



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**GEOLOGIA, PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DO
TRONDHJEMITO MOGNO E ROCHAS ARQUEANAS
ASSOCIADAS, TERRENO GRANITO-*GREENSTONE* DE RIO
MARIA – SE DO PARÁ**

Dissertação apresentada por:

FABRICIANA VIEIRA GUIMARÃES

**BELÉM
2009**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

Guimarães, Fabriciana Vieira

- G963g Geologia, petrografia e geoquímica do Trondhjemitó Mogno e rochas arqueanas associadas, Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria – SE do Pará / Fabriciana Vieira Guimarães. – 2009
ix, 102 f. : il.
Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
Orientador, Roberto Dall’Agnol.

1. Arqueano. 2. Trondhjemitó. 3. Tonalito. 4. TTG. 5. Quartzodiorito Parazônia. 6. Granodiorito Grotão. 7. Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria. 8. Pará. I. Universidade Federal do Pará. II. Dall’Agnol, Roberto, Orientador III. Título.

CDD 20º ed.:551.712098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**GEOLOGIA, PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DO
TRONDHJEMITO MOGNO E ROCHAS ARQUEANAS
ASSOCIADAS, TERRENO GRANITO-*GREENSTONE* DE RIO
MARIA – SE DO PARÁ**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

FABRICIANA VIEIRA GUIMARÃES

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: **15/07/2009**

Comitê de Dissertação:

DR. ROBERTO DALL'AGNOL (UFPA)
(Orientador)

DR. HERBET CONCEIÇÃO (UFS)
(Membro)

DR. DAVIS CARVALHO DE OLIVEIRA (UFPA)
(Membro)

Belém

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho

Muito obrigada!

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta dissertação contou com inúmeras colaborações, as quais não podem e nem devem deixar de ser enfatizadas. Por essa razão, a autora deseja expressar os seus sinceros agradecimentos:

À Deus;

Aos meus familiares, em especial minha mãe que sempre me apoiou e apóia em todas as decisões tomadas;

À Universidade Federal do Pará pela infra-estrutura;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa durante a realização deste trabalho;

Ao Prof. Roberto Dall’Agnol pela orientação, paciência, oportunidades e força que me conseguiu transmitir, sem os quais, estou segura, não teria chegado ao fim deste trabalho;

Aos doutorandos Marcelo Augusto Oliveira e José de Arimatéia C. Almeida, pelas inúmeras orientações, generosidades, pelo apoio nos momentos bons e menos bons, e pela amizade sempre demonstrada;

A doutoranda Gilmara Feio pela amizade, conversas e todo apoio sempre prestados a mim;

Ao Prof. Davis Carvalho e Cláudio Lamarão por diversas sugestões e conversas no decorrer deste trabalho;

Aos amigos Antonio Paiva Junior e Samantha Barriga Dias pela amizade, companheirismo, em todas as etapas na minha vida acadêmica;

Aos amigos do Grupo de Pesquisa de Petrologia de Granitóides (GPPG), por importantes sugestões e contribuições a este trabalho, bem como pelos momentos de descontrações;

Ao grupo de professores e funcionários do Instituto de Geociências;

E a todos meus amados e fieis amigos que se eu fosse querer listar, com certeza não daria, que são pessoas fundamentais em minha vida, que me deram força, incentivo, descontração, cada um de sua forma, meu muitíssimo **OBRIGADO** de coração.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	1
ABSTRACT	3
CAPÍTULO 1	5
1 – INTRODUÇÃO	5
1.1 – APRESENTAÇÃO.....	5
1.2 – CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	8
1.2.1 – Granitóides TTG do TGGRM	11
1.2.1.1 – TTG Antigos.....	13
1.2.1.2 – TTG Jovens.....	16
1.3 – APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	19
1.4 – OBJETIVOS.....	21
1.5 – MÉTODOS.....	22
1.5.1 – Pesquisa Bibliográfica	22
1.5.2 – Mapeamento Geológico	22
1.5.3 – Petrografia	23
1.5.3 – Geoquímica	23
CAPÍTULO 2	26
RESUMO	26
ABSTRACT	27
INTRODUÇÃO	28
CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	30
GRANITÓIDES TTG FO TGGRM	30
CARACTERIZAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES TTG DO DOMÍNIO LESTE DE OCORRÊNCIA DO TRONDHJEMITO MOGNO	34
Revisão dos Dados Geocronológicos do Trondhjemito Mogno	34
Geologia	35
Petrografia	38
COMPOSIÇÕES MODAIS E CLASSIFICAÇÃO	38
ASPECTOS TEXTURAIS	39
Geoquímica	42
ELEMENTOS MAIORES E MENORES	42
ELEMENTOS TRAÇOS	46
COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS	46
CARACTERIZAÇÃO DA SÉRIE MAGMÁTICA	49

