4	0.6		<b>0.90</b>	0.5	1.3	0.8	<b>0.87</b>
Opacos	0.6	2		1.2	0.4	1.8	0.2	0.6	0.6	0.8	<b>0.82</b>	2.3	0.4	1.8	<b>1.50</b>
Titanita	0.6	0.2		0.6	0.4		0.4	0.1	1.2	0.1	<b>0.36</b>	0.8			<b>0.27</b>
Allanita				0.5			0.2	0.3			<b>0.10</b>		0.1		<b>0.03</b>
Fluorita						0.8					<b>0.08</b>		0.1		<b>0.03</b>
Apatita				0.1						0.4	<b>0.05</b>	0.7	0.4		<b>0.37</b>
Acessórios				0.1	0.2	0.1	0.4	0.2	0.1		<b>0.11</b>		0.4	0.4	<b>0.27</b>
Clinopiroxênio											<b>0.00</b>				<b>0.00</b>
Muscovita						0.9	1.4				<b>0.23</b>				<b>0.00</b>
<b>Máficos</b>	5.70	8.90	5.00	5.30	10.20	5.50	5.50	5.50	5.70	6.00	<b>6.33</b>	17.00	5.80	6.00	<b>9.60</b>
<b>A+P</b>	66.9	58.9	62.9	54.1	62.9	71.2	63.4	56.7	59.1	64.7	<b>62.08</b>	42.5	50.5	46.2	<b>46.40</b>
Microclínio*	28.22	35.06	33.65	42.75	35.62	22.78	31.39	39.87	37.26	30.65	<b>33.72</b>	48.36	45.87	50.75	<b>48.33</b>
Quartzo*	35.73	40.35	42.30	34.18	42.17	41.43	34.20	29.59	33.86	33.44	<b>36.73</b>	33.78	33.87	34.54	<b>34.06</b>
Plagioclásio*	36.05	24.59	24.05	23.07	22.21	35.79	34.42	30.54	28.87	35.91	<b>29.55</b>	17.86	20.26	14.71	<b>17.61</b>

\*\_ Amostras do Granito Marajoara (PP3Yma)

Continuação

Fácies Petrográficas	Leucogranitos (PP3Ybl e PP3YMul)																	
Variedades Petrográficas	LeucoMonzogranitos																	
Amostra / Mineral	ADR-100A	ADR-103	ADR-119	ADR-130A	ADR-41B	ADR-63	CREMU-32	CREMU-37B	GDR-2A*	GDR-2D*	GDR-8B*	GDR-9A*	KM-129	KM-133	KM-152	KY-94A	KY-94B	Média
Quartzo	37.4	35.6	33.4	34.6	30	34	29.5	32.3	39.9	34.2	30.2	30.6	34.1	32.9	24.8	37.2	41.7	<b>33.67</b>
Plagioclásio	33.6	32.7	29.7	30.3	33.7	24.7	24.8	31.5	31.7	37	26.5	28.7	23.6	28.1	30.2	26.6	28.9	<b>29.55</b>
Microclínio	24.9	29.1	33	31.1	31.5	38	42.8	33	25.1	24.9	38.5	38.2	37.2	33.9	42.2	33.2	27	<b>33.15</b>
Biotita	2.6	0.8	1.8	2.9	4.1	1.8	0.2	0.4	2.1	1.5	3.1	1.7	3.2	3.3	0.7	2.8	1.7	<b>2.04</b>
Anfibólio													0.1					<b>0.01</b>
Clorita	0.8	1.4	0.9		0.3	0.4	1.9	0.8	0.5	1		0.2	0.6	0.4	1.3		0.1	<b>0.62</b>
Opacos	0.5		0.2		0.2		0.4	0.7	0.3	0.5		0.2	0.3	0.6	0.5	0.1		<b>0.26</b>
Titanita	0.1							0.4		0.1	0.2		0.3	0.3	0.1			<b>0.09</b>
Allanita								0.4			0.2			0.2	0.1			<b>0.05</b>
Fluorita	0.2	0.2				0.1		0.4			0.1							<b>0.06</b>
Apatita																	0.3	<b>0.02</b>
Acessórios			0.5				0.4	0.1	0.1	0.2			0.6	0.3	0.1			<b>0.14</b>
Clinopiroxênio																		<b>0.00</b>
Muscovita		0.1	0.3	0.5						0.3	0.8	0.1					0.1	<b>0.13</b>
<b>Máficos</b>	4.00	2.20	2.90	2.90	4.60	2.20	2.50	2.70	2.90	3.10	3.50	2.10	4.50	4.80	2.70	2.90	1.80	<b>3.08</b>
<b>A+P</b>	71	68.3	63.1	64.9	63.7	58.7	54.3	63.8	71.6	71.2	56.7	59.3	57.7	61	55	63.8	70.6	<b>63.22</b>
Microclínio*	25.96	29.88	34.34	32.40	33.09	39.30	44.08	34.09	25.96	25.91	40.44	39.18	39.20	35.72	43.42	34.23	27.66	<b>34.40</b>
Quartzo*	39.00	36.55	34.76	36.04	31.51	35.16	30.38	33.37	41.26	35.59	31.72	31.38	35.93	34.67	25.51	38.35	42.73	<b>34.94</b>
Plagioclásio*	35.04	33.57	30.91	31.56	35.40	25.54	25.54	32.54	32.78	38.50	27.84	29.44	24.87	29.61	31.07	27.42	29.61	<b>30.66</b>

\*\_ Amostras do Granito Marajoara (PP3Yma)

Conclusão

Fácies Petrográficas	Leucogranitos (PP3Ybl e PP3YMul)											
Variedades Petrográficas	LeucoSienogranitos											
Amostra / Mineral	CREMU-59B	CREMU-24	CREMU-41A	CREMU-58B	KM-150	KM-51	KM-128	KM-138	KM-63	KM-82	KM-88	Média
Quartzo	31.9	30.4	32.4	25.7	31.5	30	31.4	32.6	46.7	34.3	32	<b>32.70</b>
Plagioclásio	14.8	21.6	17	17.1	20.7	22.5	20	17.6	14.7	18.6	14.3	<b>18.41</b>
Microclínio	46	45	47.3	53.7	45	42.9	47.4	49.2	36.1	44.8	51.2	<b>46.26</b>
Biotita	8.3	1.6	2.5	1.4		1.9	0.6	0.2			1.1	<b>0.93</b>
Anfibólio			0.1			0.7						<b>0.08</b>
Clorita				0.8	1.9	0.5	0.3		1.8	1.3	0.2	<b>0.68</b>
Opacos	0.8	0.4	0.1	0.4	0.4	0.7	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	<b>0.47</b>
Titanita	0.2		0.5	0.7		0.5			0.1		0.4	<b>0.22</b>
Allanita						0.3						<b>0.03</b>
Fluorita		0.8			0.4							<b>0.12</b>
Apatita				0.2	0.1							<b>0.03</b>
Acessórios		0.2	0.1						0.1	0.3		<b>0.07</b>
Clinopiroxênio												<b>0.00</b>
Muscovita												<b>0.00</b>
<b>Máficos</b>	9.30	2.00	3.20	3.30	2.30	4.60	1.20	0.60	2.40	2.00	2.50	<b>2.41</b>
<b>A+P</b>	46.7	52	49.4	42.8	52.2	52.5	51.4	50.2	61.4	52.9	46.3	<b>51.11</b>
Microclínio*	49.62	46.39	48.91	55.65	46.30	44.97	47.98	49.50	37.03	45.85	52.51	<b>47.51</b>
Quartzo*	34.41	31.34	33.51	26.63	32.41	31.45	31.78	32.80	47.90	35.11	32.82	<b>33.57</b>
Plagioclásio*	15.97	22.27	17.58	17.72	21.30	23.58	20.24	17.71	15.08	19.04	14.67	<b>18.92</b>

Ao microscópico essas rochas mostram textura granular hipidiomórfica grossa (Figura 3.14b,d e 3.15b), localmente tendendo a porfírica, devido ao maior desenvolvimento dos feldspatos. São comuns, principalmente nos sentidos biotita-anfibólio-granodiorito e biotita-anfibólio-monzogranitos, agregados de minerais máficos associados com concentrações de cristais geralmente alterados de plagioclásio, sendo que os primeiros possuem dimensões (0,2 - 4 mm) bem inferiores em relação aos feldspatos. Nessas fácies mais enriquecidas em máficos, os agregados são mais compactos e o anfibólio é o máfico dominante, sendo que em certas amostras envolvem relíquias de clinopiroxênio. Os cristais de clinopiroxênio, anfibólio e opacos são subautomorfos e mostram-se intimamente associados, sendo marcante no clinopiroxênio a transformação para anfibólio e as inclusões de apatita, opacos e zircão. Essas feições são menos comuns nos anfibólio-biotita-monzogranitos e biotita-monzogranitos, onde a biotita passa a ser o máfico predominante, em função da intensa substituição do anfibólio pela mesma. Os cristais reliquiais de clinopiroxênio são muito raros e os agregados máficos são mais dispersos e não mostram uma associação tão constante com as concentrações de cristais de plagioclásio.

É muito freqüente, o plagioclásio constituir agregados de cristais, por vezes mostrando relações de *synneusis* (conforme Vance 1969) ou de crescimento epitaxial (Dowty 1980). Tais agregados costumam acompanhar os minerais máficos, sendo mais freqüentes os cristais mais intensamente transformados (descalcificados) nas fácies mais enriquecidas em máficos (biotita-anfibólio-granodiorito e biotita-anfibólio-monzogranitos). Eles ocorrem também nas fácies anfibólio-biotita-monzogranitos e biotita-monzogranitos, porém nem sempre acompanham as maiores concentrações de máficos.

Os leucogranitos são caracterizados por sua coloração rosada com tons avermelhados devida à maior proporção de feldspato alcalino em relação às fácies precedentes (Figura 3.16). A biotita e o anfibólio ocorrem como minerais reliquiais de pequenas dimensões e dispersos entre os minerais essenciais. A clorita torna-se relativamente mais abundante nesta fácies (Tabela 3.7), ocorrendo como grãos dispersos ou associados com restos de biotita.

Embora ocorram ligeiras diferenças composicionais entre as diferentes fácies dos corpos anorogênicos da Folha Marajoara, a textura dos minerais são muito similares. Suas principais características de seus constituintes minerais são:

### **Quartzo**

De acordo com o hábito, tamanho, forma e associação com outros minerais foi possível reconhecer 4 tipos petrográficos distintos de quartzo: a)  $Qz_1$  - São cristais com dimensões similares ou ligeiramente inferiores às dos feldspatos; suas faces cristalinas são geralmente hipidiomórficas e mostram contatos retilíneos com minerais adjacentes. A maioria dos cristais de quartzo presentes nas rochas é desse tipo; b)  $Qz_2$  - Apresenta-se sob forma de finos cristais xenomórficos, sempre associado aos agregados de máficos e particularmente, àqueles com anfibólio sendo substituído por biotita; c)  $Qz_3$  - Esta forma é xenomórfica, de granulação fina e, por vezes, apresenta-se como cristais arredondados. Forma pequenas inclusões localizadas nas bordas dos cristais de feldspato, marcando as zonas de crescimento desses cristais ou, mais raramente, como cristais isolados de dimensões inferiores às do  $Qz_1$ ; d)  $Qz_4$  - esse tipo textural de quartzo possui forma de vermículas

ou gotículas, de pequenas dimensões (<0,1mm), formando intercrescimentos granofíricos geralmente nas porções marginais dos fenocristais de microclina e, por vezes, envolvendo completamente cristais de menores dimensões presentes na matriz da rocha.

### **Microclina**

Os cristais de microclina são geralmente hipidiomórficos, com tamanhos que variam de 2-10 mm. Seus contatos são irregulares com o plagioclásio, mostrando-se retilíneos com o quartzo e biotita. Formam por vezes, intercrescimentos granofíricos com o  $Qz_4$ . Cristais de  $Qtz_3$  acham-se inclusos nas bordas dos cristais de microclina marcando duas zonas uma central e outra na borda que possuem provavelmente composições distintas. Raramente mostra relação de contato com o anfibólio, revelando sua não afinidade com o mesmo. A microclina é fraca a moderadamente pertítica e a forma das lamelas sódicas nos seus cristais varia desde filmes ondulados, até veios e manchas irregulares (*patches*). São comuns nessas rochas, agregados de cristais de microclina circundando cristais isolados de plagioclásio. Por vezes, no contato entre dois cristais de feldspato, ocorre a formação de albita intergranular em pequenos grãos isolados, assim como em forma de coroas trocadas (Smith 1974) ou de dedos, estes em contato Mc e Pl. Cristais de microclina parcialmente substituídos por albita em tabuleiro de xadrez (Smith 1974) são raramente observados, nestas fácies.

### **Plagioclásio**

Exibe formas hipidiomórficas fornecendo geralmente seções quadráticas pouco alongadas de dimensões que variam de 3 a 12 mm. Os seus contatos são regulares com o quartzo e a biotita e bastante irregulares com o feldspato alcalino. A forte saussuritização dos cristais de plagioclásio, dificulta a determinação da composição dos mesmos, porém em raras seções, paralelas a (100), onde se tornam visíveis as duas direções de clivagens, foi possível sua determinação. Suas composições porções centrais são geralmente de oligoclásio cálcico ( $\approx An_{24}$ ), podendo chegar a andesina sódica ( $\approx An_{30}$ ). Nas bordas as composições são mais sódicas variando de oligoclásio sódico ( $\approx An_{15}$ ) até albita pura ( $An_0$ ). Por vezes essa mudança composicional de oligoclásio cálcico para sódico é marcada por inclusões de  $Qtz_3$  nas bordas dos cristais, limitando zonas de composição mais cálcica (centro do cristal), ( $Pl_1$ ), de outras mais sódicas (bordas), ( $Pl_2$ ).

O zoneamento mais comum nos cristais de plagioclásio é do tipo normal, com os núcleos mais cálcicos mostrando-se geralmente corroídos e alterados para sericita-muscovita e epidoto. O maclamento mais freqüente é do tipo albita, polissintético, e mais raramente, Carlsbad. É comum o desenvolvimento de intercrescimentos mirmequíticos do tipo em bulbo ou planar no contato *Pl-Mc*, com uma borda albítica associada.

São freqüentes, agregados de plagioclásios circundando cristais de anfibólios. Inclusões de anfibólio são observadas nas bordas sódicas dos cristais de plagioclásio. Tem-se, localmente, cristais de plagioclásio envolvendo o feldspato alcalino, sendo os contatos entre eles bastante irregulares, caracterizando a textura rapakivi. Texturas anti-rapakivi também ocorrem.

Os minerais máficos estão mais desenvolvidos nos granitos portadores de anfibólio+biotita± clinopiroxênio, as quais possuem maior conteúdo desses minerais em relação as demais rochas

estudadas. Agregados de anfibólio, opacos, biotita, titanita, apatita, zircão são freqüentemente observados nessas rochas.

### **Clinopiroxênio**

Os cristais de clinopiroxênio possuem coloração amarelo pálido, sendo relativamente comuns nos biotita-anfibólio-granodiorito e nos agregados de minerais máficos do biotita-anfibólio-monzogranito, geralmente como relíquias envoltos por anfibólio.

### **Anfibólio**

Os anfibólios apresentam-se geralmente sob forma de cristais xenomórficos, porém algumas seções mostram faces cristalinas bem definidas. Os cristais de anfibólio mostram tendência a associar-se com o plagioclásio, tanto na forma de agregados como em cristais isolados. Eles englobam constantemente inclusões de zircão, apatita e opacos. A substituição parcial por biotita, com desenvolvimento de  $Qtz_2$  intimamente associado, é muito comum.

### **Biotita**

Os cristais de biotita mostram-se em lamelas hipidiomórficas com dimensões que variam de 0,3 a 4 mm. Nessas rochas, a biotita ocasionalmente é substituída parcialmente por óxidos de ferro e clorita, sendo que essas transformações são mais intensas nas rochas mais pobres em máficos. O contato da biotita com feldspatos e quartzo são retilíneos e interpenetrados com minerais opacos, titanita e allanita. A biotita tende a possuir uma forma anédrica quando substitui os cristais de anfibólio.

### **Titanita**

Os cristais de titanita são ora automórficos, ora xenomórficos. Os primeiros mostram-se ou inclusos em cristais de biotita ou em contato regular com a mesma. Quando em contato com os opacos e apatita suas bordas mostram-se irregulares. Os cristais xenomórficos são levemente pleocróicos de coloração amarronzada, associando-se com biotita ou, por vezes, bordejando minerais opacos.

### **Alanita**

A alanita apresenta-se geralmente em seções prismáticas hipidiomórficas com pleocroísmo moderado. O zoneamento é constante, geralmente está associada a minerais opacos e mostra inclusões de apatita e zircão. Por vezes acha-se inclusa em biotita.

### **Zircão**

O zircão forma pequenos cristais automorfos, prismáticos, associados geralmente com agregados de máficos e inclusos em biotita e allanita. São freqüentemente zonados e mostram evidências de metamictização.

## **Apatita**

A apatita é encontrada como finos cristais automórficos (< 0,3mm), geralmente inclusos em biotita e allanita.

## **Minerais secundários**

Os minerais secundários observados nessas rochas são sericita-muscovita ± epidoto, originados pela alteração dos núcleos de composição mais cálcica de plagioclásio; a partir de feldspato alcalino; clorita derivada da biotita, esta de modo incipiente; fluorita, em pequenos grãos no interior do plagioclásio ou associados aos minerais máficos, principalmente a biotita.

## **3.3 Geocronologia**

### **3.3.1 Introdução**

As análises isotópicas realizadas através do método de evaporação de Pb em monocristais de zircão foram efetuadas no Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, sob a orientação do Prof. Cândido Augusto Veloso Moura. A metodologia utilizada na obtenção das análises isotópicas foi baseada em Köber (1986). As análises foram obtidas em um espectrômetro de massa, de ionização termal, modelo FINNIGAN MAT 262. Por esse método, o zircão é analisado no estado sólido e as idades  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  obtidas podem ser consideradas tanto como idades mínimas, como idades representativas da cristalização do mineral. Informações mais detalhadas sobre a aplicação desta metodologia encontram-se em Gaudette *et al.* (1998). Os resultados são apresentados com desvios de  $2\sigma$  e as correções do Pb comum são feitas mediante uso do modelo de evolução do Pb em estágio duplo proposto por Stacey & Kramers (1975), utilizando a razão  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  medida.

Tendo em vista as datações existentes na área da Folha, e os problemas estratigráficos identificados durante as etapas de mapeamento, foram selecionadas amostras representativas de duas unidades, de modo a determinar as suas idades e testar, por um método independente, a estratigrafia deduzida com base nas relações de campo e feições estruturais. Foram datadas as amostras MAR-149 (Tonalito Arco Verde) e MAF-33 (Leucogranito tipo Mata Surrão), sendo ambas coletadas pelos geólogos vinculados ao projeto, durante as etapas de mapeamento do mesmo.

A primeira corresponde a um ponto de amostragem de rochas tonalítico-trondhjemíticas que afloram no noroeste da Folha, a sudoeste do Granito Bannach. Observações de campo não foram suficientes para definir a correlação dessas rochas com as gerações mais antigas (Complexo Tonalítico Caracol e Tonalito Arco Verde, em torno de 2,94 Ga) ou mais novas (Trondhjemitos Mogno e Água Fria, em torno de 2,87 Ga) de TTG's. Em todo o TGGRM é difícil a correlação de rochas tonalítico-trondhjemíticas, ficando quase sempre fundamentada em dados estruturais e relações de campo, uma vez que petrograficamente não há características que possam definir a correlação com um ou outro grupo.

A amostra MAF-33 foi selecionada com base em uma problemática que envolve os leucogranitos potássicos do TGGRM, em especial da região de Vila Marajoara-Pau D'Arco. Althoff (1996) e Althoff *et al.* (2000) desenvolveram estudos petrográficos, geoquímicos, estruturais e geocronológicos em

leucogranitos da região de Vila Marajoara e Pau-D'Arco e, apesar de constatarem a presença de uma geração de leucogranitos correlacionada ao Granito Mata Surrão (Duarte 1992), de idade  $2872 \pm 10$  Ma (Lafon *et al.* 1994), aventaram a existência de uma geração mais antiga de leucogranitos potássicos representada pelo Granito Guarantã (Althoff 1996). Na região de Marajoara, Althoff *et al.* (2000) correlacionaram inicialmente um corpo de leucogranito potássico, situado a sul de Pau D'Arco, ao Granito Guarantã (Althoff 1996), porém este corpo é, geoquímica e geocronologicamente, afim do Granito Mata Surrão e apresentou idade Pb-Pb em zircão de  $2871 \pm 7$  Ma (Althoff *et al.* 1998, 1999). Althoff *et al.* (2005) dataram amostra de leucogranito potássico, a qual foi correlacionada ao Granito Guarantã e forneceu idade de 2930 Ma. A amostra selecionada para datação neste projeto (MAF-33) é petrograficamente similar àquela datada por Althoff *et al.* (2005), sendo sua idade um dado de grande relevância para a estratigrafia e evolução geológica da região.

### **3.3.2 Procedimentos Analíticos e Tratamento dos Dados**

Inicialmente as amostras foram pulverizadas e posteriormente peneiradas nas seguintes frações granulométricas: 250 - 180, 180 - 125, 125-60 e < 60 mm. Entretanto, só foram encontrados e datados zircões das frações entre 250 - 180 e 180 - 125 mm. A amostras de maior volume relativo foram tratadas inicialmente no elutriador, visando uma primeira concentração dos minerais pesados. Em seguida, os minerais ferromagnéticos dessas amostras foram extraídos com auxílio do separador *Frantz Isodynamic*. Nessa etapa, o separador magnético foi ajustado para um ângulo de 25° de inclinação longitudinal, 10° de inclinação lateral e amperagem variando entre 0,5 e 1,5A. Para a obtenção de um concentrado mais rico em zircão, a fração não magnética obtida no separador *Frantz* foi submetida ao tratamento com líquido pesado (bromofórmio) e, em seguida, os zircões foram selecionados por triagem manual sob uma lupa binocular. Deve-se ressaltar que, segundo os critérios adotados no Pará-Iso, quando se dispõe de um número elevado de cristais, os zircões a serem analisados devem ser selecionados em uma segunda separação magnética, efetuada com 20° de inclinação longitudinal, inclinação lateral variando de 5° até 0° e uma amperagem de 1,5A. Os cristais selecionados para análise devem ser preferencialmente aqueles sem evidências de metamictização, sem inclusões ou fraturas. Posteriormente os cristais selecionados foram aprisionados em um filamento de rênio em formato de canoa, para subsequente introdução no espectrômetro de massa.

A técnica analítica empregada no espectrômetro FINNIGAN MAT 262 utiliza dois filamentos posicionados frente a frente, sendo um filamento de evaporação, o qual contém o zircão, e um filamento de ionização, a partir do qual o Pb é analisado. O filamento de evaporação é aquecido gradativamente em temperaturas preestabelecidas, que constituem as etapas de evaporação. Normalmente são realizadas três etapas de evaporação. A primeira a 1450°C, a segunda a 1500°C e a terceira a 1550°C. Mais raramente, dependendo da quantidade de Pb que o zircão contém, podem ser realizadas até cinco etapas de evaporação. Durante cada etapa de aquecimento, que dura aproximadamente 5 minutos, ocorre a liberação do Pb do retículo cristalino do zircão. Esse Pb deposita-se imediatamente no filamento de ionização, o qual é mantido em temperatura ambiente. Em seguida, o filamento de evaporação é desligado e o filamento de ionização é aquecido a uma temperatura em torno de 1050°C quando o Pb ali depositado é ionizado. As intensidades das

emissões dos diferentes isótopos de Pb podem ser medidas de duas formas: a primeira, quando se tem baixa intensidade de sinal, com monocolletor (um contador de íons) segundo uma varredura na seguinte seqüência de massas: 206, 207, 208, 206, 207 e 204. A segunda, quando se tem alta intensidade, é feita em multicoletor (contador de íons e caixas de Faraday) segundo uma varredura na seguinte seqüência de massas: 206, 207, 208 e 204. Em ambos os modos, cada conjunto de 10 varreduras define um bloco. Um bloco obtido no contador de íons fornece 18 razões  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  e no multicoletor, 10 razões  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . Em seguida, a partir das médias das razões  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  dos blocos, define-se uma idade para cada etapa de evaporação.

Em cada etapa de evaporação são obtidos, em geral, até cinco blocos de dados nas análises em monocolletor e dez nas análises em multicoletor. A média das razões  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  desses blocos define uma idade correspondente para cada etapa. Esses dados são representados em um diagrama Idade (Ma) *versus* Etapas de evaporação, onde observa-se que, em geral, cada etapa de evaporação fornece um platô de idade. As idades obtidas nas diferentes etapas de evaporação podem apresentar diferentes valores, sendo que, normalmente, observa-se um aumento nas idades no sentido das etapas de mais alta temperatura. Quando isto ocorre, são consideradas apenas as idades obtidas em temperaturas mais altas, pois neste caso, o Pb analisado é proveniente das porções com maior capacidade de retenção do cristal de zircão, e, portanto, as idades são teoricamente mais representativas daquelas de cristalização do mineral.

Os dados obtidos são tratados estatisticamente segundo critérios metodológicos estabelecidos no Pará-Iso (Ver Gaudette *et al.* 1998). Entre eles destacamos os seguintes: os blocos com razões isotópicas  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  superiores a 0,0004 são desprezados, para tornar mínima a correção de Pb de contaminação ou inicial; são eliminados blocos com desvios superiores a  $2\sigma$  em relação à média da idade do zircão analisado; faz-se, além disso, uma eliminação subjetiva, onde são desprezados blocos, etapas de evaporação, ou zircões que apresentem idades discordantes da média das idades obtidas nas temperaturas mais altas da maioria dos zircões.

### 3.3.3 Apresentação dos Resultados Analíticos

#### 3.3.3.1 Tonalito Arco Verde

**Amostra MAR-149** - esta amostra foi coletada ao longo de uma vicinal (coordenadas  $-50,39^\circ$  e  $-7,63^\circ$ ), aproximadamente 17 km a norte da estrada da Cunha, que tem início a 2 km a sul de Vila Marajoara, a direita da PA-150, no sentido Rio Maria - Redenção (ver mapa geológico em anexo). A amostra MAR-149 representa as rochas tonalítico-trondhjemíticas no domínio noroeste da área, onde se tem um bandamento de orientação WNW-ESE. A localização desta amostra pode ser verificada no mapa geológico da Folha Marajoara (em anexo). A principal estrutura desta rocha é um bandamento composicional marcante; sua granulação varia de média a grossa e possui coloração cinza escuro. Ela é formada essencialmente por plagioclásio (53%), K-feldspato (0,6%) e quartzo (28,1%); tendo a biotita (13,6%) como o máfico mais abundante; além de epidoto (3,4%), titanita, zircão e apatita como fases acessórias. O plagioclásio mostra várias feições primárias ainda preservadas (forma e maclamento) e está pouco saussuritizado e a biotita não mostra evidências de alteração significativa.

Desta amostra foram selecionados e analisados 23 cristais de zircão, sendo que todos emitiram Pb suficiente para a análise. A maioria dos cristais de zircão eram eudrais, de cor castanho escuro, alongados, prismáticos, bipiramidais; alguns apresentavam núcleo zonado, sem inclusões e com poucas fraturas (Figura 3.18). Os resultados obtidos para estes cristais são mostrados na Figura 3.19 e Tabela 3.8. Para calcular a idade, foram utilizados apenas os resultados das análises dos cristais 2, 3, 4, 7, 8, 12, 13, 15 e 18. Os cristais 1, 5, 6, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 22 e 23, foram eliminados subjetivamente do cálculo da idade. As etapas de mais alta temperatura dos cristais utilizados forneceram uma idade média de **2936 ± 4 Ma** ( $2\sigma$ , Figura 3.19).

### 3.3.3.2 Leucogranito tipo Mata Surrão

**Amostra MAF-33** – esta amostra foi coletada aproximadamente 8 km a sul da cidade de Pau D’Arco, a direita da PA-150, sentido Pau D’Arco – Redenção, dentro da área da Fazenda Cordeiro. Trata-se de granitos de granulação média, textura porfirítica e cor verde rosado. Possuem composição leucomonzogranítica e são constituídos essencialmente por plagioclásio (22%), álcali-feldspato (36%) e quartzo (34%); biotita é o principal mineral máfico (5%). Tem-se ainda, epidoto, titanita, alanita, zircão e apatita como fases acessórias. O granito possui uma foliação penetrativa e macroscopicamente apresenta-se deformado. No exame microscópico, foi possível verificar que ele foi afetado por uma deformação responsável pela recristalização dos feldspatos e do quartzo, gerando uma matriz microgranular (*textura manto e núcleo*).

Da amostra MAF-33 foram selecionados 22 cristais de zircão para análise. Todos os cristais emitiram Pb suficiente para análise. Os resultados obtidos para os zircões são mostrados na Tabela 3.9. Os cristais de zircão desta amostra são em parte similares aos descritos nas amostras do Tonalito Arco Verde, no entanto, diferem do mesmo por terem tamanho um pouco menor e pela coloração castanho mais acentuada, refletindo certamente um maior grau de metamictização (Figura 3.20). Para calcular a idade dessa amostra, foram utilizadas apenas as análises dos cristais de zircão 14, 16 e 21 (Figura 3.21), sendo os demais eliminados subjetivamente do cálculo da idade. As etapas de mais alta temperatura dos zircões selecionados mostraram idade de **2868 ± 5 Ma** (Tabela 3.9).

### 3.3.4 Discussões e Interpretações

Os dados geocronológicos obtidos pelo método de evaporação de Pb em monocristais de zircão (Pb-Pb em zircão) apresentam, em geral, valores similares às idades fornecidas pelo método U/Pb em zircão (Köber 1987, Andsdell & Kyser 1991, Macambira & Lafon 1995, Dall’Agnol *et al.* 1999, Macambira *et al.* 2000). Gaudette *et al.* (1998) ressaltam, entretanto, que o resultado geocronológico obtido por este método, pode ser menos exato quando comparado ao método U/Pb, por não se ter uma referência como a curva concórdia. Portanto, a rigor, as idades Pb-Pb em zircão devem ser consideradas como “idades mínimas” de cristalização dos zircões analisados. Por outro lado, na região de Rio Maria e em outras áreas do Cráton Amazônico, sistematicamente as idades obtidas pelo método U/Pb em zircão (Machado *et al.* 1991, Macambira 1992, Pimentel & Machado 1994), se superpõem com os valores fornecidos quando se utiliza o método de evaporação de Pb em zircão. Inclusive, estas últimas idades, tem reproduzido as idades obtidas por métodos teoricamente mais precisos como o SHRIMP (Macambira *et al.* 2000, Lafon *et al.* 2000). Desta forma, acredita-se que as idades obtidas pelo

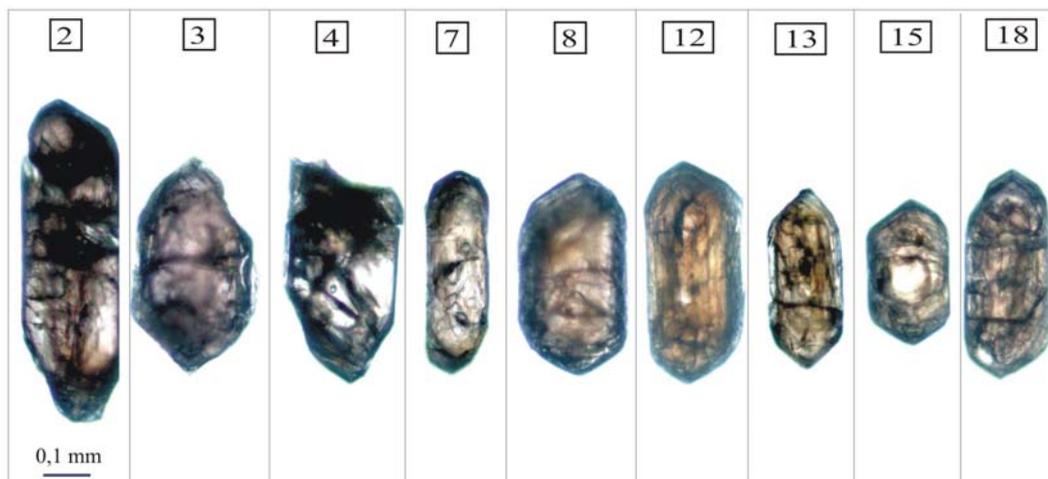
método Pb-Pb por evaporação de zircão podem ser perfeitamente interpretadas como indicativas das idades de cristalização do zircão.

As idades obtidas pelo método U/Pb em zircões em rochas ígneas, que sofreram deformação e metamorfismo são interpretadas por Page & Bell (1985) e Evans & Fischer (1986) como idade de cristalização do protólito ígneo destas rochas, desde que o zircão seja de origem magmática. Neste caso, as idades obtidas pelo método de evaporação de Pb em zircão também podem ter a mesma interpretação. Paquette *et al.* (1994) admitem que, até o momento, perturbações significativas do sistema isotópico U-Pb de porções internas de cristais de zircão têm sido reconhecidas apenas em cristais que foram submetidos a metamorfismo de fácies granulito, hidrotermalismo ou intensa metamictização.

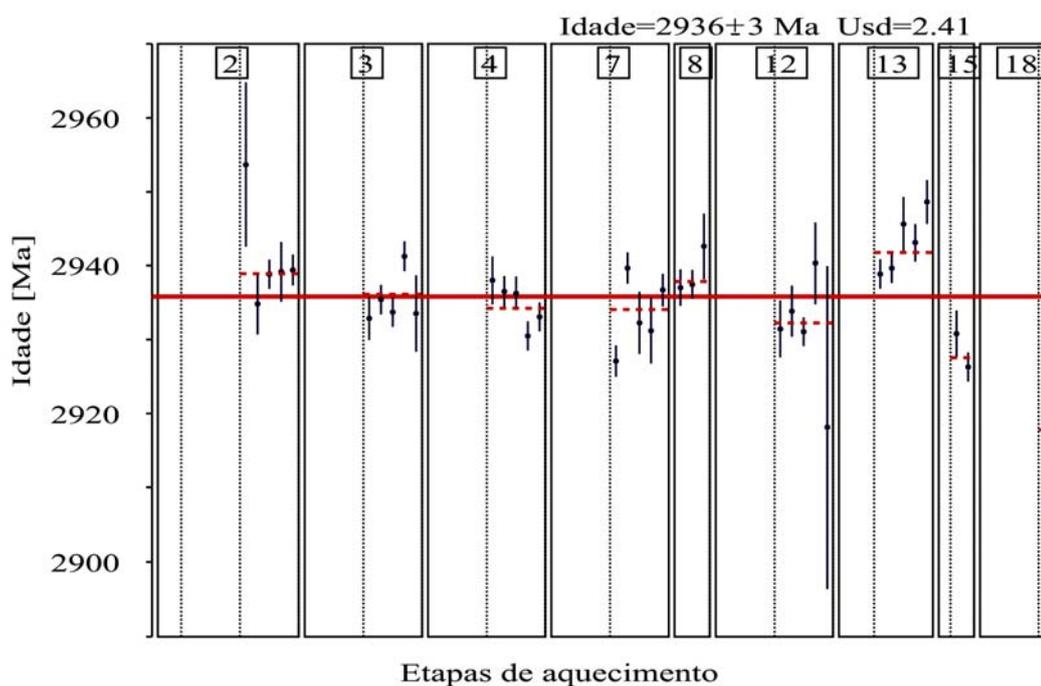
**Tabela 3.8:** Resultados analíticos Pb-Pb dos cristais de zircão da amostra MAR-149:

Zircão	Temp. (°C)	Razões	<sup>204</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	2σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	2σ	( <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb) <sub>c</sub>	2σ	Idade	2σ			
MAR149/01	1450*	0/36	0,00002	3	0,11288	125	0,20675	56	0,20648	57	2878	4			
	1500*	0/38	0,000014	10	0,13689	48	0,21145	46	0,21139	51	2917	4			
	1550*	0/38	0,000017	3	0,18556	384	0,21599	36	0,21578	36	2950	3			
MAR149/02	1450*	0/12	0,000204	9	0,10332	462	0,20201	569	0,20093	625	2834	51			
	1500*	0/34	0,000209	31	0,10685	169	0,20876	61	0,2064	92	2878	7			
MAR149/03	1550	30/30	0,000021	5	0,13771	106	0,21459	34	0,21433	34	<b>2939</b>	<b>3</b>			
	1450*	0/34	0,000256	6	0,08370	38	0,19208	43	0,18904	45	2734	4			
MAR149/04	1500	32/32	0,000011	3	0,16108	184	0,21407	45	0,21396	43	<b>2936</b>	<b>3</b>			
	1450*	0/32	0,000245	11	0,04532	294	0,18846	400	0,1852	397	2700	35			
MAR149/05	1500	36/36	0,000034	8	0,09752	64	0,21412	32	0,21371	35	<b>2934</b>	<b>3</b>			
	#1450	0/16	0,000516	36	0,13491	178	0,20182	40	0,19566	52	2791	4			
MAR149/06	1500*	0/28	0,000032	9	0,14948	63	0,2063	24	0,20587	24	2874	2			
	1550*	0/6	0,000388	206	0,13050	3565	0,19931	845	0,19467	884	2782	74			
	1450*	0/32	0,000084	3	0,08380	258	0,19812	23	0,19715	23	2803	2			
MAR149/07	1500*	0/30	0,000024	4	0,16161	47	0,20662	25	0,20637	23	2877	2			
	#1450	0/32	0,003179	30	0,12199	136	0,21311	97	0,17465	72	2603	7			
MAR149/08	1500	32/32	0,000171	5	0,11473	147	0,21574	73	0,21369	68	<b>2934</b>	<b>5</b>			
	1500	20/20	0,000069	3	0,08803	89	0,21490	35	0,21419	38	<b>2938</b>	<b>3</b>			
MAR149/09	#1450	0/16	0,001171	41	0,10860	277	0,20231	83	0,18808	94	2726	8			
	1500*	0/32	0,000026	2	0,14084	34	0,22181	54	0,22151	52	2992	4			
MAR149/10	1450*	0/38	0,000210	6	0,21905	63	0,20776	44	0,20511	52	2868	4			
	1500*	0/38	0,000043	6	0,23176	97	0,20674	69	0,20622	69	2876	5			
MAR149/11	1450*	0/38	0,000112	4	0,10705	70	0,19252	81	0,19109	87	2752	7			
	1500*	0/36	0,000032	5	0,11741	38	0,21115	42	0,21076	40	2912	3			
MAR149/12	1450*	0/34	0,000144	11	0,10573	67	0,19162	58	0,18992	59	2742	5			
	1500	36/36	0,000011	12	0,04838	44	0,21360	41	0,21345	39	<b>2932</b>	<b>3</b>			
MAR149/13	1450*	0/24	0,000291	9	0,09180	69	0,20077	129	0,19728	152	2804	13			
	1500	34/34	0,000022	2	0,08405	64	0,21500	45	0,21471	46	<b>2942</b>	<b>3</b>			
MAR149/14	#1450	0/34	0,001485	18	0,22560	84	0,18774	103	0,16976	149	2555	15			
MAR149/15	#1450	0/8	0,001533	96	0,11370	364	0,18551	5	0,16647	132	2523	13			
	1500	14/14	0,000115	16	0,09771	128	0,21417	72	0,21283	53	<b>2928</b>	<b>4</b>			
MAR149/16	#1450	0/36	0,002145	148	0,09541	186	0,20321	196	0,17537	115	2610	11			
MAR149/17	1450*	0/8	0,000374	30	0,11064	116	0,18762	103	0,18306	110	2681	10			
	1500*	0/38	0,000093	9	0,11074	49	0,20537	33	0,20429	33	2861	3			
MAR149/18	1450*	0/24	0,000203	7	0,10820	147	0,19787	83	0,19537	89	2788	7			
	1500	8/8	0,000046	2	0,09216	87	0,21209	294	0,21155	295	<b>2918</b>	<b>23</b>			
MAR149/19	1450*	0/38	0,000139	8	0,16386	95	0,20636	48	0,20475	53	2865	4			
MAR149/20	#1450	0/28	0,000429	21	0,10213	147	0,19918	73	0,19391	106	2776	9			
MAR149/21	1450*	0/38	0,000266	6	0,09826	79	0,18973	44	0,18633	54	2711	5			
MAR149/22	1450*	0/34	0,000241	6	0,12126	574	0,20235	251	0,19989	267	2826	22			
	1500*	0/32	0,000069	2	0,10551	27	0,21080	27	0,20996	28	2906	2			
MAR149/23	#1450	0/6	0,000736	134	0,10695	454	0,19188	68	0,18293	178	2680	16			
<b>Total=</b>		<b>242/1194d</b>										<b>Idade média=</b>		<b>2936</b>	<b>4</b>

(c) - razão <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb corrigida do Pb comum; (\*) - etapa de evaporação eliminada subjetivamente; (#) - etapa de evaporação eliminada por apresentar razão <sup>204</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb superior a 0,0004; (d) - total de razões isotópicas utilizadas no cálculo da idade / total de razões medidas durante análise.



**Figura 3.18:** Fotografias dos cristais de zircão, da amostra MAR-149, utilizados para o cálculo da idade.



**Figura 3.19:** Diagrama Idade Vs. Etapas de evaporação dos cristais de zircão da amostra MAR-149. Blocos de razões isotópicas utilizadas para o cálculo da idade . ●

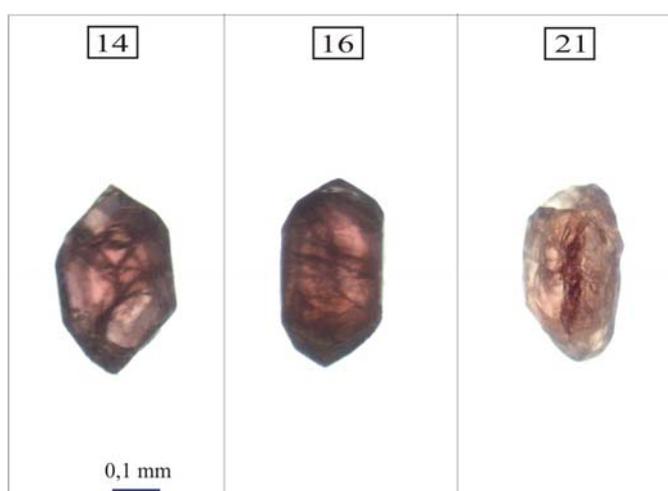
Com base nas informações acima, pode-se considerar que os dados geocronológicos obtidos pelo método de evaporação de Pb em monocristais de zircão, correspondem às idades de cristalização dos zircões analisados e, conseqüentemente, excetuando o caso de possíveis zircões herdados ou xenocristais, às idades de colocação das rochas que os contém. As idades obtidas, neste projeto, para rochas do Tonalito Arco Verde e Leucogranito tipo Mata Surrão da Folha Marajoara, estão sumarizadas na Tabela 3.10. Estes dados são coerentes em linhas gerais com as relações estratigráficas e feições estruturais observadas e com as idades obtidas para essas unidades em outras porções do TGGRM e da própria Folha Marajoara.

Todos os zircões analisados, nas amostras do Tonalito Arco Verde e Leucogranito tipo Mata Surrão, foram considerados como de origem magmática e as idades obtidas seriam, seguindo o raciocínio

exposto acima, consideradas como idades de cristalização e, conseqüentemente de colocação das rochas que os contém.

A idade obtida para a amostra MAR-149 do Tonalito Arco Verde do domínio noroeste da Folha Marajoara se superpõe dentro do erro analítico com a idade de cristalização e colocação obtida para o Tonalito Arco Verde na região de Vila Marajoara (2957 +/-25 Ma, U/Pb em zircão, Macambira 1992) e para as idades obtidas para o Complexo Tonalítico Caracol na região de Xinguara (2948 ± 5 Ma, 2936 ± 3 Ma e 2924 ± 2 Ma, Pb/Pb em zircão, Leite 2001). Ela é um pouco inferior a idade dos gnaisses tonalíticos do Complexo Xingu na região de São Félix do Xingu (2972 ± 16 Ma, Avelar 1996, Avelar *et al.* 1999). Isto sugere que a cristalização e colocação do Tonalito Arco Verde do domínio noroeste da Folha Marajoara foi concomitante com a do Tonalito Arco Verde da região de Vila Marajoara e, que a colocação dos granitóides TTG na região de São Félix do Xingu poderia ter se dado um pouco mais cedo. Por fim, vale ressaltar que estas idades ratificam a existência de um intenso magmatismo TTG arqueano no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria no período de 2,97 a 2,92 Ga, conforme já assumido por Machado *et al.* 1991, Macambira 1992, Pimentel & Machado 1994, Macambira & Lafon 1995, Macambira & Lancelot 1996, Althoff 1996, Dall'Agnol *et al.* 1997, Althoff *et al.* 2000).

A idade de 2868 ± 5 Ma obtida para a amostra MAF-33 do Leucogranito tipo Mata Surrão, no domínio sudeste da Folha Marajoara tem algumas importantes implicações. Althoff (1996) e Althoff *et al.* (2000) aventaram, com base fundamentalmente em dados estruturais, a existência de uma segunda geração de leucogranitos potássicos no TGGRM, a qual seria mais antiga que aquela representada pelos granitos Mata Surrão (Duarte 1992) e Xinguara (Leite 2001). Althoff *et al.* (1998, 1999) obtiveram idade Pb-Pb em zircão de 2871 ± 7 Ma para rochas que seriam inicialmente associadas a uma geração de leucogranitos mais antiga que aquela dos granitos Mata Surrão e Xinguara, enfraquecendo assim a hipótese da existência de granitos potássicos mais antigos que 2,87 Ga. Posteriormente, Althoff *et al.* (2005) obtiveram idade de 2930 Ma para rochas do Granito Guarantã ao longo da estrada que liga a PA-150 a cidade de Floresta do Araguaia.



**Figura 3.20:** Fotografias ds cristais de zircão, da amostra MAF-33, utilizados para o cálculo da idade.

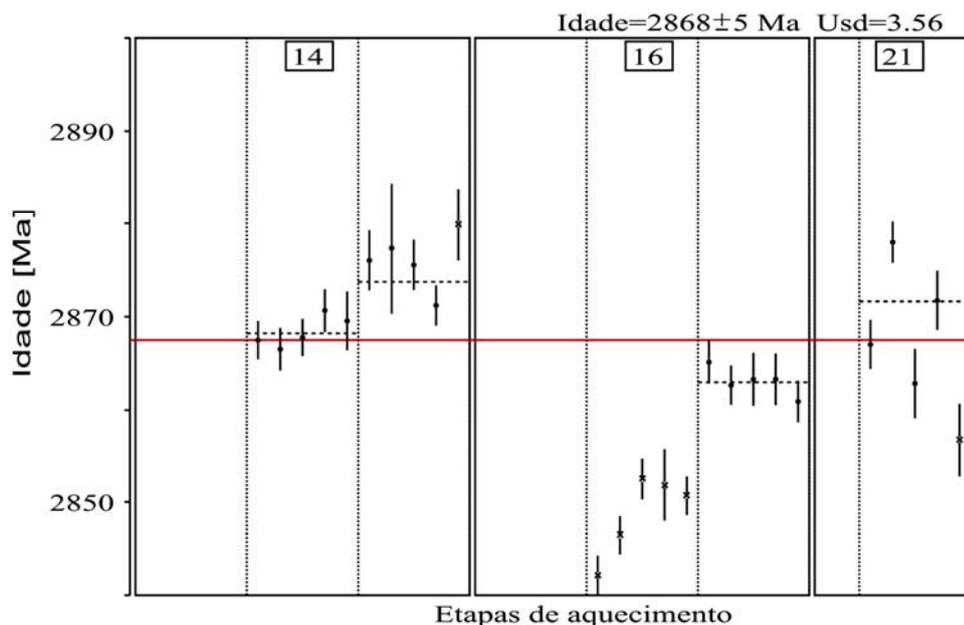


Figura 3.21: Diagrama Idade Vs. Etapas de evaporação dos cristais de zircão da amostra MAF-33. Blocos de razões isotópicas utilizadas para o cálculo da idade ●.

Tabela 3.9: Resultados analíticos Pb-Pb dos cristais de zircão da amostra MAF-33.

Zircão	Temp. (°C)	Razões	$^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	5	$(^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb})_c$	2σ	Idade	2σ	
MAF33/1	#1450	0/36	0,000803	0,000148	0,10256	0,00404	0,19936	0,00058	0,18928	0,00161	2736	14	
	*1500	0/36	0,000267	0,000014	0,12880	0,00037	0,21239	0,00032	0,20932	0,00034	2901	3	
MAF33/2	#1450	0/36	0,006235	0,000103	0,17182	0,00324	0,24843	0,00164	0,17014	0,00228	2559	22	
	#1500	0/36	0,000472	0,000008	0,10068	0,00047	0,20836	0,00063	0,20274	0,00069	2849	6	
MAF33/3	#1450	0/36	0,006299	0,000677	0,08790	0,00318	0,26052	0,01075	0,19027	0,00234	2745	20	
	#1500	0/34	0,005114	0,000095	0,14755	0,00240	0,25751	0,00080	0,19550	0,00071	2789	6	
	#1550	0/32	0,005701	0,000119	0,13693	0,00404	0,26820	0,00088	0,19999	0,00119	2827	10	
MAF33/4	#1450	0/32	0,000511	0,000090	0,11729	0,00110	0,19765	0,00064	0,19154	0,00126	2756	11	
	*1500	0/40	0,000120	0,000006	0,10378	0,00040	0,20220	0,00033	0,20088	0,00045	2834	4	
MAF33/5	#1450	0/24	0,002217	0,000052	0,12147	0,00263	0,21680	0,00036	0,19001	0,00105	2743	9	
	*1500	0/32	0,000386	0,000003	0,11293	0,00032	0,20559	0,00045	0,20101	0,00052	2835	4	
MAF33/8	#1450	12/dez	0,000365	0,000042	0,11322	0,00219	0,20626	0,00038	0,20201	0,00079	2843	6	
	#1500	0/6	0,004109	0,000032	0,15159	0,00422	0,18454	0,00181	0,13040	0,00198	2104	27	
MAF33/9	#1500	0/38	0,000168	0,000006	0,16105	0,00119	0,20571	0,00028	0,20384	0,00029	2857	2	
	#1500	0/36	0,000455	0,000029	0,10050	0,00097	0,20681	0,00040	0,20107	0,00047	2835	4	
MAF33/11	*1550	0/40	0,000254	0,000004	0,11298	0,00045	0,20520	0,00036	0,20219	0,00036	2844	3	
	#1450	0/16	0,010574	0,000115	0,18728	0,00841	0,28264	0,00093	0,14607	0,00314	2301	37	
MAF33/12	#1500	0/32	0,000964	0,000023	0,11059	0,00131	0,21032	0,00062	0,19876	0,00050	2816	4	
	#1450	0/16	0,009022	0,000119	0,14268	0,00530	0,27412	0,00083	0,16055	0,00269	2462	28	
MAF33/14	*1500	8/ago	0,000250	0,000076	0,09386	0,00254	0,20569	0,00090	0,20273	0,00128	2849	10	
	#1450	0/38	0,001198	0,000092	0,09735	0,00113	0,21148	0,00212	0,19814	0,00049	2811	4	
	1500	36/36	0,000137	0,000005	0,16893	0,00215	0,20679	0,00025	0,20518	0,00026	<b>2868</b>	<b>2</b>	
MAF33/15	1550	30/38	0,000367	0,000028	0,21771	0,00083	0,21005	0,00053	0,20588	0,00037	<b>2874</b>	<b>3</b>	
	*1450	0/32	0,000253	0,000003	0,12697	0,00092	0,20208	0,00072	0,19920	0,00062	2820	5	
MAF33/16	#1450	0/32	0,002415	0,000116	0,07238	0,00093	0,21449	0,00071	0,18541	0,00108	2702	10	
	*1500	34/34	0,000178	0,000003	0,06107	0,00055	0,20472	0,00041	0,20267	0,00049	2848	4	
MAF33/17	1500	30/30	0,000135	0,000004	0,03367	0,00028	0,20604	0,00026	0,20451	0,00027	<b>2863</b>	<b>2</b>	
	#1450	0/6	0,003572	0,000048	0,12456	0,00678	0,23391	0,00151	0,19083	0,00170	2750	15	
MAF33/18	*1500	0/32	0,000257	0,000011	0,12237	0,00060	0,20586	0,00073	0,20282	0,00069	2849	6	
	#1450	0/16	0,000321	0,000010	0,11483	0,00215	0,19345	0,00193	0,19035	0,00146	2746	13	
MAF33/19	#1450	0/8	0,004163	0,001216	0,05142	0,04339	0,19001	0,00234	0,13555	0,01713	2171	220	
	#1500	0/28	0,001875	0,000251	0,05537	0,00994	0,20526	0,00239	0,18767	0,00313	2722	27	
MAF33/20	*1500	0/16	0,000319	0,000042	0,08297	0,00204	0,20408	0,00259	0,20015	0,00265	2828	22	
	#1450	0/16	0,001949	0,000017	0,13364	0,00106	0,21782	0,00052	0,19438	0,00055	2780	5	
MAF33/21	1500	28/34	0,000360	0,000004	0,16982	0,00354	0,21010	0,00093	0,20561	0,00084	<b>2872</b>	<b>7</b>	
	#1450	0/8	0,001776	0,000178	0,10225	0,00639	0,18167	0,00044	0,15921	0,00235	2448	25	
MAF33/22	#1450	0/8	0,002208	0,000020	0,12548	0,00276	0,21436	0,00094	0,18760	0,00100	2722	9	
	*1500	0/38	0,000272	0,000005	0,11463	0,00142	0,20511	0,00042	0,20194	0,00036	2842	3	
MAF33/23	*1550	0/38	0,000273	0,000007	0,13972	0,00061	0,20606	0,00028	0,20279	0,00030	2849	2	
<b>TOTAL=</b>										<b>124/1066d</b>	<b>IDADE MÉDIA=</b>	<b>2868</b>	<b>5</b>

c) - razão  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  corrigida do Pb comum; (\*) - etapa de evaporação eliminada subjetivamente; (#) - etapa de vaporização eliminada por apresentar razão  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  superior a 0,0004; (d) - total de razões isotópicas utilizadas no cálculo da idade / total de razões medidas durante análise.

**Tabela 3.10:** Idades de rochas granitóides da Folha Marajoara (obtidas neste projeto).

<b>Amostra</b>	<b>Unidade</b>	<b>Nº de grãos</b>	<b>Idade (Ma)</b>
MAR-149	Tonalito Arco Verde	9	2936 ± 4
MAF-33	Leucogranito tipo Mata Surrão	3	2868 ± 5

A amostra datada neste projeto é petrograficamente bastante similar àquela datada por Althoff *et al.* (2005), porém forneceu idade que coincide com outras obtidas para amostras correlacionadas aos granitos Mata Surrão e Xinguara (2875 ± 11 Ma, Rolando & Macambira 2002; 2865 ± 1 Ma, Leite 2001; 2872 ± 10 Ma, Lafon *et al.* 1994), sendo, portanto, correlacionada aos leucogranitos tipo Mata Surrão e Xinguara e colocando em dúvida a existência de uma geração mais antiga de granitos potássicos, que seria representada pelo Granito Guarantã (Althoff 1996, Althoff *et al.* 2005).

### 3.3.5 Quadro Litoestratigráfico da Folha Marajoara

A partir da integração dos dados geológicos, estruturais e geocronológicos foi possível consolidar uma proposta de estratigrafia para a região da Folha Marajoara. Nesta, enclaves e até mega-enclaves de *greenstone belts* são encontrados no Tonalito Arco Verde, indicando que a colocação do tonalito foi posterior à formação dos *greenstone belts*. O Tonalito Arco Verde é o granitóide arqueano mais antigo da Folha Marajoara, pois é cortado pelos demais granitóides. Ele mostrou idades que variam de **2924 ± 2 a 2948 ± 5 Ma**.

Seguiu-se um período de cerca de 50 Ma sem registro de formação de rochas, quando se deu a intrusão do Granodiorito Rio Maria. Na região de Xinguara, Huhn *et al.* (1988) e Souza (1994) relatam a presença de enclaves de *greenstone belt* no granodiorito, bem como evidências de metamorfismo de contato nos *greenstone belts* causados pela intrusão do Granodiorito Rio Maria. Os dados geocronológicos obtidos para esta unidade por diferentes métodos (**2874 +9/-10 Ma**, U/Pb em zircão, Macambira 1992; **2872 ± 5 Ma** U/Pb em titanitas, Pimentel & Machado 1994; **2878 ± 4 Ma**, Pb/Pb em zircão, Dall'Agnol *et al.* 1999) atestam que a sua formação foi efetivamente posterior àqueles dos *greenstone belts* e, por conseguinte, a do Tonalito Arco Verde.

A cerca de **10-12 Ma** após a formação do Granodiorito Rio Maria, houve a colocação dos leucogranitos tipo Mata Surrão e Rancho de Deus. Estes são intrusivos nos *greenstone belts*, no Tonalito Arco Verde e no Granodiorito Rio Maria, como atestam as relações de campo. Finalmente, decorridos aproximadamente um bilhão de anos, já no final do Paleoproterozóico, houve a intrusão de corpos graníticos anorogênicos, que na Folha Marajoara são representados pelos granitos Bannach, Musa e Marajoara. Diques máficos e félsicos, provavelmente contemporâneos deste magmatismo granítico (Rivalenti *et al.* 1998, Silva Jr. 1996, Silva Jr. *et al.* 1999) cortam todas as unidades anteriormente citadas.

## 3.4 Geoquímica das Rochas da Folha Marajoara

### 3.4.1 Introdução

Além das amostras compiladas, foram realizadas análises químicas em trinta amostras selecionadas com base no estudo petrográfico, levando-se em conta, também, a distribuição das amostras na área mapeada e a representatividade dos diversos granitóides arqueanos identificados

na Folha Marajoara: Tonalito Arco Verde (quatro amostras), Granodiorito Rio Maria (seis amostras) e leucogranitos potássicos tipo Mata Surrão (dezesseis amostras) e Rancho de Deus (quatro amostras).

Durante este projeto, foram realizadas trinta análises em rocha total para elementos maiores, menores e traço (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, MnO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Rb, Sr, Ba, Ga, Y, Zr, Nb, U, Th, Cr, Ni, V) no Laboratório Acme-Lab, por fluorescência de raios-X, exceto para os elementos terras raras analisados por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry*) (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb e Lu), no mesmo laboratório.

Os resultados das análises químicas de rocha total em amostras das diversas unidades estudadas estão listados em suas respectivas tabelas, segundo valores crescentes de sílica dentro de cada unidade geológica.

A seguir serão discutidos os dados geoquímicos das unidades estudadas, seguindo a ordem estratigráfica. Além das análises feitas durante este projeto, estão listadas também os dados químicos das amostras compiladas.

### **3.4.2 Supergrupo Andorinhas**

Foram analisadas, por DOCEGEO (1988), amostras de rochas metamáficas e metaultramáficas do Grupo Babaçu, além de metafélicas do Grupo Lagoa Seca.

#### **– Grupo Babaçu**

Segundo DOCEGEO (1988), as rochas metamáficas do Grupo Babaçu mostram características compatíveis e semelhantes àquelas dos toleítos MORB e de arco-de-ilha, com teores de elementos litófilos excepcionalmente elevados e indicativos de alto grau de interação entre magmas máficos e material de crosta sílica. Quanto aos termos metaultramáficos, levando-se em consideração seus padrões de óxidos, estes se enquadram no padrão de rochas komatiíticas. Com base ainda nos óxidos, DOCEGEO (1988) inferiu um ambiente de arco-de-ilha como o mais provável para a formação dessas rochas.

#### **– Grupo Lagoa Seca**

As poucas amostras de rochas metafélicas analisadas por DOCEGEO (1988), mostram padrões químicos, de óxidos de elementos maiores, compatíveis com aqueles de rochas vulcânicas intermediárias do tipo andesito, com alguma variação para dacito pobre em potássio.

### **3.4.3 Tonalito Arco Verde**

Além de quatorze amostras analisadas por Althoff (1996) e duas por Duarte (1992), foram realizadas análises químicas para elementos maiores, menores e traços em quatro amostras representativas do Tonalito Arco Verde (Tabela 3.11), levando-se em conta as diferenças de conhecimento dos diferentes domínios em que este ocorre. As análises foram efetuadas em amostras localizadas em duas áreas onde se tinha dúvidas quanto à distribuição do Tav. Uma amostra (MAR-109) é do corpo de Tav que ocorre no extremo oeste da área e três (MAR-117,

MAR-148 e MAR-149) estão localizadas no domínio noroeste da Folha, onde é difícil a individualização no campo, e muitas vezes também petrograficamente, entre rochas do Tav e de leucogranitos potássicos. Dentre as rochas analisadas está a amostra MAR-149 que foi datada pelo método Pb-Pb em zircão, dado este que será discutido no capítulo sobre geocronologia.

### - Elementos Maiores

As amostras do Complexo Tonalítico Caracol mostraram uma ampla variação do seus teores de sílica:  $64,2\% < \text{SiO}_2 < 74,27\%$ . O Tonalito Arco Verde mostra tipicamente baixos teores dos óxidos contidos em minerais ferromagnesianos ( $1,93\% < \text{Fe}_2\text{O}_{3t} + \text{MgO} + \text{TiO}_2 < 6,70\%$ ) e altos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $13,55\% < \text{Al}_2\text{O}_3 < 17,17\%$ ).

No diagrama normativo Ab-An-Or (O'Connor 1965, modificado por Barker 1979) (Figura 3.22a) a quase totalidade das amostras do Tonalito Arco Verde plota nos campos correspondentes aos tonalitos e trondhjemitos, sendo que somente duas amostras plotam no campo dos granodioritos. Esta distribuição é característica da maioria da crosta continental juvenil arqueana, a qual é formada predominantemente por associações tonalito-trondhjemito-granodiorito ou TTG (Jahn *et al.* 1981, Martin *et al.* 1983). No diagrama K-Na-Ca (Figura 7.1b), parte das amostras ocupam o campo dos típicos trondhjemitos arqueanos (Martin 1994, Martin *et al.* 1997) e no geral, as amostras tendem a alinhar-se ao *trend* das séries trondhjemíticas arqueanas de Barker & Arth (1976) e Barker (1979). O comportamento das amostras do Tonalito Arco Verde nos diagramas da Figura 3.22, sugere uma estreita relação destes com as suítes TTG definidas por Martin (1987, 1994) e com o Complexo Tonalítico Caracol da região de Xinguara (Leite 2001, Leite *et al.* 2004).

O diagrama A x B (Figura 3.23a) de Debon *et al.* (1988) mostra o caráter metaluminoso a peraluminoso das amostras do Tonalito Arco Verde. Pode-se observar, também, neste diagrama, que com o aumento de constituintes máficos (eixo B = Fe + Mg + Ti) as rochas passam de peraluminosas a metaluminosas.

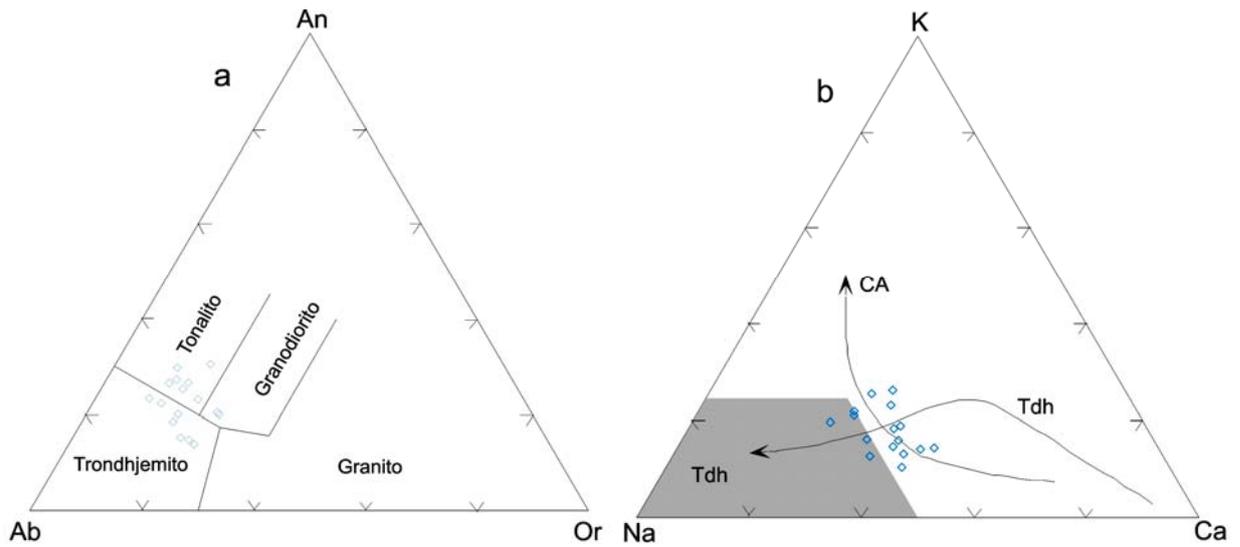
No diagrama P x Q ou  $\text{Si}/3 + (\text{K} + \text{Na} + 2\text{Ca}/3)$  versus  $\text{K} - (\text{Na} + \text{Ca})$  (Figura 3.23b) observa-se que as amostras do Tonalito Arco Verde plotam preferencialmente no campo dos tonalitos e subordinadamente nos granodioritos, mas sempre localizando-se no campo onde há predominância do plagioclásio sobre o feldspato potássico ( $P < 0$ ). Este comportamento é totalmente compatível com os dados petrográficos, uma vez que os conteúdos modais de feldspato potássico são sempre muito menores que os de plagioclásio.

**Tabela 3.11:** Análises químicas para as rochas do Tonalito Arco Verde da Folha Marajoara.

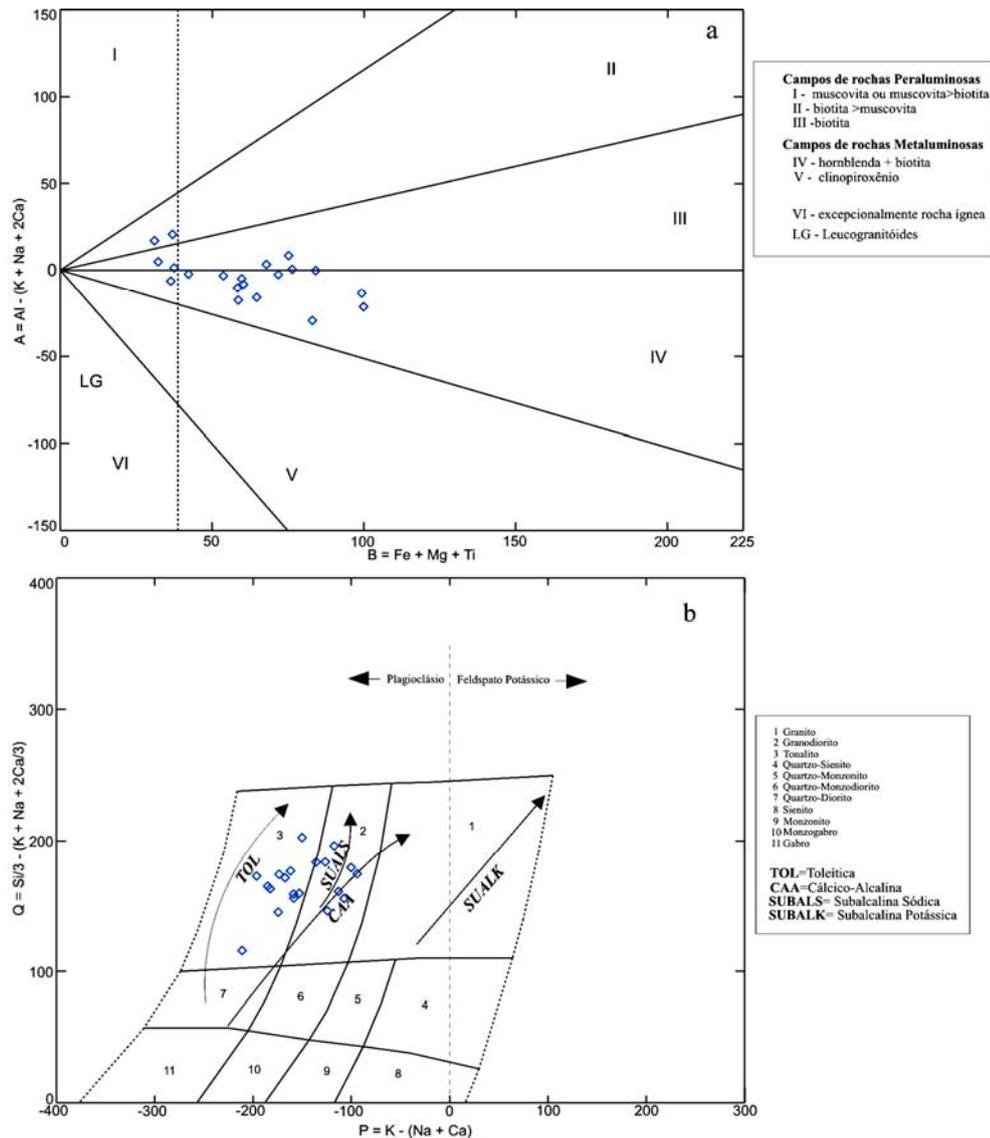
Amostra	F-57 / 92-36	MAR-148A	MAR-149	F-15 / F-15	F-52 / F-52A	F-57 / 92-34	MAR-117	F-58 / FA-58-1	F-62 / 92-26	F-21 / 92-10
SiO <sub>2</sub>	64.2	66.55	66.59	68.21	68.26	68.9	68.96	69.31	69.43	70.54
TiO <sub>2</sub>	0.38	0.56	0.43	0.36	0.37	0.34	0.38	0.28	0.32	0.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.17	15.26	16.13	15.29	14.83	15.53	15.53	14.78	15.38	14.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.37	4.88	4.13	3.98	4.09	3.59	3.71	2.98	3.54	3
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	1.63	1.26	1.09	0.89	1.09	0.91	0.97	0.79	0.79	0.75
CaO	4.94	4.3	3.88	3.38	3.68	3.77	3.69	3.56	3.2	2.52
Na <sub>2</sub> O	4.72	3.74	4.39	4.21	3.83	4.5	4.22	4.26	4.8	4.16
K <sub>2</sub> O	1.38	1.82	1.72	2.03	3.07	1.29	1.34	1.58	1.38	3.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22	0.16	0.16	0.24	0.21	0.17	0.14	0.2	0.15	0.11
MnO	0.08	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05	0.02	0.04	0.05
P <sup>+</sup>		1.3	1.2				0.8			
<b>Total</b>	<b>99.09</b>	<b>99.89</b>	<b>99.76</b>	<b>96.64</b>	<b>99.47</b>	<b>99.03</b>	<b>99.79</b>	<b>97.76</b>	<b>99.03</b>	<b>99.09</b>
Ba		608.1	336.6				343.8			
Be		1	1				1			
Co		35.8	48.9				46			
Cs		2.2	2.8				1			
Ga		21.9	23.9				20			
Hf		5.9	6.7				4.1			
Nb	10.9	10.7	15.9			6.2	9		14	7.27
Rb		95.7	104.7				61.1			
Sn		2	3				<1			
Sr		273.4	280.7				217.9			
Ta		2.1	2.5				2.9			
Th		14.5	16.2				1.2			
U	26.5	3.2	2.9			7.9	1.4		9.14	9.04
V		54	40				28			
W		218.7	313.1				336.8			
Zr		210.7	253.6				144.2			
Y		33.5	28.6				11			
Mo		0.7	0.4				0.4			
Cu		14.4	59.9				40.8			
Pb		5.1	5.4				1			
Zn		62	71				62			
Ni		12.9	9.9				8.4			
As		<5	<5				<5			
Cd		<.1	<.1				<.1			
Sb		<.1	<.1				<.1			
Bi		0.1	<.1				<.1			
Ag		<.1	<.1				<.1			
Au		1.3	1.8				1.2			
Hg		0.03	0.03				0.05			
Tl		0.2	0.3				0.2			
Se		<.5	<.5				<.5			
La	20.96	55.6	60.1			44.55	7		61.99	30.19
Ce	40.14	95.7	106.6			76.71	13.5		109.1	56.81
Pr	4.05	10.25	10.83			7.22	1.41		10.45	5.5
Nd	15.07	32.7	34.7			23.66	4.9		34.56	18.33
Sm	3.26	5.9	6.1			3.09	1.4		5.06	2.85
Eu	0.8	1.19	1.06			0.78	0.51		0.87	0.81
Gd	3.51	4.36	4.48			2.25	1.26		3.83	2.29
Tb	0.67	0.85	0.85			0.29	0.37		0.44	0.27
Dy	4.23	4.37	4.7			1.37	1.61		2.01	1.5
Ho	1.01	0.84	0.96			0.28	0.35		0.34	0.3
Er	2.4	2.61	2.6			0.73	1.15		0.78	0.78
Tm	0.35	0.36	0.45			0.11	0.18		0.1	0.11
Yb	2.37	2.55	2.43			0.73	0.88		0.72	0.8
Lu	0.31	0.37	0.4			0.12	0.14		0.12	0.13
ΣETRL	83.48	200.15	218.33			155.23	28.21		221.16	113.68
(La/Yb) <sub>n</sub>	5.97	14.72	16.69			41.19	5.37		58.11	25.47
(La/Sm) <sub>n</sub>	4.05	5.93	6.20			9.08	3.15		7.71	6.67
(Dy/Yb) <sub>n</sub>	1.16	1.11	1.26			1.22	1.19		1.81	1.22
Eu/Eu*	0.72	0.72	0.62			0.90	1.17		0.60	0.97
Rb/Sr		0.35	0.37				0.28			
Sr/Ba		0.45	0.83				0.63			
K <sub>2</sub> O / Na <sub>2</sub> O	0.29	0.49	0.39	0.48	0.80	0.29	0.32	0.37	0.29	0.75
#Mg	0.42	0.34	0.34	0.30	0.34	0.33	0.34	0.34	0.30	0.33

conclusão Tabela 3.11

F-62 / F-62J	F-19 / F-19	F-62 / F-62F	F-20 / F-20B	MAR-109	F-21 / F-21B	92-38	F-57 / 92-32	KY-38	KZ-06	Média
71.12	71.61	71.83	71.83	71.87	71.92	72.06	72.54	73.26	74.27	70.16
0.25	0.31	0.2	0.3	0.23	0.27	0.19	0.17	0.33	0.31	0.31
15.26	13.98	14.26	13.98	15.15	13.55	14.26	14.31	14.97	14.57	14.94
2.91	3.54	1.9	3.1	1.66	3.12	2.24	2.04	1.36	1.05	3.06
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
0.57	0.66	0.41	0.64	0.46	0.65	0.48	0.4	0.64	0.57	0.78
3.39	3.18	2.69	2.92	2.2	2.66	2.16	2.16	2.62	2.5	3.17
4.92	3.96	4.71	3.95	5.21	3.73	4.3	4	3.88	4.42	4.30
1.08	2.28	1.79	2.49	2.3	3.19	3.12	3.45	2.55	1.74	2.14
0.2	0.2	0.17	0.19	0.06	0.19	0.08	0.08	0.1	0.09	0.16
0.04	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.05	0.04
				0.6						0.98
99.74	99.76	97.97	99.43	99.76	99.31	98.92	99.17	99.75	99.57	99.25
				810.8						
				1						1.00
				38.4						42.28
				1.2						1.80
				21.2						21.75
				4.5						5.30
				5.1		9.09	6.85	14	10	10.82
				58.9						80.10
				<1						
				490.9						315.73
				2.4						2.48
				5.8						9.43
				3		6.14	5.38	8	11	8.51
				17						34.75
				283.7						
				121.6						182.53
				7.6						20.18
				0.4						0.48
				13.1						32.05
				3.7						3.80
				37						58.00
				3.5						8.68
				<.5						
				<.1						
				<.1						
				<.1						
				<.1						
				1.2						1.38
				0.06						0.04
				0.1						0.20
				<.5						
				22.5		22.22	23.52			34.86
				42.9		42.25	43.59			62.73
				4.42		4.1	4.12			6.24
				14.2		14.15	14.12			20.64
				2.4		2.64	2.2			3.49
				0.5		0.56	0.64			0.77
				1.3		2.04	1.75			2.71
				0.26		0.26	0.23			0.45
				1.39		1.26	1			2.34
				0.23		0.24	0.19			0.47
				0.71		0.52	0.43			1.27
				0.11		0.07	0.06			0.19
				0.62		0.49	0.41			1.20
				0.11		0.07	0.07			0.18
				86.42		85.36	87.55			127.96
				24.50		30.61	38.72			26.14
				5.90		5.30	6.73			6.07
				1.46		1.67	1.58			1.37
				0.87		0.74	1.00			0.83
				0.12						0.28
				0.61						0.63
0.22	0.58	0.38	0.63	0.44	0.86	0.73	0.86	0.66	0.39	0.51
0.28	0.27	0.30	0.29	0.35	0.29	0.30	0.28	0.48	0.51	0.34



**Figura 3.22:** Diagramas comparativos para as rochas do Tonalito Arco Verde da Folha Marajoara: (a) Diagrama Ab-An-Or normativo (O'Connor 1965, com campos de Barker 1979); (b) Diagrama K-Na-Ca com *trend* cálcico-alcalino (CA) de Nockolds & Allen (1953) e campo Tdh segundo Barker & Arth (1976).



**Figura 3.23:** Diagrama de milicções para rochas do Tonalito Arco Verde da Folha Marajoara: (a) Diagrama AxB (Debon *et al.* 1988); (b) Diagrama PxQ (Debon *et al.* 1988).

Em diagrama R1-R2 (La Roche *et al.* 1980) as amostras do Tonalito Arco Verde incidem quase que totalmente, com exceção de uma amostra, no campo dos granodioritos (Figura 3.24a). Esse comportamento é, muito provavelmente, em função dos baixos teores de MgO.

#### **- Elementos-traço**

O comportamento dos elementos-traço do Tonalito Arco Verde (Tabela 3.11) é, de modo geral, irregular, com variações significativas dos conteúdos de diversos elementos em amostras com teores semelhantes de SiO<sub>2</sub>. O comportamento dos elementos-traço são importantes na caracterização de ambientes tectônicos de rochas granitóides, sendo que os diagramas de Pearce *et al.* (1984) são muito utilizados para a discriminação de ambientes. Entretanto, a utilização desses diagramas deve ser feita com as devidas precauções, uma vez que os diagramas foram produzidos para granitóides do Fanerozóico, em geral não deformados e não porfíricos. Desse modo, com base no diagrama Rb-(Y+Nb) (Figura 3.24b), as amostras do Tonalito Arco Verde plotam no campo dos granitóides de arco vulcânico, assim como os demais granitóides arqueanos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria.

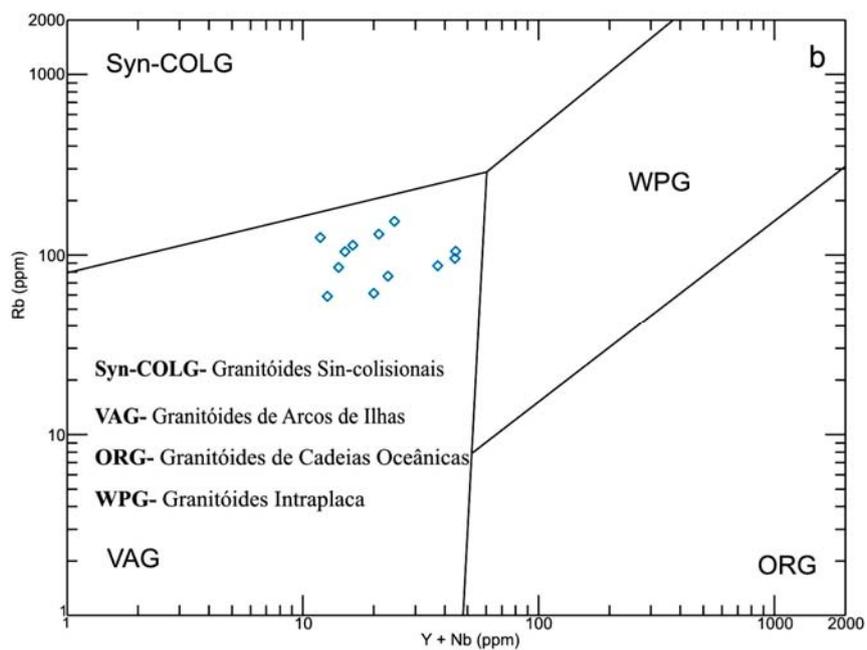
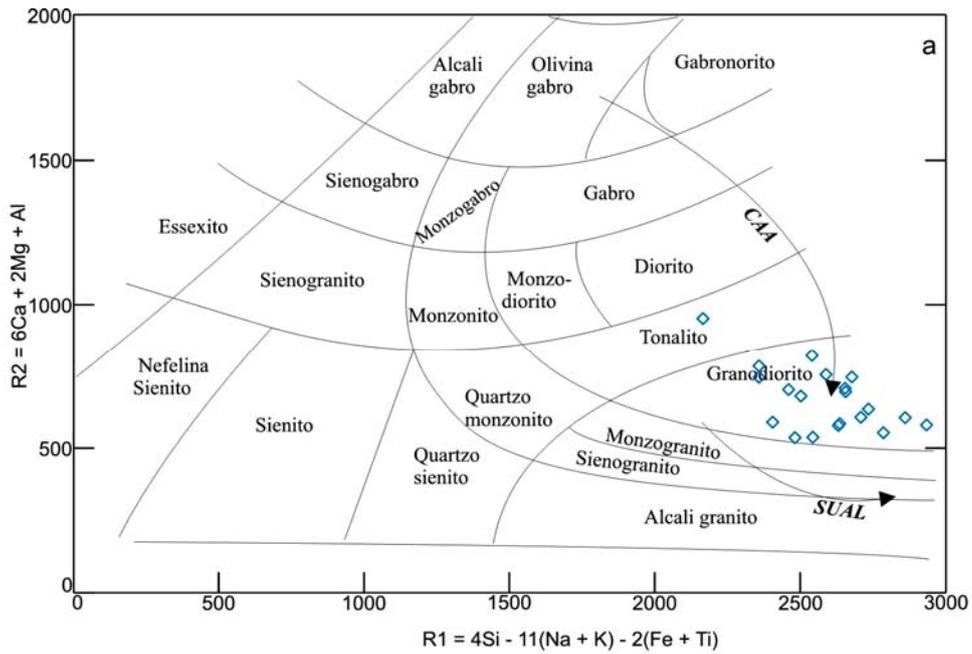
#### **- Elementos terras raras**

Além das quatro amostras analisadas neste projeto, mais seis amostras analisadas por Althoff (1996) possuem dados para elementos terras raras. Os dados foram normalizados em relação aos condritos, conforme os valores de Evensen *et al.* (1978).

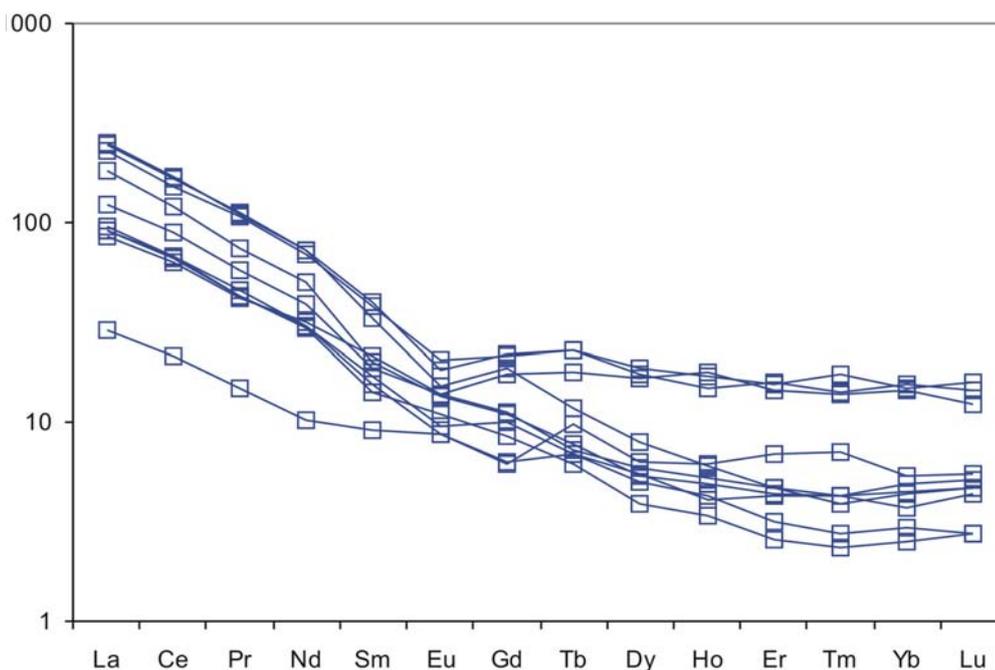
Os elementos terras raras do Tonalito Arco Verde mostram padrões caracterizados por um acentuado enriquecimento em elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados, indicando que houve expressivo fracionamento dos elementos terras raras pesados (Figuras 3.25), durante a sua formação, conforme revelam as razões (La/Yb)<sub>n</sub> que possuem um valor médio de 26,14. Há umas diferenças sutis entre as amostras analisadas, podendo ser observados dois grupos que mostram um empobrecimento em terras raras pesados um tanto quanto diferenciado. As amostras F57/92-36, MAR-148a e MAR-149, são mais enriquecidas em terras raras pesados e por consequência possuem razões (La/Yb)<sub>n</sub> mais baixas (5,97; 14,72; 16,69; respectivamente) que as demais que são mais empobrecidas em terras raras pesados. No entanto, apesar do conjunto de amostras analisadas apresentar algumas diferenças, o padrão geral é mantido.

A anomalia de Eu varia de levemente positiva a negativa de Eu ( $0,60 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 1,17$ ). A presença da anomalia negativa de Eu em algumas amostras, sugere uma participação mais efetiva de feldspatos no fracionamento ou menor participação de anfibólio, cujo fracionamento concomitante com o de plagioclásio pode compensar o efeito deste na geração de anomalia negativa de Eu (Martin *et al.* 1997).

O empobrecimento em elementos terras raras pesados pode ter sido causado por fracionamento isolado ou associado de granada, anfibólio e piroxênios, fases minerais que concentram notavelmente elementos terras raras pesados. Os valores das razões (La/Yb)<sub>n</sub> são similares aos encontrados nos granitóides TTG arqueanos típicos (Martin 1987, 1994, Althoff 1996, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001).



**Figura 3.24:** Diagramas para as rochas do Tonalito Arco Verde da Folha Marajoara. (a) Diagrama R1 x R2 (La Roche *et al.* 1980); (b) Diagrama discriminante de ambiente tectônico, (Y+Nb) x (Rb) (Pearce *et al.* 1984).



**Figura 3.25:** Padrões de elementos terras raras para as amostras do Tonalito Arco Verde da Folha Marajoara. Dados normalizados em relação ao condrito (Evensen *et al.* 1978).

#### 3.4.4 Granodiorito Rio Maria

Althoff (1996) realizou oito análises químicas em amostras do Granodiorito Rio Maria na porção sudeste da Folha Marajoara, fundamentalmente nas cercanias da PA-150. Com base nos aspectos de campo, estruturais e petrográficos, foram realizadas neste projeto seis análises de rochas representativas do Granodiorito Rio Maria, sendo quatro localizadas no domínio sudoeste onde não haviam, dentre as amostras compiladas, rochas analisadas quimicamente. Os resultados analíticos de elementos maiores e menores, além de elementos-traço, terras raras, constam na Tabela 3.12.

##### – Elementos maiores

O Granodiorito Rio Maria é mais pobre em sílica ( $58,21\% < \text{SiO}_2 < 72,58\%$ , média de  $64,55\%$ ), que o Tonalito Arco Verde ( $64,2\% < \text{SiO}_2 < 74,27\%$ , média de  $70,16\%$ ). Ele mostra também teores mais altos de elementos ferromagnesianos ( $2,67\% < \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{TiO}_2 < 10,67\%$ ) quando comparado com o Tonalito Arco Verde. Existe também uma diferença importante nos teores de álcalis. O Granodiorito Rio Maria possui valor médio da razão  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0,69$ , correlacionado a teor médio de  $\text{CaO} = 4,01\%$ , enquanto o Tonalito Arco Verde possui valores da razão  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 0,51$  e  $\text{CaO}$  médios =  $3,17\%$ .

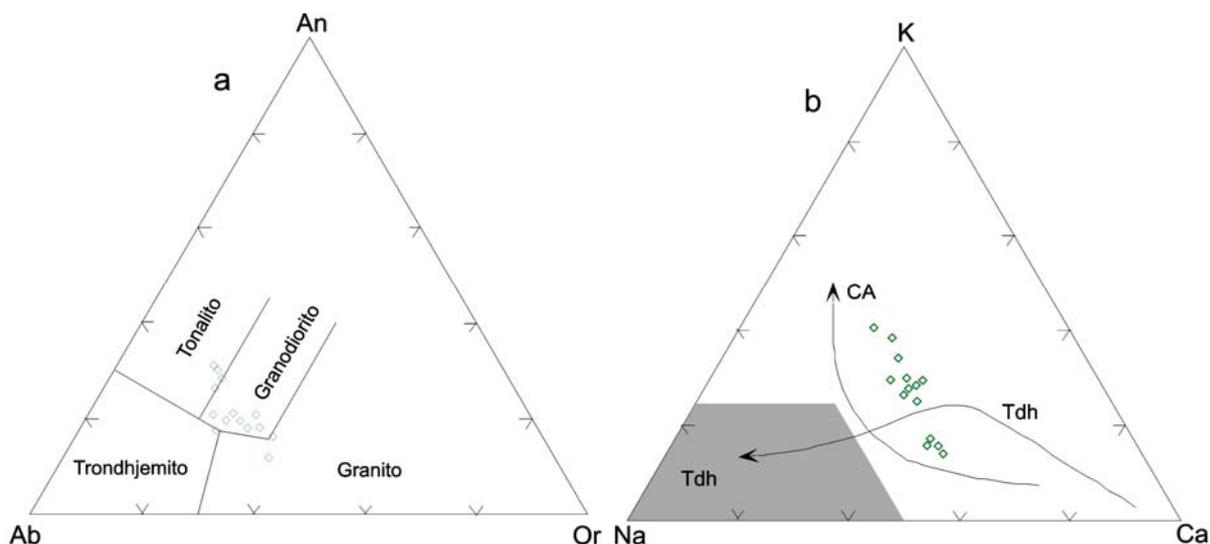
No triângulo Ab-An-Or (O'Connor 1965, modificado por Barker 1979) (Figura 3.26a), quase totalidade das amostras plota no campo correspondente aos granodioritos, com exceção de quatro amostras, sendo dois quartzo-dioritos e os dois granodioritos mais ricos em máficos e pobres em feldspato potássico (Tabela 3.5), que plotam no campo dos tonalitos e uma amostra que plota no campo granítico. As amostras que plotam no campo dos tonalitos apresentam esse comportamento em resposta aos maiores conteúdos de plagiocásio modal, refletido no aumento do componente An-normativa, e aos mais baixos conteúdos de feldspato potássico modal, o que reflete

diretamente em seus mais baixos valores de Or-normativo quando comparados as demais amostras de composições modais granodioríticas.

**Tabela 3.12:** Análises químicas para rochas do Granodiorito Rio Maria da Folha Marajoara.

Amostra	MAR-20A	MAR-92A	MAR-54A	F-09A	92-20	F-66D	MAR-145	F-10	92-23	F-66A	92-24	F-72	MAR-137	MAR-86A	Média
SiO <sub>2</sub>	58.21	59.2	60.02	62.03	63.03	63.33	64.04	64.39	64.5	66.29	67.15	68.48	70.42	72.58	64.55
TiO <sub>2</sub>	0.59	0.62	0.59	0.52	0.44	0.46	0.42	0.43	0.43	0.36	0.4	0.32	0.27	0.19	0.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17	16.54	16.57	16.15	15.11	14.3	14.99	14.77	15.5	14.03	16.07	15.11	14.21	13.85	15.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.07	6.82	6.15	6.28	5.44	5.73	4.6	5.29	3.97	4.61	3.08	2.96	2.8	1.76	4.75
FeO															
MgO	2.95	3.23	3.08	2.68	3.5	3.79	2.99	2.39	2.22	2.64	0.96	0.88	1.13	0.75	2.37
CaO	5.57	5.76	5.64	5.35	4.62	4.59	4.06	3.97	3.12	3.69	2.72	2.88	2.34	1.85	4.01
Na <sub>2</sub> O	4.69	4.25	4.32	3.9	4.04	3.54	3.99	4.15	4.66	3.78	5.34	4.62	3.59	3.86	4.20
K <sub>2</sub> O	1.88	1.6	1.82	2.16	2.97	3.28	3.05	2.94	2.87	3.28	2.27	2.9	4.05	4.26	2.81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.21	0.23	0.2	0.24	0.2	0.28	0.16	0.25	0.19	0.24	0.17	0.22	0.09	0.07	0.20
MnO	0.08	0.09	0.07	0.07	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.03	0.02	0.05	0.04	0.06
PP	1.6	1.4	1.4				1.3						1	0.8	1.25
Total	99.85	99.74	99.86	99.38	99.43	99.37	99.66	98.84	97.52	98.98	98.19	98.39	99.95	100.01	99.21
Cr	47.89	47.89	54.74		135		102.83		132		12.4		20.53	20.53	63.73
Ni	19.2	19.8	23.4				27.7						11.2	10.4	18.62
Co	40.1	37.9	33.1				44.4						43.1	26.2	37.47
Sc	14	14	12				10						5	4	9.83
V	118	117	85				73						44	14	75.17
Cu	147.2	37.1	57.2				26.7						23.3	36.2	54.62
Pb	2.7	2.4	4.5				4.7						7	17.6	6.48
Zn	44	43	36				34						35	40	38.67
Cd	0.2	<.1	<.1				<.1						<.1	0.1	
Sn	1	1	0				1						1	2	1.20
W	111.1	138.3	143.4				230						297.1	190.1	185.00
Mo	0.3	0.2	0.5				0.3						1.4	0.6	0.55
S	0	0	0				0						0	0	
Sb	<.1	<.1	<.1				<.1						<.1	<.1	
Ag	<.1	<.1	<.1				<.1						<.1	<.1	
Au	1.7	1.1	1.1				1.3						2	2.2	1.57
Hg	0.02	0.02	0.04				0.05						0.05	0.07	0.04
K	0	0	0				0						0	0	
Rb	96.1	61.2	59		130		118.9		112		86.7		165.3	152.8	109.11
Cs	6.5	3.9	2.3				5.5						4	12	2.44
Ba	783	806.5	799.6		966		878		859		856		864.8	774.3	843.02
Sr	735.6	742.2	694.1		130		495.7		112		86.7		381.3	230.2	400.87
Tl	<.1	0.1	<.1				0.2						0.2	0.4	1.66
Ga	23.9	23.1	17.8		21.1		17.9		22.5		23.4		17.3	11.6	12.76
Li	0	0	0				0						0	0	
Be	3	2	1				1						3	1	1.22
Hf	4.5	4	3		2.99		4.2		4.01		3.53		3.8	2.3	3.59
Nb	7.4	5.1	4.6		7.84		6.1		12.9		6.75		7.7	6.9	4.66
Ta	2.1	1.1	1.1				1.5						2.7	2.6	1.23
Th	4.7	3.8	4.2		5.41		9.9		10.9		6.62		14.2	14.6	8.26
U	3	1	2.6				4						3.2	2.2	1.77
Zr	159.5	128.6	109.2		115		117.9		161		141		110.1	72.2	123.83
Y	21.7	16.2	11.7		1.7		21.3		20.7		8.29		8.1	9.3	14.92
La	34.1	29.4	25.9		31.74		45		51.82		33.95		46.8	65.4	40.46
Ce	70.4	60.3	53		66.83		80.3		64.72		64.60		78.1	92.9	70.13
Pr	8.76	7.35	6.19		7.33		8.16		9.20		6.93		7.56	9.4	7.88
Nd	36.7	28.4	24.6		26.43		26.7		33.92		25.31		21.9	28.5	28.05
Sm	6	5.1	4		4.00		4.6		6.07		3.84		3.2	2.8	4.40
Eu	1.47	1.21	1.03		1.01		0.96		1.52		1.01		0.72	0.59	1.06
Gd	4.64	3.32	2.5		3.15		2.7		5.07		2.87		1.5	1.63	3.04
Tb	0.73	0.57	0.44		0.39		0.44		0.67		0.35		0.29	0.25	0.46
Dy	3.71	2.87	2.09		2.20		2		3.39		1.60		1.37	1.23	2.27
Ho	0.66	0.55	0.36		0.48		0.42		0.68		0.29		0.25	0.23	0.44
Er	2	1.39	1.14		1.21		1.42		1.51		0.66		0.78	0.64	1.19
Tm	0.28	0.21	0.16		0.20		0.21		0.20		0.10		0.12	0.09	0.17
Yb	1.72	1.5	1.01		1.34		1.14		1.32		0.65		0.83	0.68	1.13
Lu	0.28	0.2	0.16		0.22		0.2		0.21		0.10		0.14	0.12	0.18
ΣTRL	155.96	130.55	113.89		136.33		164.76		165.73		134.63		157.56	199.00	150.91
(La/Yb) <sub>L</sub>	13.38	13.23	17.31		16.02		26.64		26.48		35.50		38.06	64.92	27.95
(La/Sm) <sub>L</sub>	3.58	3.63	4.08		5.00		6.16		5.37		5.57		9.21	14.71	6.37
(Dy/Yb) <sub>L</sub>	1.40	1.24	1.34		1.07		1.14		1.67		1.61		1.07	1.18	1.30
Eu/Eu*	0.85	0.90	1.00		0.87		0.83		0.84		0.93		1.00	0.84	0.90
Rb/Sr	0.13	0.08	0.09		1.00		0.24		1.00		1.00		0.43	0.66	0.52
Sr/Ba	0.94	0.92	0.87		0.13		0.56		0.13		0.10		0.44	0.30	0.49
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.40	0.38	0.42	0.55	0.74	0.93	0.76	0.71	0.62	0.87	0.43	0.63	1.13	1.10	0.69
#Mg	0.45	0.48	0.49	0.45	0.56	0.56	0.56	0.47	0.52	0.53	0.38	0.37	0.44	0.45	0.48

No diagrama K-Na-Ca (Figura 3.26b), as amostras do Granodiorito Rio Maria formam um *trend* paralelo, mais empobrecido em Na, do que o *trend* cálcico-alcálico (Nockolds & Allen 1953) porém, alinham-se com este. Isto reflete, entre outras coisas, o seu enriquecimento em K<sub>2</sub>O, que não é observado nas rochas que seguem o *trend* trondhjemitico. O diagrama A x B (Debon *et al.* 1988) (Figura 3.27a) mostra que as rochas do Granodiorito Rio Maria são, sem exceção, tipicamente metaluminosas, diferentemente do Tonalito Arco Verde.



**Figura 3.26:** Diagramas comparativos para as rochas do Granodiorito Rio Maria da Folha Marajoara: (a) Diagrama Ab-An-Or normativo (O'Connor 1965, com campos de Barker 1979); (b) Diagrama K-Na-Ca com *trend* cálcico-alcálico (CA) de Nockolds & Allen (1953) e campo Tdh segundo Barker & Arth (1976).

Na figura 3.27b, que mostra o diagrama P x Q de Debon *et al.* (1988), a distribuição dos pontos é de certa forma, bastante coerente com o visto nos demais diagramas e, ainda, nas composições modais. Nesse diagrama, as amostras do Granodiorito Rio Maria plotam fundamentalmente no campo granodiorítico, com variações para o campo dos quartzo-dioritos, duas amostras quase que no limite entre os campos granodiorítico e tonalítico, e outras duas que plotam no campo granítico. No geral, no diagrama P x Q, o Granodiorito Rio Maria tende a alinhar-se ao *trend* cálcico-alcálico, mas não seguindo plenamente.

O aumento do teor de minerais ferromagnesianos, acompanhado diretamente da diminuição da sílica, reflete no comportamento das amostras do Granodiorito Rio Maria no diagrama R1 x R2 (La Roche *et al.* 1980) onde as amostras plotam desde o campo dos granodioritos, passando pelos tonalitos até o campo diorítico (Figura 3.28a). Pode-se observar que nos diversos diagramas á vistos, é nítida a visualização da variação composicional de granodioritos a quartzo-dioritos das rochas do Granodiorito Rio Maria.

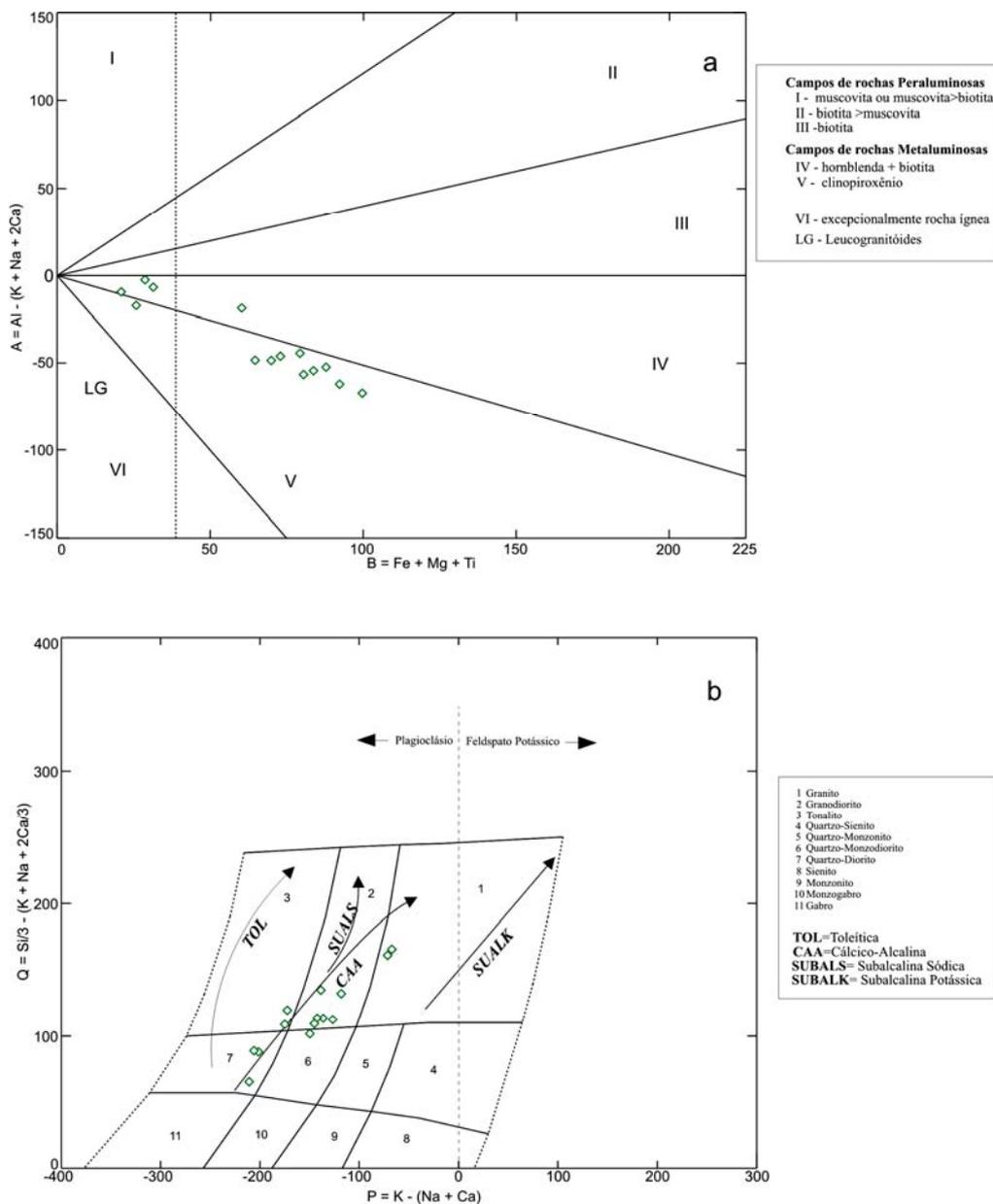
### – Elementos-traço

O comportamento dos elementos-traço do Granodiorito Rio Maria é bem mais ordenado do que no Tonalito Arco Verde. Geralmente, o Granodiorito Rio Maria apresenta teores relativamente altos de Sr e V, moderado de Ba, Rb, Zr e baixos de Nb e Y. Quando comparado com o Tonalito Arco Verde apresenta teores mais elevados de Ba e Rb. Importante ainda ressaltar, os altos valores de Cr e Ni das rochas do Granodiorito Rio Maria, quando comparado com as suítes TTG`s e com as típicas séries cálcico-alcálicas (Martin 1985, 1987, Condie 1993, Martin *et al.* 1997, Althoff 1996, Althoff *et al.* 2000, Oliveira 2005, Oliveira *et al.* *In press*). No diagrama Rb x (Y+Nb) (Pearce *et al.* 1984), assim como as amostras do Tonalito Arco Verde, as do Granodiorito Rio Maria incidem, totalmente, no campo dos granitóides de arco vulcânico.

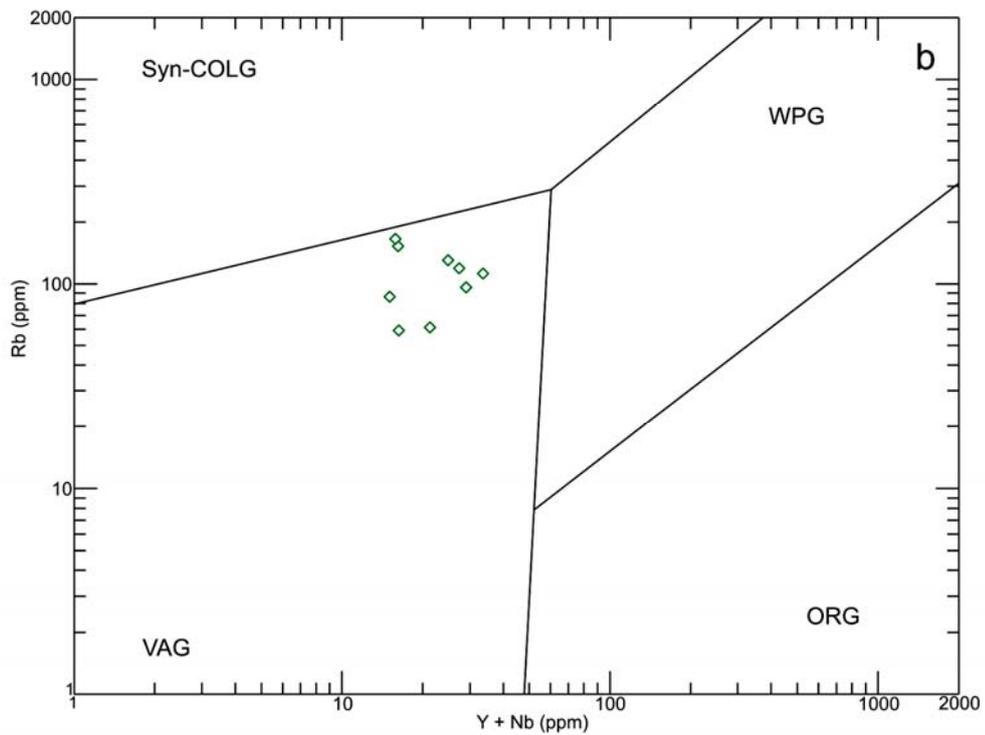
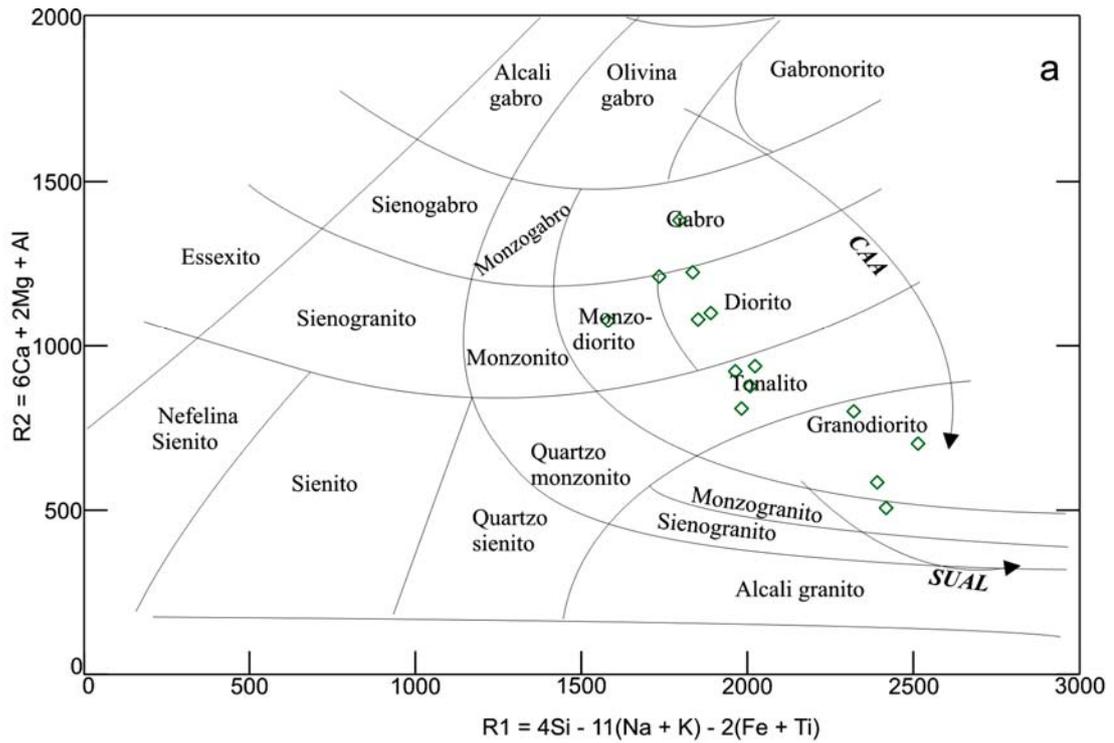
### - Elementos terras raras

Foram analisadas, neste projeto, seis amostras do Granodiorito Rio Maria, as quais foram somadas três análises de Althoff (1996) (Tabela 3.12). Os dados foram normalizados relação aos condritos conforme os valores de Evensen *et al.* (1978).

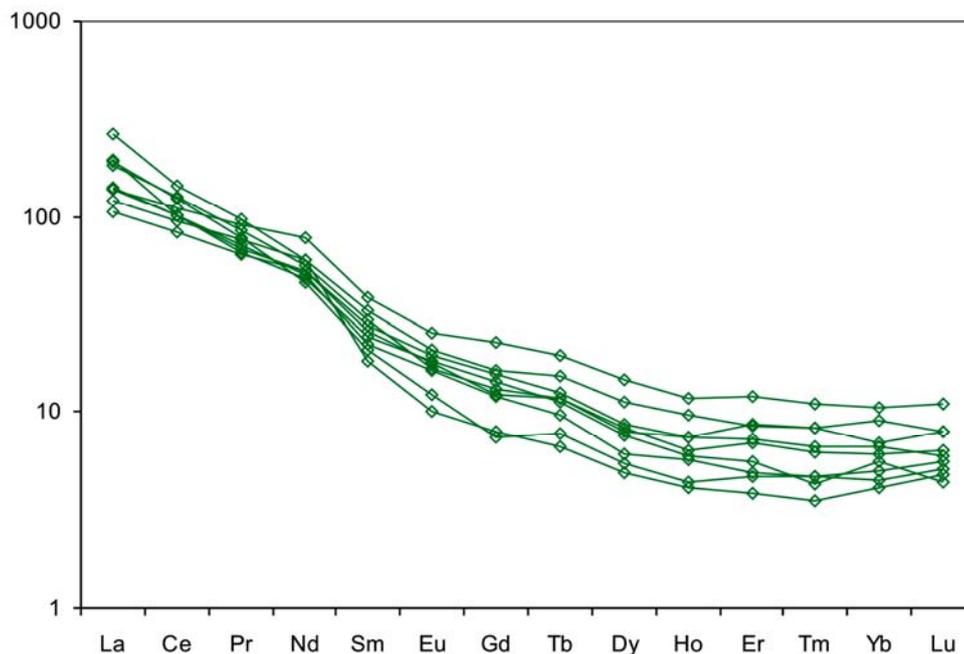
Os conteúdos de elementos terras raras do Granodiorito Rio Maria (Figura 3.29 definem um padrão caracterizado pelo enriquecimento acentuado em elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados, indicando que houve acentuado a moderado fracionamento dos elementos terras raras pesados. A razão  $(La/Yb)_n$  varia de 13,38 a 64,98 com média de 27,95 (Tabela 3.12) com anomalia de Eu ausente ou negativas mas pouco expressivas ( $0,83 < Eu/Eu^* < 1,00$ ). O fracionamento de minerais, tais como anfibólio, piroxênio e granada, muito provavelmente, foi o responsável pelo empobrecimento em elementos terras raras pesados.



**Figura 3.27:** Diagramas de milicátions para as rochas do Granodiotito Rio Maria da Folha Marajoara: (a) Diagrama A x B (Debon *et al.* 1988); (b) Diagrama P x Q (Debon *et al.* 1988).



**Figura 3.28:** Diagramas para as rochas do Granodiotito Rio Maria: (a) Diagrama RI x R2 (La Roche *et al.* 1980); (b) Diagrama discriminante de ambiente tectônico, (Y + Nb) x Rb (Pearce *et al.* 1984).



**Figura 3.29:** Padrões de elementos terras raras para as amostras do Granodiorito Rio Maria da Folha Marajoara. Dados normalizados em relação ao condrito (Evensen *et al.* 1978).

### 3.4.5 Leucogranitos Potássicos

Foram analisadas 14 amostras por Duarte (1992) e 11 por Althoff (1996) de leucogranitos potássicos aflorantes na Folha Marajoara. Além dessas, foram selecionadas 20 amostras para análise química, consideradas representativas de tais rochas, tendo como base a petrografia, distribuição espacial e o grau de preservação das mesmas. As análises químicas envolveram a determinação dos elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ), menores ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{MnO}$ ) e traços (Ba, Rb, Zr, Nb, Y, Ga, Sc, Th, U e V) incluindo terras raras (Tabela 3.13). As análises foram realizadas por ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD. Neste pacote analisado está incluída a amostra MAF-33, cuja idade foi obtida pelo método Pb-Pb em zircão, e será discutida no próximo capítulo.

#### - Elementos Maiores

Com o aumento de  $\text{SiO}_2$ , os teores de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  tendem a diminuir (Tabela 3.13). Isso é coerente com as observações petrográficas, as quais mostram que as razões plagioclásio/feldspato potássico e os conteúdos modais de biotita, exibem valores decrescentes nesse mesmo sentido. Os teores de  $\text{K}_2\text{O}$  são relativamente altos, com média de 3,96%, sendo baixo nas rochas com baixa sílica aumentando proporcionalmente com os valores de  $\text{SiO}_2$ . Os teores de  $\text{Na}_2\text{O}$  oscilam entre 3,21 e 5,46%, mantendo-se quase constante com a variação com  $\text{SiO}_2$ . As razões  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  situam-se entre 0,5 e 1,58, com média em torno de 1. O comportamento do  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é similar ao do  $\text{Na}_2\text{O}$ , com teores oscilando entre 12,73 e 16,34%, mantendo-se a média ao redor de 14,5% (Tabela 3.13).

O caráter metaluminoso a peraluminoso dos leucogranitos potássicos da folha marajoara é evidenciado através do diagrama  $Fe+Mg+Ti$  versus  $Al-(K+Na+2Ca)$  ou A x B (Figura 3.30a) de Debon & Le Fort (1988). Ele mostra, ainda, que: com a diminuição de constituintes máficos as rochas passam de metaluminosas a peraluminosas; as amostras com maior conteúdo modal de biotita incidem no campo Campo IV, ao passo que os leucogranitos com baixa proporção desse mineral seriam classificadas geoquimicamente como leucogranitos peraluminosos.

No diagrama  $Si/3-(K+Na+2Ca/3)$  versus  $K-(Na+Ca)$  ou P x Q (Figura 3.30b) de Debon & Le Fort (1988), verifica-se que os leucogranitos potássicos da Folha Marajoara seguem um *trend* calcico-alcalino. Essa afinidade é reforçada através do diagrama K-Na-Ca (Figura 3.30c), o qual mostra que essas rochas se alinham ao longo do *trend* calcico-alcalino. O diagrama R1-R2 (La Roche *et al.* 1980) mostra que os leucogranitos potássicos (Figura 3.31a) incidem no campo dos monzogranitos e sienogranitos com exceção de algumas amostras que caem no domínio dos granodioritos em função do seu alto teor de minerais ferromagnesianos. O diagrama normativo An-Ab-Or (Figura 7.10b) mostra que os leucogranitos potássicos incidem predominantemente no campo dos granitos com algumas amostras ocupando o campo dos trondhjemitos.

#### **- Elementos Traço**

O comportamento dos elementos litófilos é muito importante para esclarecer a evolução de rochas leucograníticas, pois a distribuição destes elementos é amplamente controlada pelas fases minerais dominantes nestas rochas, com destaque para os feldspatos. É sabido igualmente que o comportamento geoquímico de elementos-traço compatíveis e incompatíveis constitui um bom indicador dos processos petrogenéticos (Hanson 1989).

De modo geral, Ba, Sr e Zr diminuem no sentido do aumento de  $SiO_2$ , ao passo que o Rb mostra correlação positiva com  $SiO_2$ , enquanto que o Y mantém seus valores praticamente constantes. O conteúdo de Nb é moderado e constante nas rochas estudadas.

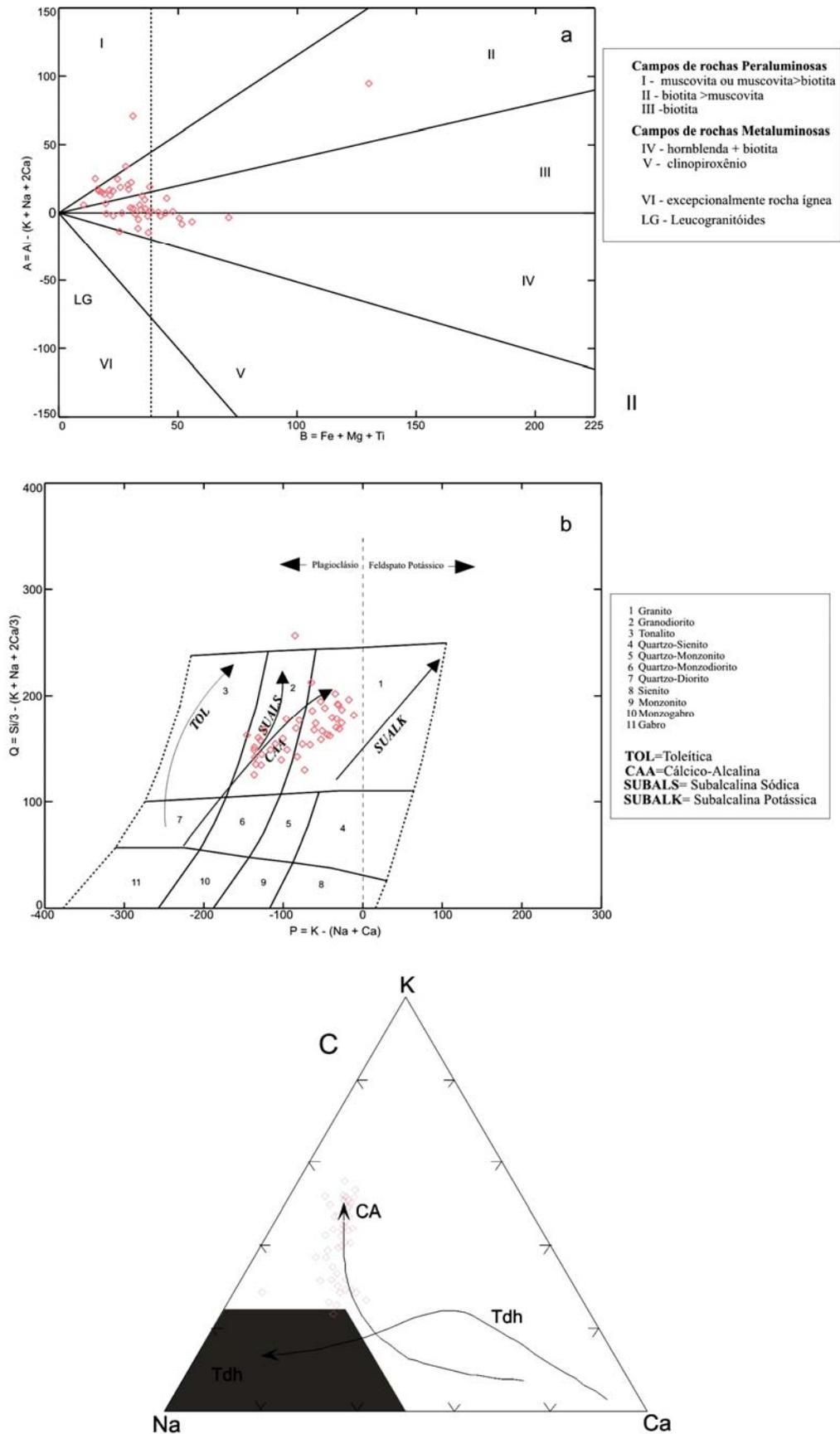
Os teores de  $K_2O$  assim como de Rb, tendem a crescer ao longo da evolução, mostrando correlação positiva com  $SiO_2$ . Em geral, a evolução desses dois elementos é compatível com a hipótese de uma diferenciação magmática ter comandado a evolução dos leucogranitos potássicos da folha marajoara, uma vez que os líquidos mais evoluídos tendem a se enriquecer em K e Rb (Shaw 1970).

**Tabela 3.13:** Composições químicas dos leucogranitos potássicos da Folha Marajoara.

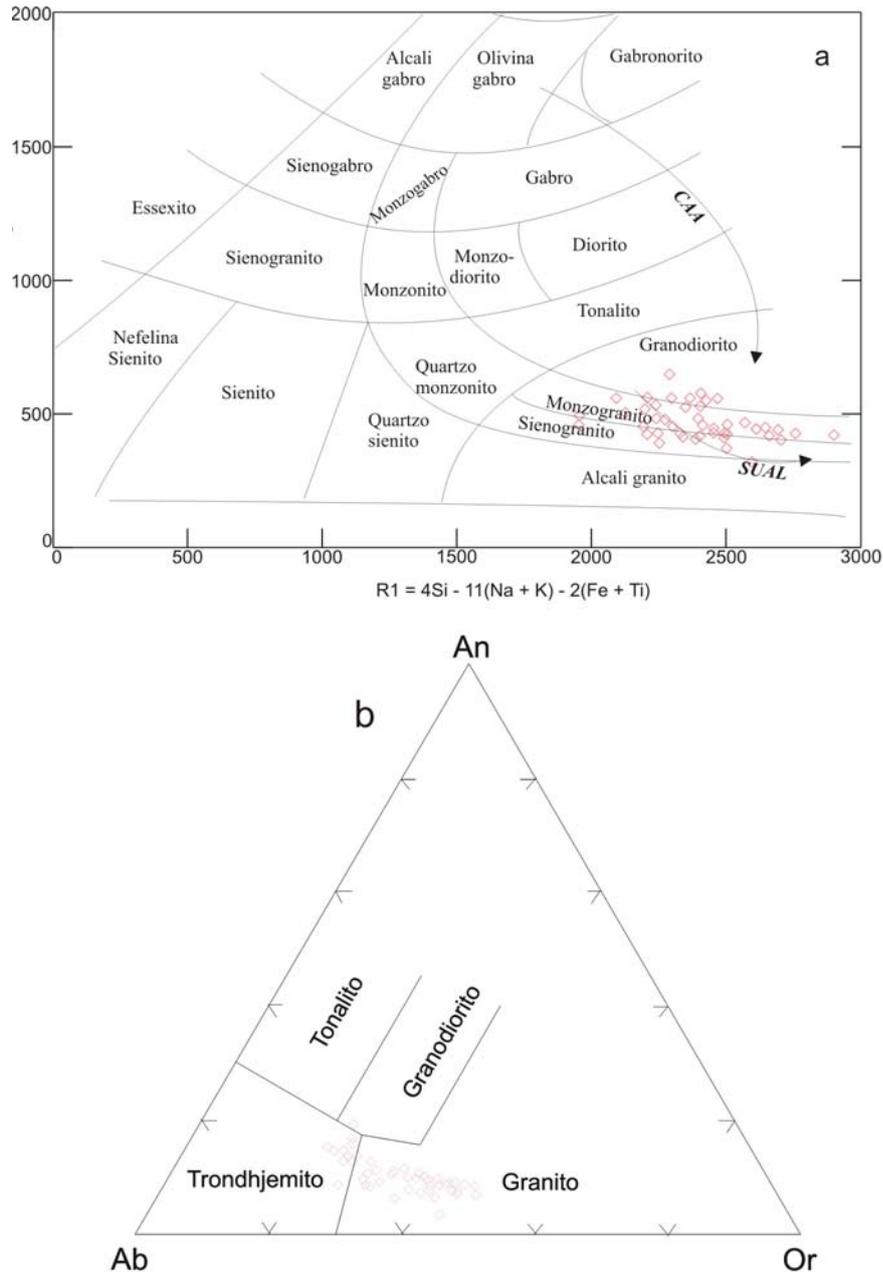
Amostra	MAR-33	MAR-49A	MAR-123	MAR-121	F4/F4	MAR-114	MAR-47A	F77/92-29	MAR-103A	MAR-14A	MAF-11	MAR-164A	MAR-129	MAR-102	MAR-97A	KY-03	F5/F5	MAR-126	F78/F78R	MAR-64A	F77/82-31	F67/F67
SiO <sub>2</sub>	68.86	63.74	70.08	70.32	70.66	70.89	71.05	71.24	71.34	71.39	71.51	71.71	71.93	72.03	72.27	72.29	72.33	72.36	72.36	72.39	72.56	72.78
TiO <sub>2</sub>	0.45	0.19	0.27	0.21	0.15	0.25	0.36	0.29	0.26	0.27	0.17	0.20	0.21	0.17	0.11	0.18	0.20	0.18	0.18	0.19	0.12	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.14	16.16	15.40	15.66	15.02	14.60	14.87	14.96	14.86	15.45	14.98	15.22	14.45	14.90	14.99	14.57	14.19	14.11	14.93	14.58	13.62	13.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.21	1.71	1.95	1.71	1.24	2.10	2.09	1.61	2.15	1.55	2.20	1.26	1.85	1.68	1.40	0.90	1.51	1.66	1.69	1.50	1.13	2.33
FeO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MgO	1.03	0.58	0.77	0.59	0.33	0.82	0.49	0.39	0.61	0.45	0.56	0.35	0.65	0.51	0.42	0.15	0.41	0.52	0.40	0.45	0.29	0.80
CaO	2.81	1.91	2.31	2.09	1.72	2.03	1.76	1.37	2.21	2.19	2.40	1.90	1.57	2.19	1.97	1.26	1.17	1.15	1.71	2.05	1.43	1.65
Na <sub>2</sub> O	4.44	5.11	4.87	4.98	5.46	4.56	4.37	4.62	4.44	4.90	4.60	5.02	4.11	4.92	4.86	3.80	4.47	4.05	4.75	4.92	4.75	3.85
K <sub>2</sub> O	2.68	3.05	2.91	3.31	3.32	3.44	4.24	4.72	2.76	2.87	2.82	3.24	4.44	2.46	2.98	4.75	4.19	4.65	3.47	2.64	3.94	4.36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.08	0.10	0.08	0.16	0.10	0.12	0.12	0.09	0.09	0.09	0.06	0.08	0.08	0.06	0.04	0.19	0.07	0.17	0.07	0.07	0.18
MnO	0.04	0.02	0.03	0.02	0.00	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
PF	1.10	1.30	1.00	0.70	1.00	1.00	0.60	1.00	0.80	0.50	0.50	0.80	0.50	0.90	0.70	0.90	0.90	0.90	0.90	0.70	0.80	0.80
<b>Total</b>	<b>99.92</b>	<b>99.85</b>	<b>99.69</b>	<b>99.67</b>	<b>98.06</b>	<b>99.82</b>	<b>99.97</b>	<b>99.34</b>	<b>99.75</b>	<b>99.98</b>	<b>99.97</b>	<b>99.75</b>	<b>99.81</b>	<b>99.90</b>	<b>99.84</b>	<b>97.89</b>	<b>98.65</b>	<b>99.86</b>	<b>98.86</b>	<b>99.86</b>	<b>98.89</b>	<b>99.80</b>
Ba	1172.8	1281.4	1169.5	1435.9	1217.7	1364.6	1722.0	990.7	977.5	1087.1	1020.2	975.9	784.7	1246.9				721.8		1066.4	1056.0	
Be	1	2	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2		1		
Co	29.50	43.30	51.70	60.70	62.40	23.60	38.90	25.00	50.90	23.60	55.50	61.50	72.30	53.50				53.50		33.60		
Cs	1.70	4.70	1.40	1.00	4.50	11.10	1.90	1.50	2.40	0.90	7.60	4.10	1.20	2.90				2.90		1.20		
Ga	19.60	21.40	19.40	19.30	20.40	22.50	21.30	20.40	20.60	19.40	20.20	16.70	23.60	21.20				17.50		21.10	24.60	
Hf	3.70	3.20	4.20	3.10	4.10	6.30	4.71	4.00	3.80	3.40	2.70	4.10	3.80	2.70				3.70		3.20	3.11	
Nb	6.1	5.1	5.5	4.2	6.3	11.0	5.0	8.1	5.4	7.4	5.6	6.7	6.6	4.2		9.0		6.7		6.7	13.2	
Rb	77.80	97.40	83.70	77.90	127.60	179.50	142.00	97.10	95.00	121.20	80.80	185.60	95.60	63.80		238.00		175.60		70.40	138.00	
Sn	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				1.00		1.00		
Sr	554	584	737	725	673	573	665	354	389	517	534	374	567	696		146		281		650	577	
Ta	1.70	1.90	2.10	2.10	2.00	2.60	2.30	2.10	2.90	2.10	2.60	2.70	1.90	2.40				2.40		2.40		
Th	5.00	3.40	5.10	4.60	7.60	19.60	22.30	5.90	6.90	14.30	3.00	16.60	3.30	2.30				15.30		5.00	15.40	
U	2.50	0.70	1.10	2.00	3.90	4.70	2.00	2.60	4.90	1.00	6.10	0.50	0.40	4.90				2.10		2.10		
V	43	20	29	19	24	23	21	19	29	18	23	19	22	16				16		18		
W	197.1	323.2	363.7	412.4	443.8	172.3	290.5	174.2	360.9	151.8	388.6	436.6	482.2	379.0				379.0		235.0		
Zr	132.0	87.8	112.4	91.8	104.1	233.4	201.0	128.6	128.3	104.7	81.6	115.8	100.3	89.7		105.0		95.1		95.6	94.5	
Y	12.6	28.6	11.6	3.1	40.5	6.4	3.3	8.0	5.7	8.0	6.2	5.7	6.4	5.1		9.0		13.6		6.3	8.1	
Mo	0.30	0.40	0.30	0.30	0.50	0.60	0.40	0.40	0.60	0.30	0.60	0.40	0.30	0.30				0.50		0.40		
Cu	54.2	37.7	13.1	10.4	67.8	13.4	118.3	6.6	15.9	6.3	8.1	89.8	53.7	31.8				31.8		26.6		
Pb	5.7	7.6	2.7	3.4	5.0	12.9	3.6	9.3	7.6	4.6	7.4	3.8	4.0	8.1				8.1		4.5		
Zn	47	33	40	28	43	45	39	39	35	31	26	46	36	23				23		46		
Ni	7.6	11.4	10.6	8.1	12.4	5.7	9.6	3.4	3.8	5.2	7.5	8.1	7.0	6.1				6.1		7.5		
As	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	0.50	0.70	<5	<5	<5	<5				<5		<5		
Cd	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				<1		<1		
Sb	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				<1		<1		
Bi	<1	0.10	<1	<1	0.20	0.20	<1	<1	0.10	<1	<1	0.10	<1	<1				<1		<1		
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	0.20				<1		<1		
Au	0.5	1.0	1.0	0.7	1.4	2.3	1.1	1.7	1.4	1.5	2.1	1.2	1.1	1.6				1.6		1.5		
Hg	0.04	0.09	0.08	0.05	0.08	0.02	0.05	0.04	0.09	0.04	0.09	0.08	0.09	0.09				0.06		0.06		
Tl	0.10	0.10	0.20	0.10	0.20	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20	0.10	0.10				0.10		0.10		
Se	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5				<5		<5		
La	56.80	22.40	32.10	13.00	27.50	68.80	62.45	26.60	25.70	28.30	14.00	35.80	15.00	15.70				53.50		18.00	80.41	
Ce	80.70	31.50	47.60	29.50	44.20	130.60	113.50	46.10	46.20	51.70	26.10	59.20	28.00	29.70				65.70		32.90	38.94	
Pr	10.07	4.05	6.84	2.51	5.73	12.90	10.80	4.41	4.79	5.60	2.88	5.59	3.15	3.16				7.81		3.54	4.01	
Nd	36.00	15.90	23.90	8.10	20.00	43.10	33.20	13.50	17.00	19.70	9.70	14.50	11.00	10.00				22.90		12.30	14.84	
Sm	4.90	2.70	4.30	1.30	4.00	5.40	3.99	2.00	2.40	3.00	2.00	2.10	2.10	1.90				3.20		1.90	2.45	
Eu	1.22	0.89	1.11	0.38	1.07	1.17	1.00	0.51	0.67	0.84	0.40	0.50	0.53	0.50				0.73		0.53	0.76	
Gd	2.98	3.13	2.90	0.71	3.56	2.15	2.41	1.25	1.66	2.07	1.17	1.14	1.21	1.06				2.66		1.29	1.78	
Tb	0.44	0.50	0.39	0.12	0.60	0.34	0.20	0.22	0.22	0.25	0.17	0.14	0.25	0.25				0.37		0.25	0.24	
Dy	2.07	3.33	1.82	0.51	3.87	1.29	0.86	1.19	1.09	1.26	0.78	0.91	1.24	0.92				1.67		0.95	1.34	
Ho	0.38	0.65	0.29	0.13	0.88	0.18	0.11	0.26	0.17	0.22	0.18	0.15	0.25	0.16				0.29		0.16	0.25	
Er	0.92	2.27	0.89	0.36	3.17	0.47	0.28	0.72	0.43	0.63	0.52	0.49	0.66	0.52				0.91		0.60	0.56	
Tm	0.15	0.31	0.14	0.08	0.47	0.07	0.03	0.11	0.07	0.09	0.08	0.10	0.09	0.06				0.14		0.		

Conclusão

Amostra	KY-48	F52/F92-14	F77/F92-25	MAF-24	F76/F76	MAR-44A	MAF-22	KY-7C	KY-31B	F68/F68	KY-159	KY-89E	MAR-167	MAF-12	KY-86A	KY-24B	KY-158	KY-75	KY-100C	KY-85A	F52/F52B	KY-104	KY-36B	Média	
SiO <sub>2</sub>	72.96	72.90	72.92	73.09	73.24	73.29	73.42	73.64	73.93	73.97	74.05	74.18	74.39	74.98	75.22	75.59	75.76	75.82	75.97	75.97	76.01	76.20	77.11	73.04	
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.76	0.13	0.28	0.19	0.21	0.28	0.13	0.23	0.17	0.12	0.17	0.12	0.09	0.19	0.19	0.17	0.15	0.14	0.15	0.00	0.17	0.18	0.21	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.32	12.73	13.76	14.18	14.30	14.43	13.86	14.11	14.76	13.02	16.34	14.49	14.10	13.44	14.17	14.14	14.16	14.35	14.44	13.74	12.81	14.54	13.55	14.46	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.28	5.44	1.91	1.92	1.62	1.46	1.90	1.22	1.55	1.82	1.01	0.85	1.04	1.11	1.24	1.25	1.08	1.06	0.75	0.95	0.83	1.03	1.39	1.60	
FeO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	
MgO	0.29	2.12	0.48	0.30	0.38	0.34	0.29	0.23	0.33	0.51	0.69	0.22	0.19	0.19	0.41	0.44	0.18	0.26	0.17	0.12	0.12	0.00	0.26	0.25	0.45
CaO	1.24	0.30	1.54	0.92	1.44	1.50	1.20	1.28	1.32	1.40	1.06	1.15	1.17	0.93	1.20	1.33	1.11	1.40	1.18	1.19	0.65	1.42	1.34	1.51	
Na <sub>2</sub> O	3.53	3.47	4.24	3.99	4.72	4.11	3.97	3.49	3.46	3.94	3.40	3.73	4.59	3.38	3.32	3.69	3.84	3.98	3.49	3.21	3.75	3.72	3.72	4.19	
K <sub>2</sub> O	4.60	1.52	3.79	4.89	3.65	3.74	4.64	4.82	5.11	4.37	4.81	5.07	3.43	5.39	4.43	4.25	5.40	4.24	4.86	5.07	4.76	4.60	3.73	3.96	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.17	0.06	0.05	0.16	0.08	0.05	0.05	0.08	0.16	0.05	0.06	0.05	0.03	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.06	0.12	0.05	0.06	0.09	
MnO	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	
PF				0.40	0.70	0.70	0.40						0.80	0.60										0.77	
<b>Total</b>	<b>98.42</b>	<b>99.43</b>	<b>98.85</b>	<b>100.06</b>	<b>99.71</b>	<b>99.88</b>	<b>100.05</b>	<b>99.00</b>	<b>100.80</b>	<b>99.38</b>	<b>101.57</b>	<b>99.94</b>	<b>99.89</b>	<b>100.16</b>	<b>100.26</b>	<b>100.98</b>	<b>101.78</b>	<b>101.33</b>	<b>101.06</b>	<b>100.48</b>	<b>98.94</b>	<b>102.02</b>	<b>101.36</b>	<b>99.88</b>	
Ba		1464.0	763.0	1214.3		1031.1	1182.0						1081.1	745.6											1115.51
Be						1	1						1	1											1.26
Co				52.90		57.70	53.20						39.40	49.60											46.94
Cs				0.80		1.20	0.70						1.50	2.00											2.72
Ga		15.70	21.00	15.30		21.40	16.50						16.70	16.70											19.69
Hf		2.47	2.52	6.00		3.40	7.10						2.50	2.70											3.77
Nb	9.0	7.6	15.5	9.3		5.3	11.2	11.0	9.0		9.0	12.0	4.8	8.2	14.0	14.0	11.0	11.0	10.0	8.0			14.0		8.52
Rb	204.00	227.00	123.00	111.50		83.20	121.10	217.00	259.00		252.00	291.00	76.00	186.80	298.00	213.00	257.00	243.00	208.00	204.00			203.00		160.12
Sn				1.00		1.00																			1.00
Sr	237	100	318	139		653	146	231	184		158	122	366	186	118	250	109	175	183	202			169		368.66
Ta				3.00		1.90	3.10						1.50	3.70											2.34
Th		6.69	11.60	16.70		2.80	22.10						4.70	47.50											11.15
U				2.40		1.80	3.10						1.40	18.10											3.31
V				10		19	11						11	9											20.15
W				380.3		396.7	389.3						251.4	351.2											146.23
Zr	162.0	57.2	81.0	209.8		86.2	238.7	163.0	206.0		144.0	161.0	70.6	82.4	230.0	147.0	183.0	162.0	129.0	189.0			140.0		133.61
Y	8.0	9.7	15.1	15.1		6.0	16.9	13.0	8.0		7.0	10.0	7.0	9.3	9.0	38.0	9.0	9.0	29.0	6.0			8.0		11.38
Mo				0.60		0.20	0.70						0.40	1.10											0.47
Cu				5.9		12.8	3.8						31.0	17.3											31.23
Pb				5.7		7.3	8.5						7.7	20.5											7.00
Zn				19		43	27						24	15											34.25
Ni				2.0		3.1	2.2						3.6	1.8											6.34
As				<5		<5	0.60						<5	0.60											
Cd				<1		<1	<1						<1	<1											
Sb				<1		<1	<1						<1	<1											
Bi				<1		<1	<1						<1	<1											
Ag				<1		<1	<1						<1	<1											
Au				0.9		1.6	2.2						1.8	2.6											1.46
Hg				0.11		0.09	0.09						0.06	0.09											0.07
Tl						0.10	0.10																		0.12
Se				<5		<5	<5						<5	<5											
La		10.60	16.49	58.90		16.60	57.30						22.60	18.90											30.72
Ce		20.49	33.11	111.30		26.90	107.50						26.00	37.70											52.63
Pr		2.06	3.44	11.54		3.25	11.00						3.85	4.00											5.71
Nd		7.20	12.46	39.00		11.80	38.00						11.50	13.50											19.13
Sm		1.34	2.32	5.50		2.00	5.40						1.60	2.50											2.93
Eu		0.59	0.50	0.85		0.45	1.01						0.60	0.38											0.72
Gd		1.17	2.07	3.22		1.35	3.41						1.36	1.62											1.97
Tb		0.19	0.35	0.52		0.17	0.57						0.19	0.28											0.30
Dy		1.31	2.01	3.01		1.00	3.13						0.68	1.60											1.58
Ho		0.33	0.49	0.52		0.16	0.57						0.11	0.29											0.30
Er		1.00	1.27	1.36		0.49	1.62						0.44	0.94											0.90
Tm		0.16	0.22	0.17		0.07	0.25						0.07	0.15											0.14
Yb		1.28	1.51	1.14		0.42	1.45						0.30	1.10											0.83
Lu		0.21	0.27	0.19		0.07	0.22						0.07	0.18											0.14
<b>ETRL</b>	<b>41.69</b>	<b>67.82</b>	<b>226.24</b>	<b>60.55</b>	<b>219.20</b>	<b>65.55</b>	<b>219.20</b>						<b>65.55</b>	<b>76.60</b>											<b>111.11</b>
(La/Yb) <sub>n</sub>		5.61	7.36	34.87		26.68	26.67						50.85	11.60											37.42
(La/Sm) <sub>n</sub>		4.97	4.																						



**Figura 3.30:** (a) Diagramas A x B (Debon *et al.* 1988); (b) Q x P (Debon *et al.* 1988) (c) Diagrama K-Na-Ca com *trend* cálcico-alcalino (CA) de Nockolds & Allen (1953) e campo Tdh segundo Barker & Arth (1976).



**Figura 3.31:** (a) Diagrama R1 x R2 (La Roche *et al.* 1980) para os Leucogranitos potássicos da Folha Marajoara; b) Diagrama Ab-Or-An normativos (O'Connor 1965, com campos de Barker 1979 (para os Leucogranitos potássicos da Folha Marajoara.

### - Elementos Terras Raras

Em todas as amostras selecionadas para análise química nesta fase de execução do projeto foram analisadas elementos terras raras. Os dados analíticos foram normalizados pelos valores condriticos de Evensen *et al.* (1978) e empregados na definição dos padrões de ETR (Figura 3.32a).

Os padrões de elementos terras raras mostram enriquecimento acentuado dos terras raras leves (ETRL) em relação aos terras raras pesados (ETRP), indicando que houve acentuado a moderado fracionamento dos ETRP, conforme revelam as razões  $(La/Yb)_n$ , (Tabela 3.13). Estas variam de 210,76 a 7,34 mostrando que o fracionamento de fases enriquecidas em ETRP foi bastante diversificado de uma amostra para outra e que o conjunto de amostras analisadas apresenta

algumas diferenças, embora o padrão geral seja mantido. As razões  $(La/Sm)_n$  e  $(Dy/Yb)_n$  variam de 4,33 a 10,73 e de 0,67 a 2,78, respectivamente, mostrando que o fracionamento interno dos terras raras leves e pesados não foi muito acentuado, sendo mais expressivo nos ETRL.

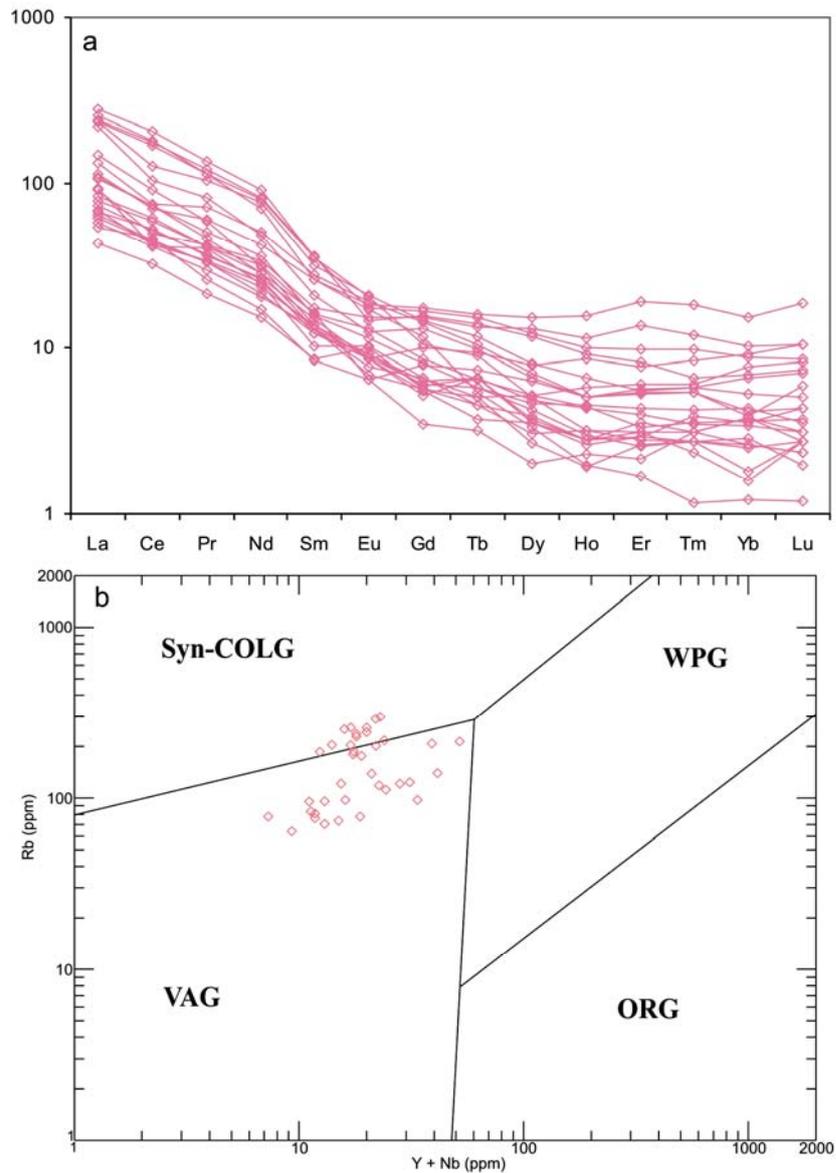
A presença constante de baixas anomalias negativas de Eu, com razões  $(Eu/Eu^*)$  em torno de 1, é outra feição notável das amostras analisadas. Ela revela uma participação pouca efetiva de plagioclásio + feldspato potássico no fracionamento. Isso difere notavelmente de outros leucogranitos potássicos arqueanos da região de Rio Maria, cujo o fracionamento destas fases foi muito efetivo.

O acentuado empobrecimento dos ETRP pode ter sido causado por fracionamento de granada, anfibólio, zircão e piroxênios, fases minerais que concentram notavelmente os ETRP. Pode-se, portanto, admitir, preliminarmente, que uma ou mais destas fases foram retidas no resíduo de fusão, pois o seu fracionamento durante a evolução magmática parece muito improvável. Dentre elas, o fracionamento de granada e/ou anfibólitos parece bem mais provável que o de piroxênios, tendo em vista que os primeiros concentram Y, elemento cujos teores são muito baixos nos leucogranitos potássicos. Quanto ao zircão, os teores moderados deste elemento nos leucogranitos fortalecem a hipótese de um fracionamento expressivo deste mineral.

#### ***Caracterização da Série Geoquímica***

Embora a utilização isolada dos diagramas de Pearce *et al.* (1984) não permita definir o ambiente tectônico de colocação de rochas granitóides, pois sabe-se que há granitóides geoquimicamente similares, formados em ambientes tectônicos distintos (Sylvester 1989), os mesmos podem auxiliar na caracterização geoquímica das rochas estudadas, permitindo a eliminação de determinadas hipóteses. As amostras dos leucogranitos potássicos da Folha Marajoara Granito situam-se no limite dos campos dos granitos sin-colisionais e de arcos vulcânicos de Pearce *et al.* (1984) (Figura 3.32b).

As características geoquímicas dessas rochas sugerem, em princípio, maiores analogias com os granitos cálcico-alcálicos, similares aos de ambientes sin-colisionais e de arcos vulcânicos fanerozóicos. Porém, os dados apresentados não são totalmente conclusivos, pois a convergência geoquímica, típica de leucogranitos ricos em sílica (Chappell & White 1992), dificulta a identificação da série geoquímica a que pertencem os granitos estudados.



**Figura 3.32:** (a) Padrões de distribuição dos Elementos Terras Raras para os Leucogranitos Potássicos da Folha Marajoara; (b) Diagrama discriminante de ambiente tectônico, (Y + Nb) x Rb (Pearce *et al.* 1984).

### 3.4.6 Granitos Anorogênicos Paleoproterozóicos

As 42 análises químicas aqui discutidas foram obtidas através da compilação dos trabalhos de Gastal (1987) (35 amostras) e Almeida (2005) (7 amostras). As análises químicas envolveram a determinação dos elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ), menores ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{MnO}$ ) e traços (Ba, Rb, Zr, Nb, Y, Ga, Sc, Th, U e V) incluindo terras raras (Tabela 3.14). As análises foram realizadas por ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.

**Tabela 3.14:** Análises químicas para rochas dos granitos anorogênicos da Folha Marajoara.

<b>Amostra</b>	<b>C-29B</b>	<b>C-106B</b>	<b>C-141G</b>	<b>K-85A</b>	<b>C-39</b>	<b>K-68</b>	<b>K-81</b>	<b>C-141F</b>	<b>K-144B</b>	<b>ADR-218</b>	<b>ADR-67</b>	<b>C-58B</b>	<b>K-32</b>	<b>K-72</b>	<b>C-109</b>	<b>K-51</b>	<b>C-57A</b>	<b>K-113</b>	<b>C-103</b>	<b>C-30A</b>
SiO <sub>2</sub>	66.1	66.3	66.5	66.8	67.1	67.4	67.8	68.3	68.9	69.71	70.39	71	71	71	71.3	71.4	71.5	71.8	72.2	72.3
TiO <sub>2</sub>	1.12	1.29	1.31	1.11	1.15	0.84	0.78	0.96	0.64	0.85	0.56	0.51	0.52	0.56	0.59	0.52	0.39	0.53	0.34	0.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	12.3	13.3	12.6	12.4	13	13.3	13.9	12.8	12.07	13.09	12.5	13.1	12.5	13	13.2	13.1	13.1	13.5	12.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.78	3.46	3.79	3.85	2.76	3.08	2.49	1.34	2.23	3.68	2.71	1.59	1.93	1.96	2.49	1.73	1.06	1.8	1.06	1.02
FeO	2.95	4.1	3.96	2.74	4.25	2.3	2.49	4.32	2.02	2.1	1	1.51	1.44	1.37	1.44	1.58	1.58	1.51	1.15	1.04
MnO	0.12	0.11	0.12	0.1	0.15	0.09	0.09	0.12	0.08	0.1	0.06	0.07	0.05	0.05	0.08	0.07	0.08	0.06	0.06	0.04
MgO	1.26	1.16	1.18	0.92	1.23	0.86	0.83	1.19	0.79	0.72	0.46	0.47	0.47	0.49	0.56	0.51	0.42	0.45	0.33	0.34
CaO	3.19	3.73	3.7	2.93	2.77	2.44	2.59	2.84	2.18	2.4	2.01	1.63	2	2	1.92	1.87	1.29	1.77	1.32	1.59
Na <sub>2</sub> O	3.91	3.25	3.44	3.72	3.53	3.69	3.57	3.34	3.72	3.34	3.38	3.16	3.6	3.53	3.61	3.77	3.37	3.47	3.6	3.42
K <sub>2</sub> O	3.83	3.1	3.25	3.95	2.91	3.39	3.97	2.13	3.65	3.21	4.14	4.55	5.14	4.91	4.67	4.53	4.36	4.86	4.55	5.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.4	0.43	0.44	0.35	0.45	0.26	0.29	0.44	0.25	0.22	0.16	0.15	0.16	0.18	0.18	0.17	0.12	0.16	0.1	0.11
PF							0.34		0.28			0.15	0.32	0.34		0.56	0.78	0.4		0.14
<b>Total</b>	<b>99.66</b>	<b>99.23</b>	<b>100.99</b>	<b>99.07</b>	<b>98.7</b>	<b>97.35</b>	<b>98.54</b>	<b>98.88</b>	<b>97.54</b>	<b>98.4</b>	<b>97.96</b>	<b>97.14</b>	<b>99.73</b>	<b>98.89</b>	<b>99.84</b>	<b>99.91</b>	<b>98.05</b>	<b>99.91</b>	<b>98.21</b>	<b>97.73</b>
Ba	790	1270	1260	1010	1240	1330	1330		1090		1373.4	950	1040	1010	1120	1260	780	850	940	1040
Rb	203	84	82	142	135	127	168	92	198		150.3	192	205	186	212	178	239	263	253	219
Sr	192	301	282	236	282	270	272	304	248		211.2	189	108	189	205	187	142	161	162	188
Y	94	51	50	105	50	50	66	51	65		55	51	44	76	45	45	54	56	66	21
Zr	313	360	340	356	352	399	354	355	299		394.7	238	230	318	301	232	252	251	246	130
Nb	28	18	14	19	18	19	22	17	16		21.9	19	18	17	21	18	24	17	24	14
Th											18.9									
Ga											20.3									
V											21									
Hf																				
La											88.9									
Ce											185.3									
Pr											19.71									
Nd											70.4									
Sm											12.2									
Eu											2.32									
Gd											10.26									
Tb											1.58									
Dy											9.08									
Ho											1.82									
Er											5.42									
Tm											0.83									
Yb											4.84									
Lu											0.74									
ΣETRL											376.51									
(La/Yb) <sub>n</sub>											12.40									
(La/Sm) <sub>n</sub>											4.59									
(Dy/Yb) <sub>n</sub>											1.22									
Eu/Eu*											0.63									
Rb/Sr	1.06	0.28	0.29	0.60	0.48	0.47	0.62	0.30	0.80		0.71	1.02	1.90	0.98	1.03	0.95	1.68	1.63	1.56	1.16
Sr/Ba	0.24	0.24	0.22	0.23	0.23	0.20	0.20		0.23		0.15	0.20	0.10	0.19	0.18	0.15	0.18	0.19	0.17	0.18
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.98	0.95	0.94	1.06	0.82	0.92	1.11	0.64	0.98	0.96	1.22	1.44	1.43	1.39	1.29	1.20	1.29	1.40	1.26	1.51
#Mg	0.39	0.40	0.38	0.32	0.47	0.35	0.39	0.63	0.41	0.19	0.19	0.37	0.32	0.33	0.31	0.37	0.44	0.33	0.38	0.39

Conclusão

ADR-241	C-23	C-37A	K-128	K-152	ADR-100A	K-129	K-88	C-140E	K-63	C-28B	ADR-79A	KY-94A	C-37B	C-24	KY-94B	KY-114	ADR-45B	K-154	K-13B	C-142B	ADR-130A	Média	
72.36	73.1	73.3	73.5	73.7	73.75	73.8	74	74.1	74.4	74.4	74.74	74.93	75.1	75.3	75.36	75.53	75.7	75.9	76	76.1	76.61	72.15	
0.42	0.34	0.44	0.18	0.26	0.26	0.27	0.3	0.12	0.25	0.32	0.1	0.25	0.25	0.16	0.12	0.22	0.33	0.07	0.09	0.06	0.08	0.47	
12.75	13.3	12.8	13.8	12.5	12.54	12.7	13.1	12.6	12.4	12.6	12.37	12.75	12.9	12.5	12.44	12.47	11.11	12.2	12.5	13	12.01	12.75	
2.09	0.81	1.54	0.33	0.78	1.24	0.76	0.5	0.19	0.65	1.12	1.41	0.72	0.99	0.38	0.68	0.58	1.9			0.23	1.07	1.64	
0.95	1.19	1.3	0.43	0.83	0.76	0.86	0.72	0.58	0.65	1.79		0.95	0.79	0.5	0.6	1.11	0.64			0.5	0.1	1.54	
0.05	0.05	0.07	0.02	0.05	0.04	0.04	0.03	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.04	0.03		0.01	0.01	0.03	0.06	
0.35	0.31	0.38	0.09	0.22	0.2	0.2	0.22	0.04	0.12	0.19	0.04	0.15	0.13	0.06	0.05	0.15	0.25	0.01	0.04	0.01	0.03	0.43	
1.66	1.5	1.64	1.13	1.17	1.07	1.4	1.43	0.7	1.01	0.89	0.68	0.9	0.99	0.66	0.64	0.87	0.85	0.62	0.61	0.48	0.46	1.61	
3.2	3.88	3.66	3.61	3.74	3.25	3.5	3.65	3.57	3.95	3.4	3.61	3.31	3.56	3.51	3.38	3.28	2.6	3.28	3.05	4.29	3.32	3.50	
4.56	4.47	4.88	5.26	4.65	5.01	5.39	4.81	5.14	5.15	5.11	4.62	4.92	5.31	5.05	5.03	4.87	4.61	4.55	4.98	4.9	4.5	4.48	
0.11	0.1	0.11	0.06	0.07	0.06	0.07	0.07	0.02	0.03	0.07	0.02	0.06	0.01	0.04	0.03	0.05	0.06	0.01		0.01	0.1	0.15	
	0.62	0.16	0.34	0.34		0.56	0.62	0.5	0.44	0.5		0.6	0.44	0.54	0.46	0.26		0.98	0.42	0.18		0.43	
<b>98.5</b>	<b>99.67</b>	<b>100.28</b>	<b>98.75</b>	<b>98.31</b>	<b>98.18</b>	<b>99.55</b>	<b>99.45</b>	<b>97.57</b>	<b>99.09</b>	<b>100.42</b>	<b>97.62</b>	<b>99.57</b>	<b>100.51</b>	<b>98.72</b>	<b>98.81</b>	<b>99.43</b>	<b>98.08</b>	<b>97.62</b>	<b>97.7</b>	<b>99.77</b>	<b>98.31</b>	<b>98.85</b>	
988.2	1290		1420	700	689.3	870	1490	290	430	550	96.3		240	400		641.2	110	84	50			857.78	
168.4	195		213	281	260.5	223	189	282	253	271	435.3	381	206	287	382	376	183.5	203	270	310		223.03	
166.6	203		205	123	107.7	148	201	54	78	107	14.2	78	71	64	26	62	117.2	53	46	11		155.51	
57.5	28		9	33	55	26	27	10	34	36	98.2	53	27	32	50	57	27.5	5	21	6		45.83	
317.6	210		96	139	213.9	138	115	90	139	150	206.4	212	134	135	180	195	276.4	101	86	119		230.10	
21.3	16		10	17	22.9	13	15	13	19	14	33.5	23	19	19	16	24	10.1	6	13	8		17.89	
22.5					34.3						81.8						41.2					39.74	
19.4					19.8						24						18.6					20.42	
11					8						5						6					10.20	
																							0.00
99.7		71			84.5						36.6						197					96.28	
210.2		249			180.1						92.6						409.8					221.17	
21.2		15.2			17.87						10.62						35.81					20.07	
75.5		80			58.4						38.2						103.9					71.07	
13.2		19.9			10.3						9.4						11.8					12.80	
1.8		2.1			1.21						0.23						1.29					1.49	
10.17					8.32						9.83						6.7					9.06	
1.71					1.34						2						0.92					1.51	
9.45					8.34						13.52						4.51					8.98	
2					1.74						3.09						0.91					1.91	
5.57					5.4						10.39						2.62					5.88	
0.8					0.9						1.66						0.4					0.92	
4.54					5.51						11.16						2.53					5.72	
0.69					0.85						1.65						0.44					0.87	
419.80		435.10			351.17						187.42						758.31					421.39	
14.82		2.25			10.35						2.21						52.56					15.76	
4.76					5.17						2.45						10.51					5.49	
1.35					0.98						0.79						1.16					1.10	
0.47					0.40						0.07						0.44					0.41	
1.01	0.96		1.04	2.28	2.42	1.51	0.94	5.22	3.24	2.53	30.65	4.88	2.90	4.48	14.69	6.06	1.57	3.83	5.87	28.18		3.64	
0.17	0.16		0.14	0.18	0.16	0.17	0.13	0.19	0.18	0.19	0.15	0.17	0.30	0.16			0.18	0.48	0.55	0.22		0.21	
1.43	1.15	1.33	1.46	1.24	1.54	1.54	1.32	1.44	1.30	1.50	1.28	1.49	1.49	1.44	1.49	1.48	1.77	1.39	1.63	1.14	1.36	1.29	
0.18	0.43	0.33	0.35	0.36	0.16	0.34	0.46	0.29	0.27	0.25	0.05	0.29	0.20	0.24	0.13	0.34	0.16			0.08	0.05	0.31	

## - Elementos Maiores

O conteúdo de  $\text{SiO}_2$  das diferentes fácies dos granitos anorogênicos paleoproterozóicos da Folha Marajoara mostra valores entre 66,1 e 76,6% com valor médio de 72,6%. Esses teores permitem individualizar claramente três grupos (Tabela 7.4): (1) Rochas relativamente pobres em sílica (66,1% a 69,71) representadas pelos granitos portadores de anfibólio+biotita±clinopiroxênio (PP3Yba e PP3Ymua); (2) rochas com valores intermediários de  $\text{SiO}_2$ , variando de 70,39 a 73,8%, englobando os granitos portadores de biotita±anfibólio (PP3Ybb e PP3Ymub); (3) rochas relativamente ricas em sílica, com teores médios acima de 74% correspondente aos leucogranitos (PP3γbl e PP3γmul).

Com o aumento de  $\text{SiO}_2$ , no sentido do grupo 1 ao 3, os teores de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  tendem a diminuir. Isso é coerente com as observações petrográficas, as quais mostram que as razões plagioclásio/microclina e anfibólio/biotita, juntamente com os conteúdos modais de minerais ferromagnesianos, exibem valores decrescentes nesse mesmo sentido. Os teores de  $\text{K}_2\text{O}$  são relativamente altos, com médias de 4,48%, sendo baixos nos granitos portadores de anfibólio+biotita±clinopiroxênio, moderado nos granitos portadores de biotita±anfibólio (PP3Ybb e PP3Ymub), aumentando abruptamente destes últimos para os leucogranitos. Os teores de  $\text{Na}_2\text{O}$  oscilam entre 2,6 e 4,29%, com valor médio de 3,5%.

As razões  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  situam-se em geral entre 1 e 2, com valor médio de 1,29 caracterizando as diversas fácies como relativamente enriquecidas em  $\text{K}_2\text{O}$  (Figura 3.33a). Em todos estes granitos, as razões  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  tendem a aumentar com a diferenciação magmática, sendo que as variedades mais evoluídas (leucogranitos), se aproximam de 2. Razões  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  elevadas são típicas dos granitos rapakivíticos proterozóicos e muito comuns naqueles da Amazônia (Dall'Agnol *et al.* 1999b, Rämö & Haapala 1995).

O comportamento do  $\text{Al}_2\text{O}_3$  é similar ao do  $\text{Na}_2\text{O}$ , com teores oscilando entre 11 e 13%, mantendo-se a média ao redor de 12,75% (Tabela 3.14).

Verifica-se uma correspondência direta entre os teores de  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e os conteúdos das fases feldspáticas presentes nas fácies dos granitos anorogênicos da Folha Marajoara. Conforme o capítulo de petrografia, os granitos portadores de anfibólio+biotita±clinopiroxênio, são caracterizados por apresentar uma razão média  $\text{Mc}/\text{Pl}$  ligeiramente inferior à dos portadores de biotita±anfibólio e muito distinta daquelas das rochas pertencentes ao grupo 3. Isso é coerente com o aumento progressivo das razões  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  no sentido granitos portadores de anfibólio+biotita±clinopiroxênio → granitos portadores de biotita±anfibólio → grupo 3. Portanto fica clara a consistência entre dados modais e químicos.

Observa-se uma tendência geral ao aumento dos valores de  $\text{SiO}_2$  dos granitos portadores de anfibólio + biotita ± clinopiroxênio para os leucogranitos. Os valores mais elevados de  $\text{SiO}_2$  estão relacionados às amostras mais leucocráticas e com maiores percentagens de quartzo, representadas pelos leucogranitos. Os conteúdos de  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  são relativamente altos na fácies menos evoluída, decrescendo acentuadamente e regularmente no sentido dos leucogranitos.

Levando em consideração as superposições existentes entre os leucogranitos, nota-se em linhas gerais que o sentido da evolução dos corpos anorogênicos segue o sentido: granitos portadores de anfibólio+biotita±clinopiroxênio (grupo1)→ portadores de biotita±anfibólio (grupo 2)→ leucogranitos (Grupo 3).

O caráter metaluminoso a peraluminoso dos granitos anorogênicos (Bannach, Musa e marajoara) da Suíte Jamon presentes na Folha Marajoara, é atestado através do diagrama  $Fe+Mg+Ti$  versus  $Al-(K+Na+2Ca)$  ou A x B (Figura 3.33b) de Debon & Le Fort (1988). Ele mostra, ainda, que com a diminuição de constituintes máficos as rochas passam de metaluminosas a peraluminosas. No diagrama  $Si/3-(K+Na+2Ca/3)$  versus  $K-(Na+Ca)$  ou P x Q (Figura 3.33c) de Debon & Le Fort (1988), verifica-se que as diversas fácies do Granito Bannach seguem um *trend* subalcalino potássico, com as amostras menos evoluídas.

O diagrama R1-R2 (La Roche *et al.* 1980) mostra que as diversas fácies dos granitos anorogênicos (Figura 3.34a) incidem no campo dos monzogranitos com exceção de algumas rochas portadores de anfibólio+biotita±clinopiroxênio que caem no domínio dos granodioritos em função do seu alto teor de minerais ferromagnesianos. As amostras dos Granitos anorogênicos estudados tendem a acompanhar o *trend* subalcalino potássico (SUALK), fugindo totalmente do *trend* calcico-alcalino (CAA). Este comportamento é similar aos dos demais granitos anorogênicos, proterozóicos, tipo A, da Província Amazônia Central (Dall'Agnol *et al.* 1994). Os diagramas  $CaO/(FeOt+MgO+TiO_2)$  vs  $CaO+Al_2O_3$  (Figura 3.34b) e  $FeOt/(FeOt+MgO)$  vs  $Al_2O_3$  (Figura 3.34c), mostram que os granitos anorogênicos da Suíte Jamon fogem totalmente do campo dos granitos calcico-alcalinos.

O diagrama An-Ab-Or (Figura 3.35) mostra que a diferenciação magmática é comandada pela variação do conteúdo de An e da razão Ab/Or, com ambas decrescendo paralelamente, fazendo com que as amostras das rochas mais evoluídas, aproximem-se do segmento Ab-Or, migrando, ao mesmo tempo, em direção ao vértice do Or.

#### **- Elementos-traço**

De modo geral, Ba, Sr e Zr diminuem no sentido do aumento de  $SiO_2$ . As rochas portadores de anfibólio+biotita±clinopiroxênio apresentam teores de Ba e Sr mais elevados, decrescendo no sentido rochas portadores de biotita±anfibólio→leucogranitos.

O Rb mostra correlação positiva com  $SiO_2$ , enquanto que o Y mantém seus valores praticamente constantes nas diversas fácies. O conteúdo de Nb é moderado nas rochas portadores de anfibólio+biotita±clinopiroxênio, permanecendo constante nas demais fácies.

Apesar de existir algumas superposições entre as diversas fácies, a variação dos principais elementos-traço, partindo das mais ricas em máficos para os leucogranitos, confirma as sugestões anteriores quanto ao sentido geral da diferenciação magmática que comandou a evolução das diversas fácies dos corpos anorogênicos.

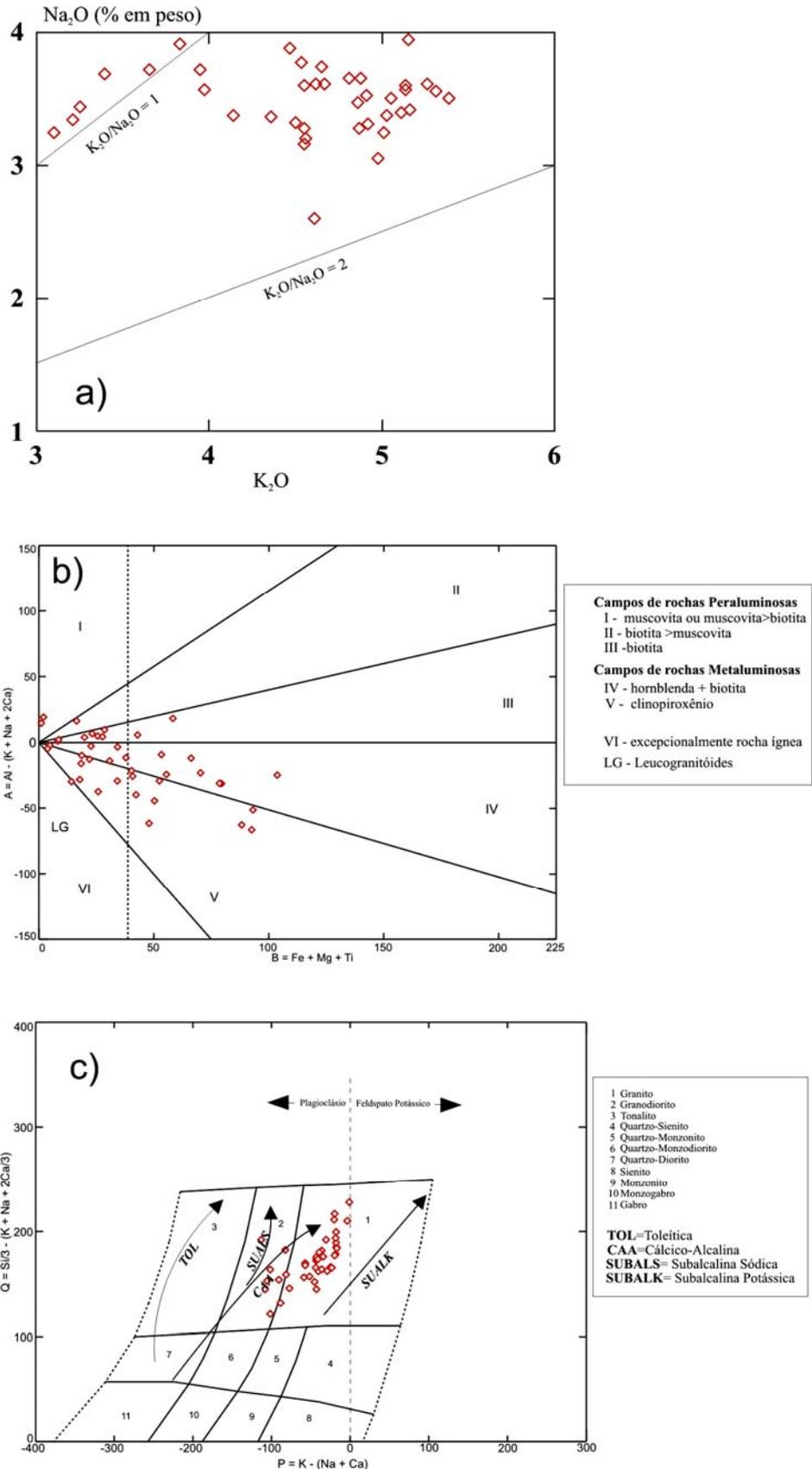
#### **- Elementos terras raras**

Dentre as 42 amostras selecionadas para estudo geoquímico, 5 tiveram seus elementos terras raras (ETR) analisados, sendo suas concentrações e razões apresentadas na tabela 3.14. Os dados analíticos foram normalizados pelos valores condriticos de Evensen *et al.* (1978) e empregados na

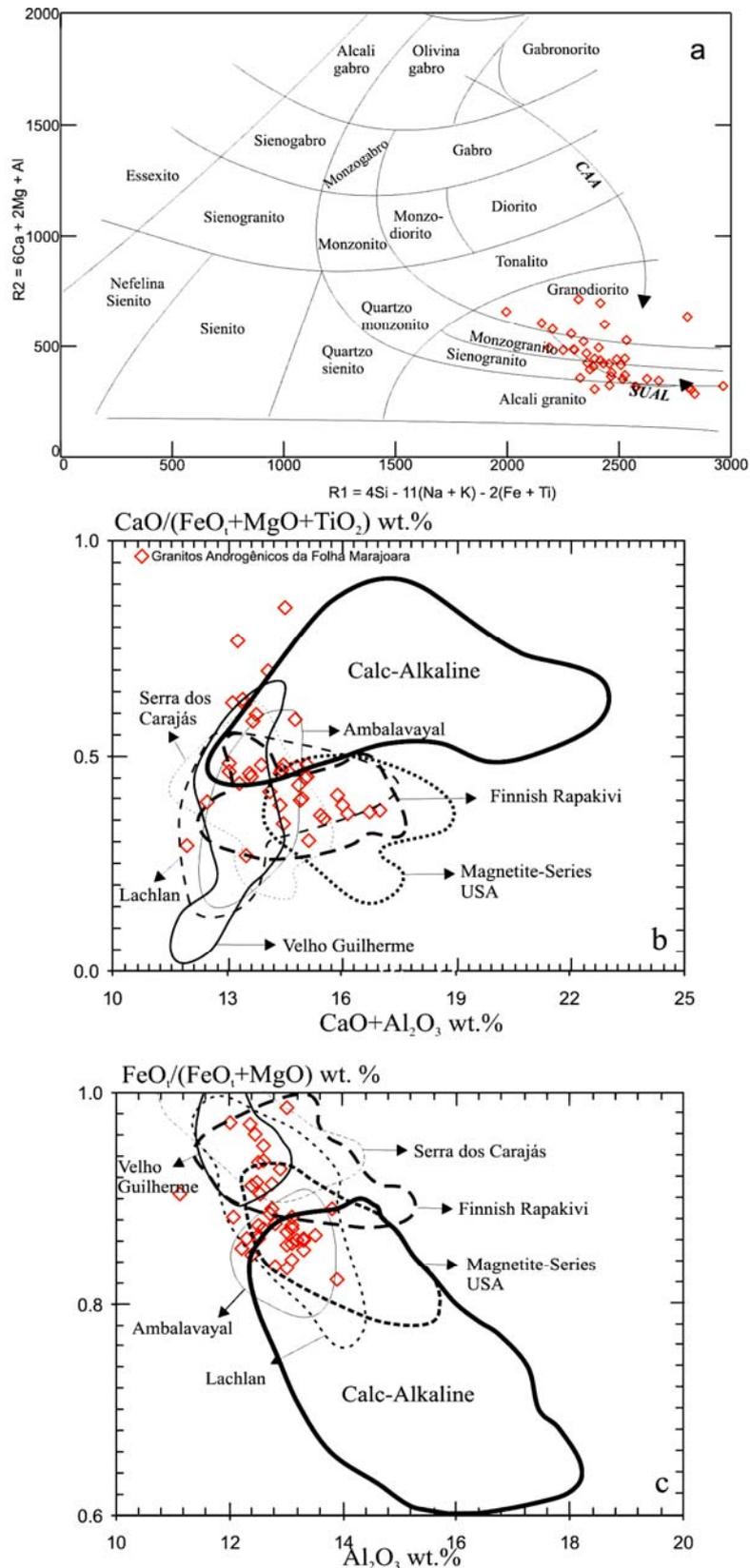
definição dos padrões de ETR (Figura 3.35b). Dentre as características principais dos padrões dos elementos terras raras podemos destacar o enriquecimento em elementos terra raras leves, o empobrecimento discreto em terra raras pesados e a presença de uma anomalia negativa de európio, que cresce dos granitos portadores de anfibólio+biotita±clinopiroxênio → granitos portadores de biotita±anfibólio→ leucogranitos.

#### ***Elementos-traço versus ambiente tectônico***

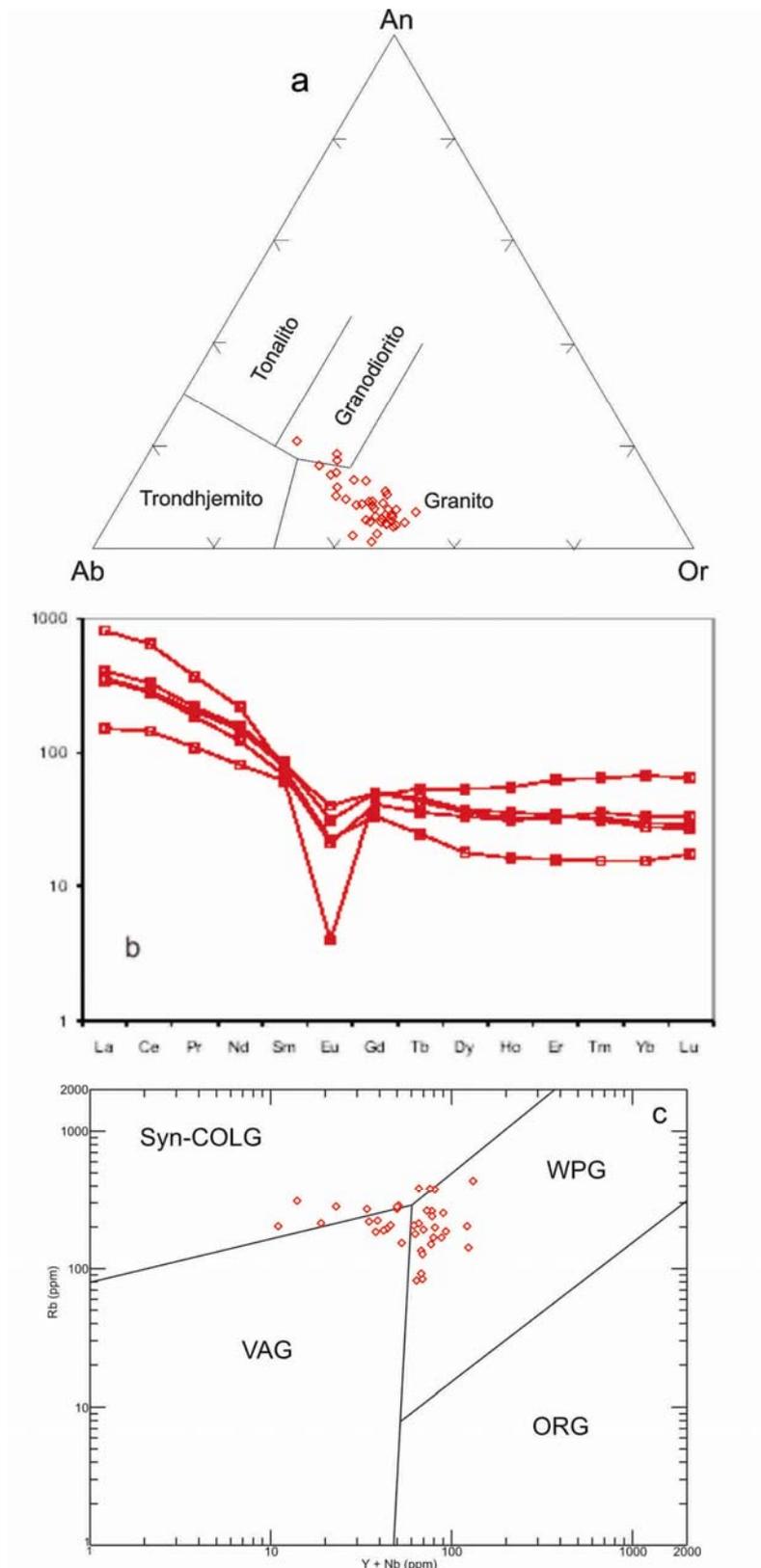
No diagrama Rb versus Nb+Y, proposto por Pearce *et al.* (1984) para caracterização de ambientes tectônicos de granitos fanerozóicos (Figura 3.35c), os granitos da Suíte Jamon situam-se no campo dos granitos intraplaca, com exceção de algumas amostras mais evoluídas, sobretudo dos maciços Musa e, subordinadamente Jamon, devido ao fracionamento de Y e Nb durante a diferenciação magmática (Dall'Agnol *et al.* 1999a).



**Figura 3.33:** Diagramas para os Granitos Anorogênicos da Folha Marajoara: (a) Diagrama  $\text{Na}_2\text{O}$  versus  $\text{K}_2\text{O}$  (% em peso); (b) Diagrama A x B (Debon *et al.* 1988); (c) Diagrama Q x P (Debon *et al.* 1988).



**Figura 3.34:** (a) Diagramas R1 e R2 (La Roche *et al.* 1980) confirmando a composição predominantemente monzogranítica dos Granitos Anorogênicos da Folha Marajoara; (b) Diagrama  $\text{CaO}/(\text{FeO}_t + \text{MgO} + \text{TiO}_2)$  vs  $\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$  (Dall'Agnol & Oliveira 2006) mostrando a não afinidade dos granitos anorogênicos da Suíte Jamon com os granitos cálcio alcalinos.



**Figura 3.35:** (a) Diagrama normativo Ab-An-Or para as rochas dos granitos anorogênicos da Folha Marajoara; (b) Padrões de distribuição dos elementos terras raras normalizados pelo condrito (Evensen *et. al.* 1978) para as amostras dos granitos anorogênicos estudados; (c) Diagrama Rb x Y + Nb discriminante de ambiente tectônico de Pearce (1984).

## **4. RECURSOS MINERAIS DA FOLHA MARAJOARA**

---

### **4.1 Minerações**

A partir de dados obtidos por levantamento bibliográfico e pelos trabalhos de campo deste projeto, foram cadastrados na Folha Marajoara as seguintes ocorrências minerais: uma de wolfrâmio, uma de ametista, uma de cristal de rocha, uma de sulfetos (pirita) e uma de granito em antiga pedreira desativada.

#### **4.1.1 Wolfrâmio**

As mineralizações de wolframita, conhecidas na localidade de Pedra Preta (Figura 4.1a, b), constam de um depósito que se hospeda em veios de quartzo encaixados em rochas do Grupo Andorinhas e estão relacionados ao Granito Musa, de idade mesoproterozóica. Ocorrem num campo filoneano que corta, em profundidade, a cúpula da fácies heterogranular da intrusão granítica, encaixando-se em metabasaltos e metarenitos da porção dominante sedimentar do Grupo Andorinhas, seqüência Lagoa Seca. O sistema filoneano é composto por um conjunto paralelo de veios de quartzo, apresentando um controle estrutural segundo N80°W / 80°NE-SW. O minério é constituído pelos veios de quartzo e paredes das encaixantes recristalizadas, acompanhado de sulfetos, turmalina, muscovita, topázio e fluorita. A wolframita contém baixa relação manganês / ferro, o que permitiu classificá-la como ferberita, e a reserva total de minério bloqueada pelos trabalhos de pesquisa da DOCEGEO foi de 508.300 t com teor médio de 1,01% WO<sub>3</sub> (Cordeiro *et al.*, 1988).

Segundo Rios (1995), quatro eventos hidrotermais estão relacionados à formação de veios. O primeiro, de origem metamórfica (precoce); o segundo, associado à colocação do plúton; o terceiro, associado à abertura tectônica das juntas, e, finalmente, o processo de oxidação do sistema, implicando na precipitação de wolframita e hematita.

No trabalho de campo realizado em março de 2006, foi visitada uma cava da antiga mina de Pedra Preta (592273E/9163972N), atualmente em fase de reavaliação por sondagem rotativa, sob responsabilidade de uma empresa denominada INFOGEO, de Belo Horizonte, prestadora de serviços para o proprietário da área. No local, ocorrem veios de quartzo leitoso encaixados em rochas meta-básicas (?), extremamente intemperizadas, pertencentes à Seqüência Lagoa Seca. A estruturação principal é em torno de 120°, com mergulho de 40° SW. A wolframita ocorre em agregados associados aos veios de quartzo, com sericitização associada a fraturas finas cortando a rocha metabásica. O intenso fraturamento do pacote é decorrente de um estilo tectônico rúptil. A cava principal, hoje preenchida com água, tem aproximadamente 100 metros de extensão por 8 metros de largura.



**Figura 4.1:** (a) Aspecto da ocorrência de wolframita em cava do garimpo pedra preta; (b) Campo de sondagem no garimpo pedra preta.

#### 4.1.2 Ametista

A ocorrência de ametista visitada está localizada na Fazenda Ametista (597621E/9138428N) (Figura 4.2a, b). O jazimento, de morfologia filoneana, ocorre encaixado em um saprólito muito argilizado, de cor arroxeada/alaranjada (granitóide tipo Mata Surrão milonitizado?). O local visitado apresenta pequenas cavas de um antigo garimpo (“frizo”), atualmente preenchidas por água, sendo que a cava principal (30 x 20m, com 8m de profundidade) tem uma direção aproximada E-W. Em um dos barrancos, observam-se pequenas vênulas centimétricas sub-verticalizadas, muito fraturadas, com direção aproximada N-S, preenchidas por quartzo leitoso e algumas ocorrências de ametista de má qualidade.

Segundo informações do Sr. Irton, proprietário da fazenda, os filões foram trabalhados por “chupadeira” (bico jato) nos últimos cinco anos, com uma produção estimada em 500 kg de material retirado. Amostras coletadas no rejeito do garimpo são de pequenas drusas com ametista e calcedônia, e de uma rocha extremamente hidrotermalizada (hidrotermalito), constituída de epidoto (90%) e um feldspato de cor vermelha escura (adularia?). Sericitização também está presente localmente nas rochas hidrotermalizadas.

#### 4.1.3 Cristal de rocha

A ocorrência visitada está localizada na Fazenda de propriedade do Sr. Ramiro, e está encaixada regionalmente no granito “tipo” Mata Surrão. A mineralização ocorre na forma de “bolsões” de cristal de rocha que atapetam a cúpula de pequenos morrotes (562524E/9145069N) com muito quartzo leitoso fraturado. Aparentemente a morfologia é filoneana, mas não há indícios de estruturas preenchidas no local visitado.

#### 4.1.4 Sulfetos

A ocorrência localiza-se na estrada da Fazenda Juliana, em blocos muito endurecidos de uma rocha escura, metabásica, provavelmente pertencente à Seqüência Lagoa Seca. São ocorrências de pirita preenchendo fraturas finas (1 a 2mm), ou então disseminada na rocha metabásica, quando então

forma grãos maiores. Os blocos ocorrem soltos na estrada, em meio a um solo argiloso, vermelho escuro.

#### 4.1.5 Granito

A ocorrência visitada localiza-se em uma pedreira abandonada no Granito Marajoara, no extremo leste da Folha Marajoara. A fácies principal do granito é um monzogranito cinza de granulação grossa a média, que seguidamente apresenta-se cortado por vênulas de 1 cm de largura, de direção aproximada N-S, preenchidas por quartzo leitoso e epidotos. Localmente, as fraturas são preenchidas por pirita e/ou calcopirita, ou então por biotita ( $\pm$  sericita) e pirita. A pedreira certamente foi explotada para pedra ornamental, mas não se tem informações sobre sua produção.

#### 4.1.6 Molibdenita

A ocorrência visitada está localizada no extremo leste da Folha Marajoara, na mesma pedreira do Granito Marajoara, estando a Molibdenita associada a este granitóide. Ocorrem preenchendo microfraturamentos no granito.



**Figura 4.2:** (a, b) Aspectos de ametistas do garimpo da Fazenda Ametista.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

O levantamento geológico executado na Folha Marajoara, escala 1:100.000, representa uma expressiva colaboração para o aumento do conhecimento geológico-metalogenético desta área. Este incremento no conhecimento foi proporcionado pelo caráter multidisciplinar dos estudos efetuados, integrando os dados geológicos já existentes (Folha Xinguara, escala 1:150.000, e diversos trabalhos científicos efetuados por pesquisadores da UFPA) com novas interpretações aerogeofísicas, trabalhos de campo e análises químicas, petrográficas e geocronológicas.

O trabalho realizado é importante colaboração principalmente no que diz respeito a distribuição areal das unidades, modificada em algumas regiões da Folha Marajoara, em relação aquela mostrada na Folha Xinguara. Isso mostra os resultados proporcionados pela mudança na escala de trabalho, uma vez que inicialmente temos a base 1:250.000 (Folha Xinguara) para realizarmos um trabalho em uma escala de detalhe maior, 1:100.000 (Folha Marajoara).

A Folha Marajoara está inserida no contexto do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, o qual está localizado na borda sudeste do Cráton Amazônico. A área da Folha Marajoara é cortada pelo cinturão de cisalhamento Pau D'Arco. Todas as unidades que compõem a geologia da Folha Marajoara pertencem ao Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria sendo predominantemente de idade arqueana e subordinadamente paleoproterozóica. As unidades arqueanas são representadas pelos *Greenstone-belts* do Supergrupo Andorinhas, Tonalito Arco Verde, Granodiorito Rio Maria e Leucogranitos tipo Mata Surrão. Os granitos Anorogênicos Musa, Marajoara e Bannach, apresentam idades paleoproterozóicas, e são as rochas mais novas da Folha Marajoara.

O cinturão de cisalhamento Pau D'Arco, produto de uma tectônica transcorrente de idade arqueana, ocorre no centro-leste da área. Afeta rochas do Tonalito Arco Verde, Granodiorito Rio Maria e Leucogranito tipo Mata Surrão. Entende-se como evolução do cinturão, o período entre a colocação do Tonalito Arco Verde (~ 2,98 Ga) e do Granodiorito Rio Maria e Leucogranitos arqueanos (~ 2,87 Ga).

As mineralizações de wolframita, conhecidas na localidade de Pedra Preta, constam de um depósito e uma ocorrência, que se hospedam em veios de quartzo encaixados em rochas do Grupo Andorinhas (seqüência metavulcano-sedimentar) e estão relacionados ao Granito paleoproterozóico Musa, pertencente a Suíte Jamon. A wolframita contém baixa relação manganês/ferro, que permite classificá-la como ferberita.

No extremo oeste da área e nas proximidades da cidade de Pau D'Arco, foram registrados indícios de cristal de rocha. Além dessas ocorrências de cristal de rocha e wolframita, foi registrada a ocorrência de uma pedreira abandonada, antes explorada pela empresa BRILASA S. A., na área do Granito Marajoara.

Mesmo com o avanço no conhecimento geológico-metalogenético, da região da Folha Marajoara, alcançado com a conclusão deste trabalho, é clara a necessidade da utilização de estudos e ferramentas adicionais para uma caracterização mais detalhada ainda, dos aspectos importantes da área. Portanto, recomenda-se:

- Trabalhos de campo mais detalhados, na região de ocorrência dos Leucogranitos tipo Mata Surrão e Tonalito Arco Verde, buscando-se uma melhor definição da área de ocorrência de cada unidade;
- Utilização de estudos geocronológicos nas áreas em que não há boas exposições das relações entre rochas da série TTG com as demais unidades com as quais faz contato;
- Deve-se realizar uma busca mais criteriosa por indícios metalogenéticos, principalmente nas áreas de ocorrência de seqüências metavulcano-sedimentares e cristal de rocha, com incrementos a partir da utilização de ferramentas como geoquímica de solo e geoquímica de água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

ALMEIDA, J. A. C. **Geologia, petrografia e geoquímica do granito anorogênico bannach, terreno granito-greenstone de Rio Maria-Pará.** 2005. Dissertação (Mestrado em geologia e geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

ALMEIDA, F. F. M. **Origem e evolução da plataforma brasileira.** Rio de Janeiro: DNPM/DGM, 1967. 36 p. (Boletim, 241).

ALTHOFF, F. J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A. M. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the se amazonian craton: the archean granitoids of Marajoara-Carajás mineral province, Brazil. **Precambrian Research**, [S.l.], n. 104, p. 187-206, 2000.

ALTHOFF, F. J.; DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z. S. Região de Marajoara - SE do Pará: prolongamento dos terrenos arqueanos de Rio Maria ou retrabalhamento? In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., 1991, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1991. p. 130-141.

ALTHOFF, F. J. *et al.* Composição e estrutura dos granitóides arqueanos da região de Marajoara. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, [S.l.], n. 7, p. 5-26, 1995. (Série ciências da terra).

ALTHOFF, F. J. *et al.* La croissance du craton sud-amazonien région de Rio Maria, Brésil. In: RÉUNION DES SCIENCES DE LA TERRE, 1998, Brest. **Resumés...** Brest: Societé Géologique de France, 1998. p. 62.

ALTHOFF, F. J. *et al.* Plutonismo e deformação entre 3,0 e 2,8 Ga no cráton Amazônico os granitóides arqueanos de Marajoara-SE do PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., 1999, Manaus. **Anais...** Manaus: SBG, 1999. p. 547-550.

ALTHOFF, F. J. **Etude pétrologique et structurale des granitoïdes de Marajoara-Pará, Brésil:** leur rôle dans l'évolution archéenne du craton amazonien, 2,7-3,2 Ga. 1996. 296 f. Tese (Doutorado) - Université Henri Poincaré Nancy I – France, 1996.

ARAÚJO, O. J. B.; COSTA, J. B. S. Correlações entre as principais unidades rochosas da região sudeste do Pará na área do Programa Grande Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Balneário Camboriú. **Anais...** Balneário Camboriú: SBG, 1994. v. 2, p. 65-66.

ARAÚJO, O. J. B. *et al.* Primeira integração das investigações geológicas do programa grande Carajás na região SSE do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994. Belém. **Boletim de resumos expandidos...** Belém, SBG, p. 299-301.

AVELAR, V. G. *et al.* O magmatismo arqueano da região de Tucumã-província mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 454-460, 1999.

AVELAR, V. G. **Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão, do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia Oriental**. 1996. 199 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

BARBOSA, A. A. *et al.* Geocronologia Rb-Sr e Pb-Pb do granito Redenção, SE do Pará: implicações para a evolução do magmatismo proterozóico da região de Redenção. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, [S.l.], n. 7, p. 147-164, 1995. (Série ciências da terra).

BARBOSA, A. A. *et al.* O granito Redenção-sul do Pará: novos dados geocronológicos Pb-Pb e Rb-Sr. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994, Belém. **Boletim de resumos expandidos...** Belém: SBG, 1994. p. 302-306.

BARKER, F.; ARTH, J. G. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and archaean bimodal trondhjemitic-basalt suites. **Geology**, n. 4, p. 596-600, 1976.

BARKER, F. Trondhjemitites: definition, environment and hypotheses of origin. In: BARKER, F. (Ed.). **Trondhjemitites, dacites and related rocks**. Amsterdam: Elsevier, 1979. p. 1-12.

BARROS, C. E. M. *et al.* Dados isotópicos Pb-Pb em zircão-evaporação e Sm-Nd do complexo granítico estrela, província mineral de Carajás, Brasil: implicações petrológicas e tectônicas. **Revista Brasileira de Geociências**. n. 34, p. 531-538, 2004.

BETTENCOURT, J. S. *et al.* Overview of the rapakivi granites of the Rondônia tin province-RTP. In: SYMPOSIUM ON RAPAKIVI GRANITES AND RELATED ROCKS, 1995, Belém. **Excursion guide and programs...** Belém: [s.n.], 1995. p. 5-14.

BOWDEN, P. *et al.* Petrological, geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion physics. **Earth Planet Sciences**, n. 35, p. 1-11, 1984.

CHAPPELL, B. W.; WHITE, A. J. R. I-and S-type granites in the lachlan fold belt. Trans. Royal Soc. Edinburgh: **Earth Sciences**, n. 83, p. 1-26, 1992.

CHAPPELL, B. W.; WHITE, A. J. R. Two contrasting granite types. **Pacific Geology**, n. 8, p. 173-174, 1974.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Xinguara, folha SB.22-Z-C. Estado do Pará, escala 1:250.000**. Brasília: CPRM, 2000. (Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil).

CONDIE, K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface sample and shales. **Chemical Geology**, [S.l.], n. 104, p. 1-37, 1993.

CORDANI, U. G.; BRITO NEVES, B. B. The geological evolution of South America during the archaean and early proterozoic. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], n. 12, p. 78-88. 1982.

CORDANI, U. G.; SATO, K. Crustal evolution of the South American platform, based on Nd isotopic systematics on granitoid rocks. **Episodes**, [S.l.], v. 22, n. 3, p. 167-173, 1999.

CORDEIRO, A. A. C. *et al.* Pesquisa geológica da jazida de wolframita da pedra preta, Rio Maria-PA. In: SYMPOSIUM AMAZÔNICO, 2., 1984, Manaus. **Anais...** Manaus: DNPM, 1984. p. 375-379.

CORDEIRO, A. A. C. Geologia preliminar da região de Andorinhas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., 1982, Belém. **Anais...** Belém: SBG, v. 1, 1982. p. 45-49.

COSTA, J. B. S. *et al.* A província mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, [S.l.], n. 7, p. 199-235, 1995. (Série Ciências da Terra).

COSTA, J. B. S. *et al.* Os sistemas estruturais transcorrentes do Cinturão Itacaiúnas na região de Curionópolis, leste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** Natal: SBG, 1990. v. 5, p. 2345-2357.

COSTA, J. B. S.; HASUI, Y. Evolução geológica da Amazônia. In: COSTA, M. L. da.; ANGÉLICA, R. S. **Contribuições à geologia da Amazônia**. [s.l.: s.n.], 1997. p. 16-90.

DALL'AGNOL, R. *et al.* Efeitos de contato do maciço granítico jamon na seqüência Lagoa Seca-sudeste do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., 1985, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1985. p 33-52.

DALL'AGNOL, R. *et al.* Estado atual do conhecimento sobre as rochas granitóides da porção sul da Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], n. 16, p. 11-23, 1986.

DALL'AGNOL, R. *et al.* General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2., 1997a, Salvador. **Excursions Guide**. Salvador: SGRM, 1997a. p. 135-161.

DALL'AGNOL, R. *et al.* Geology and geochemistry of the archean Rio Maria granite-greenstone terrain, Carajás province, amazonian craton. In: SYMPOSIUM ARCHEAN TERRAIN SOUTH AMERICAN PLATFORM, 1996, Brasília. **Extended abstracts...** Brasília: SBG, 1996. p. 29-30.

DALL'AGNOL, R. *et al.* Petrogenesis of the paleoproterozoic rapakivi a-type granites of the archean Carajás metallogenic province, Brazil. **Lithos**, [S.l.], n. 80, p. 101-129, 2005.

DALL'AGNOL, R. *et al.* Petrology of the anorogenic, oxidised jamon and musa granites, amazonian craton: implications for the genesis of proterozoic, a-type granites. **Lithos**. [S.l.], n. 46, p. 431-462, 1999a.

DALL'AGNOL, R. *et al.* Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. **Precambrian Research**, [S.l.], v. 95, n. 1-2, p. 9-39, 1999b.

DALL'AGNOL, R. *et al.* The Precambrian evolution of the amazonian craton: one of the last unknown precambrian terranes in the world. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Abstracts...** Rio de Janeiro: CPRM, 2000. 1 CD-ROM. K. 4.

DALL'AGNOL, R.; LAFON, J. M.; MACAMBIRA, M. J. B. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian province, Amazonian Craton. Geochronological, Petrological and Geochemical aspects. **Mineralogy and Petrology**, [S.l.], n. 50, p. 113-138, 1994.

DALL'AGNOL, R. Maçoço Jamon: evolução petrológica de um granito da Amazônia oriental. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., 1982, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1982. v. 2, p. 139-161.

DALL'AGNOL, R.; PICHAVANT, M.; CHAMPENOIS, M. Iron-titanium oxide minerals of the jamon granite, eastern amazonian region, Brazil: implications for the oxygen fugacity in proterozoic, a-type granites. **Academia Brasileira de Ciências**, [S.l.], v. 69, n. 3, p. 325-347, 1997b.

DEBON, F.; LE FORT, P. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. **Bull. Mineral**, [S.l.], n. 111, p. 493-510, 1988.

DOCEGEO. Rio Doce Geologia e Mineração S. A. **Relatório final de pesquisa, área Pedra Preta**. Belém. 3 v. 1982.

DOCEGEO. Rio Doce Geologia e Mineração S. A. Revisão litoestratigráfica da província mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. p. 11-54.

DOWTY, E. Synneusis reconsidered. **Contrib. Mineral. Petrol**, [S.l.], n. 74, p. 75-84, 1980.

DUARTE, K. D. *et al.* Geologia e geocronologia do Granito Mata Surrão-sudoeste de Rio Maria-Pa. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1991. p. 7-20.

DUARTE, K. D. **Geologia e geoquímica do granito Mata Surrão sw de Rio Maria – Pa**: um exemplo de granito “stricto sensu” arqueano. 1992. 217 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1992.

EBY, G. N. Chemical subdivision of the a-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. **Geology**, [S.l.], n. 20, p. 641-644, 1992.

EVENSEN, N. M.; HAMILTON, P. T.; O'NIONS, R. K. Rare earth abundances in chondritic meteorites. **Geochemical of Cosmochemical Acta**, [S.l.], n. 39, p. 55-64, 1978.

GASTAL, M. C. P. **Petrologia do maço granítico musa sudeste do Pará**. 1987. 316 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Geociências, Universidade federal do Pará, Belém, 1987.

GAUDETTE, H. E. *et al.* Comparison of single filament Pb evaporation/ionization zircon age with conventional U-Pb results: examples from the precambrian of Brazil. **J South Amer. Earth Sci.**, [S.l.], n. 11, p. 351-363, 1998.

HAGGERTY S. E. Oxidation of opaque mineral oxides in basalts. In: HAGGERTY S. E. **Rumble III, D. ed. oxide minerals**. 2nd. Washington: Miner. Soc. Am. P. Hg1-Hg99, 1981. (Short course notes).

HANSON, G. N. An approach to trace element modeling using a simple igneous system as an example. In: B. R. LIPIN.; G. A. McKAY (Eds.). **Geochemistry and mineralogy of rare earth elements**. Washington: D. C. Mineralogical Society of America, 1989. p. 79-97. (Reviews in mineralogy, 21).

HASUI, Y.; HARALYI, N. D. E.; SCHOBBEENHAUS, C. Elementos geofísicos e geológicos da região amazônica: subsídios para o modelo geotectônico. In: SYMPOSIUM AMAZÔNICO, 2., 1984, Manaus. **Anais...** Manaus: DNPM, 1984. p. 129-147.

HIRATA, W. K. *et al.* Geologia regional da província mineral de Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., 1982, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1982. v. 1, p. 100-110.

HUHN, S. R. B. *et al.* O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - sul do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 3, p. 1438-1453.

HUHN, S. B.; MACAMBIRA, M. J. B.; DALL'AGNOL, R. Geologia e geocronologia Pb/Pb do granito alcalino planalto, região da Serra do Rabo, Carajás-Pa. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., 1999, Manaus. **Boletim de Resumos Expandidos...** Manaus: SBG, 1999. p. 463-466.

ISHIHARA, S. The granitoid series and mineralization. In: SKINNER, B. J. (Ed.). **Economic Geology**. [s.l.: s.n.], 1981. v. 75, p. 458-484.

ISHIHARA, S. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. **Mining Geology**, [S.I.], n. 27, p. 293-305, 1977.

JAHN, B. *et al.* Archaean crustal evolution in China: the taishan complex, and evidence for juvenile crustal addition from long-term depleted mantle. **Precambrian Research**, [S.I.], n. 38, p. 381-403, 1988.

KOBER, B. Whole grain evaporation for  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  age investigations on single zircons using a double filament source. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, [S.I.], n. 93, p. 482-490, 1986.

LAFON, J. M.; RODRIGUES, E.; DUARTE, K. D. **Le granite mata surrão: un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjemitiques-grandodioritiques archéennes de la région de Rio Maria - Amazonie Orientale, Brésil.** [s.l.: s.n.], 1994. p. 642- 649.

LA ROCHE, H. *et al.* A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major-element analyses - its relationships with current nomenclature. **Chemical Geology**, [S.I.], n. 29, p. 183-210, 1980.

LAMEYRE, J.; BOWDEN, P. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, [S.I.], v. 14, p. 169-186, 1982.

LEITE, A. A. S.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F. J. Geoquímica e aspectos petrogenéticos do granito Xinguara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria - Cráton Amazônico. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.I.], n. 23, p. 429-436, 1999.

LEITE, A. A. S.; DALL'AGNOL, R. Estratigrafia e aspectos geológicos da região de ocorrência do granito Xinguara - SE do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994, Belém. **Boletim de Resumos Expandidos...** Belém: SBG, 1994. p. 325-327.

LEITE, A. A. S.; DALL'AGNOL, R. Geologia e petrografia do maciço granítico arqueano Xinguara e de suas encaixantes-SE do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, [S.I.], n. 9, p. 43-81, 1997a. (Série ciência da terra).

LEITE, A. A. S.; DALL'AGNOL, R. Geology and geochemistry of the archaean rocks of the Xinguara region, Rio Maria granite-greenstone terrane, eastern amazonian craton, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRAN. AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2., 1997b, Salvador. **Extended abstracts and program...** Salvador: SGRM, 1997b. p. 213.

LEITE, A. A. S. *et al.* Geologia e geocronologia dos granitóides arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do terreno granito-greenstone de Rio Maria. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.I.], n. 34, p. 447-458, 2004.

LEITE, A. A. S. **Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, se do cráton amazônico**. 2001. 330 f. Tese (Doutorado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

LEITE, A. A. S. **Geologia e geoquímica do batólito granítico arqueano Xinguara, sudeste do Estado do Pará**. 1995. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.

LE MAITRE, R. W. **A classification of igneous rocks and glossary of terms**. 2<sup>nd</sup>. London: [s.n.], 2002. 193 p.

LIMA, M. I. C. Províncias geológicas do Cráton Amazônico em território brasileiro. In: SYMPOSIUM AMAZÔNICO, 1984, Manaus. [Resumos]. Manaus: SBG, 1984. p. 9-23.

LINDENMAYER, Z. G. **Salobo Sequence, Carajás, Brazil: geology, geochemistry and metamorphism**. 1990. 408 f. Thesis (Ph. D.) - University of Western Ontario, Ontario, 1990.

MACAMBIRA, M. J. B. **Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans L'Amazonie du sud-est: exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajás, Brésil**. 1992. 212 f. Tese (Doutorado) - Université Montpellier II-France, Montpellier, 1992.

MACAMBIRA, M. J. B. *et al.* Geocronologia U-Pb, Rb-Sr e K-Ar dos granitóides da região de Rio Maria-Pa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Resumos...** Natal: SBG, 1990. p. 169-170.

MACAMBIRA, M. J. B. *et al.* New geochronological data for the Rio Maria TTG terrane: implications for the time constraints of the crustal formation of the Carajás province, Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Abstract...** Rio de Janeiro: SBG, CD-ROM.

MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. Geocronologia da província mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, n. 7, p. 263-287, 1995. (Série ciências da terra).

MACAMBIRA, M. J. B.; LANCELOT, J. Time constraints for the formation of the archaean Rio Maria crust, southeastern amazonian craton, Brazil. **International Geology Review**, [S.I.], v. 38, n.12, p.1134-1142, 1996.

MACHADO, N. *et al.* U-Pb geochronology of archaean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. **Precambrian Research**, [S.I.], n. 49, p. 329-354, 1991.

MARTIN, H.; CHAUVEL, C.; JAHN, B. M. Major and trace element geochemistry and crustal evolution of archaean granodioritic rocks from eastern Finland. **Precambrian Research**, [S.I.], n. 21, p. 159-180. 1983.

MARTIN, H. *et al.* Crustal evolution in the Archaean of South America: example of the Sete Voltas Massif, Bahia State, Brazil. **Precambrian Research**, [S.I.], n. 82, p. 35-62, 1997.

MARTIN, H. Petrogenesis of archaean trondhjemitic, tonalites and granodiorites from eastern Finland: major and trace element geochemistry. **Journal of Petrology**, [S.I.], n. 28, p. 921-953. 1987.

MARTIN, H. The archean grey gneisses and the gneisses of continental crust. In: CONDIE, K. C. (Ed.). **Developments in Precambrian Geology 11**: archean crustal evolution. Amsterdam: Elsevier, 1994 p. 205-259.

MEDEIROS, H.; DALL'AGNOL, R. Petrologia da porção leste do batólito granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 3, p. 1488-1499.

MEDEIROS, H. **Petrologia da porção leste do maciço granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará**. 1987. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1987.

MONTALVÃO, R. M. G. *et al.* Características petrográficas e geoquímicas do granito Redenção e suas possibilidades metalogenéticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 32., 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1982. v. 2, p. 520-546.

NOCKOLDS, S. R.; ALLEN, R. The geochemistry os some igneous rocks series. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, [S.I.], n. 4, p. 105-142, 1953.

O'CONNOR, J. T. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar rations. **US Geological Survey Professional Papers**, [S.I.], n. 525B, p. 79-84, 1965.

OLIVEIRA, D. C. *et al.* Petrologia magnética do granito paleoproterozóico Redenção, SE do cráton amazônico. In: KLEIN, E. L.; ROSA-COSTA, L. T.; VASQUEZ, M. L. (Eds.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, 2002. v. 3, p. 115-132.

OLIVEIRA, D. C. **Geologia, geoquímica e petrologia magnética do granito paleoproterozóico Redenção, SE do cráton amazônico**. 2001. 207 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

OLIVEIRA, M. A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F. J. Press. petrografia e geoquímica do granodiorito sanukitóide arqueano Rio Maria da região de bannach e comparações com as demais ocorrências no terreno granito-greenstone de Rio Maria. **Revista Brasileira de Geociências**, [s.l.: s.d.].

OLIVERA, M. A. **Geologia, petrografia e geoquímica do Granodiorito Sanukitóide Arqueano Rio Maria e Rochas Máfica associadas, Leste de Bannach**. 2005. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

PEARCE, J. A.; HARRIS, N. B. W.; TINDLE, A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. **Journal of Petrology**, [S.I.], n. 25, p. 956-983, 1984.

PHILLIPS, E. R. On polygenetic mymerkite. **Geologic Magazine**, [S.I.], n. 17, p. 29-36, 1980.

PIMENTEL, M. M.; MACHADO, N. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1988, Camboriú. **Boletim de Resumos Expandidos...** Camboriú: SBG, 1988. p. 390-391.

RÄMÖ, O. T.; HAAPALA, I. One hundred years of rapakivi granite. **Mineralogy and Petrology**, [S.I.], n. 52, p. 129-185, 1995.

RIVALENTI, G. *et al.* Petrogenesis of the paleoproterozoic basaltic-andesite-rhyolite dyke association in the Carajás region, amazonian craton. **Lithos**, [S.I.], n. 43, p. 235-265. 1998.

ROCHA JR., G. L. D. **Caracterização petrográfica do granito paleoproterozóico Marajoara, terreno granito-greenstone de Rio Maria, se do Estado do Pará.** 2004. 46 f. Trabalho de conclusão de curso - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

ROLANDO, A. P.; MACAMBIRA, M. J. B. Archean crust formation in Inajá range area, SE of amazonian craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., 2003, Salvador. **Expanded Abstracts...** Salvador: [s. n.], 2003. CD-ROM.

ROLANDO, A. P.; MACAMBIRA, M. J. B. Geocronologia dos granitóides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do cráton amazônico, SE Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBG, 2002. p. 525.

SANTOS, J. O. S. *et al.* A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field and U-Pb and Sm-Nd geochronology. **Gondwana Research**, [S.I.], n. 3, p. 453-488, 2000.

SARDINHA, A. S. **Geologia, geoquímica e geocronologia do granito Serra do Rabo, província mineral de Carajás.** 2002. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

SHAW, D. M. Trace element fractionation during anatexis. **Geochemical et Cosmochemica Acta**, n. 34, p. 237-243, 1970.

SIAL, A. N. Contrasting metaluminous magmatic epidote-bearing granitic suites from two precambrian foldbelts in northeast Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Letras**, [S.I.], v. 65, n. 1, p. 141-162, 1993.

SIAL, A. N. Epidote-bearing calc-alkalic granitoids in northeast Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.I.], n. 20, p. 88-100, 1990.

SILVA JR., R. O.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, E. P. Geologia, petrografia e geoquímica dos diques proterozóicos da região de Rio Maria, sudeste do Pará. **Geochimica Brasiliensis**, [S.I.], n. 13, 1999.

SILVA JR., R. O. **Geologia, petrografia e geoquímica dos diques da região de Rio Maria, se-Pará.** 1996. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

SMITH, J. V. **Feldspar Minerals.** New York: Springer-Verlag, 1974. 690 p.

SOARES, C. M. **Estudo das relações de contato do granodiorito Rio Maria com os granitos jamon e musa e com diques do proterozóico.** 1996. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

SOUZA, Z. S.; DALL'AGNOL, R. Vulcanismo dacítico cálcio-alcálico mesoarqueano no "greenstone belt" identidade, sudeste do Pará, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, [S.I.], n. 10, p. 225-240, 1996.

SOUZA, Z. S. *et al.* Feições geológicas e estruturais do greenstone belt de Identidade, região de Xinguara – Rio Maria, sul do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 3, p. 1453-1467.

SOUZA, Z. S. *et al.* Geologia do terreno granito-greenstone arqueano da região de Rio Maria, sudeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. **Anais...** Natal: SBG, 1990. v. 6, p. 2913-2928.

SOUZA, Z. S. *et al.* Geometria de "greenstone belts" arqueanos da região de Rio Maria - sudeste do Pará, Brasil a partir de interpretação gravimétrica. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.I.], n. 22, p. 198-203, 1992.

SOUZA, Z. S. **Geologia e petrogênese do "greenstone belt" identidade:** implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-"greenstone" de Rio Maria, SE do Pará. 1994. 624 f. v. 1 e 2. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1994.

STACEY, J. S.; KRAMER, J. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. **Earth Planet. Sci. Lett.**, [S.I.], n. 26, p. 207-221, 1975.

STERN, A. L.; HANSON, G. Archean high-Mg granodiorite: a derivative of light rare earth element-enriched monzodiorite of mantle origin. **Journal of Petrology**, [S.I.], n. 32, p. 201-238, 1991.

STERN, A. L.; HANSON, G.; SHIREY, S. B. Petrogenesis of mantle-derived, LILE enriched archean monzodiorites and trachyandesites-sanukitoids in southwestern superior province. **Canadian Journal of Earth Sciences**, [S.I.], n. 26, p. 1688-1712, 1989.

STRECKEISEN, A. L. To each plutonic rock its proper name. **Earth Science Review**, [S.I.], v. 12, p. 1-33, 1976.

SYLVESTER, P. J. Post-collisional alkaline granites. **J. Geol.**, [S.I.], n. 97, p. 261-280, 1989.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. B. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. **Episodes**, [S.I.], n. 22, p. 174-182. 1999.

TEIXEIRA, J. B. G.; EGGLE, D. H. Petrology, geochemistry, and tectonic setting of archean basaltic and dioritic rocks from the N4 iron deposit, Serra dos Carajás, Pará, Brazil. **Acta Geologica Leopoldensia**, [S.I.], v. 17, n. 71-114, 1994.

TUTTLE, O. F.; BOWEN, N. L. **Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O.** [s.l.: s.n.], 1958. 153 p. (Geological Society of America Memoir, 74).

VALE, A. G.; NEVES, P. N. O granito Redenção: estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Balneário Camboriú. **Resumos...** Balneário Camboriú: SBG, 1994. v. 1, p. 149-150.

VANCE, J. A. On Synneusis. **Contr. Mineral. Petrol.**, [S.I.], n. 24, p. 7-29, 1969.

WHALEN, J. W.; CURRIE, K. L.; CHAPPEL, B. W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. **Contrib. Mineral. Petrol.**, [S.I.], n. 95, p. 407-419, 1987.

WONES, D. R. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. **American Mineralogist**, [S.I.], n. 74, p. 744-749, 1989.