DISCUSSÕES.....	52
Revisão do significado do Trondhjemitó Mogno e definição d nova unidade TTG.....	52
Comparação com outras associações TTG do TGGRM.....	53
CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
Agradecimentos.....	55
Referências.....	55
CAPÍTULO 3.....	60
RESUMO.....	60
ABSTRACT.....	61
INTRODUÇÃO.....	62
CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	64
GEOLOGIA DA ÁREA.....	64
PETROGRAFIA.....	67
Granodiorito Grotão.....	67
COMPOSIÇÕES MODAIS E CLASSIFICAÇÃO.....	67
ASPECTOS TEXTURAIS.....	68
Quartzo-diorito Parazônia.....	71
COMPOSIÇÕES MODAIS E CLASSIFICAÇÃO.....	71
ASPECTOS TEXTURAIS.....	72
GEOQUÍMICA.....	73
ELEMENTOS MAIORES E MENORES.....	73
ELEMENTOS TRAÇOS.....	79
COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS.....	79
COMPARAÇÕES COM OUTROS GRANITÓIDES ARQUEANOS DO TERRENO GRANITO-<i>GREENSTONE</i> DE RIO MARIA.....	81
Granodiorito Grotão.....	81
Quartzo-diorito Parazônia.....	84
REAVALIAÇÃO DO TONALITO PARAZÔNIA.....	85
CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
Agradecimentos.....	87
Referências.....	87
CAPÍTULO 4.....	91
CONCLUSÕES FINAIS.....	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXOS.....	99

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 - Mapa de localização das regiões de Rio Maria e Xinguara, mostrando a área estudada.....	6
Figura 2 - Mapa geológico do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria.....	12
Figura 3 - Mapa de amostragem na área estudada.....	25

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Mapa geológico do Terreno Granito- <i>Greenstone</i> de Rio Maria.....	29
Figura 2 - Mapa geológico da área estudada.....	36
Figura 3 - Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M.....	39
Figura 4 - Diagramas de Harker para óxidos de elementos maiores das amostras dos TTG estudados.....	45
Figura 5 - Diagramas de Harker para os elementos traço das amostras dos TTG estudados.....	47
Figura 6 - a) Padrões dos elementos terras raras dos TTG estudados; b) Comparação entre os padrões de elementos terras raras, com as da região de Xinguara.....	48
Figura 7 - Diagramas Ab-An-Or, AFM, K-Na-Ca para as rochas estudadas.....	50
Figura 8 - Diagramas A/CNK vs. A/NK; diagrama binário K ₂ O vs. SiO ₂ ; diagrama A/CNK vs. K/Na, diagrama #Mg vs. K/Na.....	51

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Mapa geológico do Terreno Granito- <i>Greenstone</i> de Rio Maria.....	63
Figura 2 - Mapa geológico da área estudada.....	66
Figura 3 - Aspectos de campos do Biotita-granodiorito Grotão.....	67
Figura 4 - Aspectos de campos do Quartzo-diorito Parazônia.....	68
Figura 5 - Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M.....	70
Figura 6 - Diagramas de Harker para os óxidos de elementos maiores.....	77
Figura 7 - Caracterização geoquímica das rochas estudadas: Diagramas Ab-An-Or; AFM; K-Na-Ca; A/CNK vs. A/NK.....	78
Figura 8 - Diagramas de Harker para os elementos traço.....	80
Figura 9 - Padrões dos elementos terras raras para as rochas estudadas.....	81
Figura 10 - Diagramas de caracterização geoquímica: A/CNK vs. K/Na e #Mg vs. K/Na.....	83

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- Tabela 1** - Principais dados geocronológicos das rochas arqueanas do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria..... 10
- Tabela 2** - Principais dados geocronológicos das associações tonalítico-trondhjemítico-granodioríticas (TTG) do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria..... 13

CAPÍTULO 2

- Tabela 1** - Síntese dos dados geocronológicos de associações TTG do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria.....31
- Tabela 2** - Composições modais ⁽¹⁾ de amostras das associações TTG estudadas.....40
- Tabela 3** - Composições químicas dos TTG estudados.....43

CAPÍTULO 3

- Tabela 1** - Composições modais de amostras das rochas do Granodiorito Grotão.....69
- Tabela 2** - Composições modais de amostras representativas do Quartzo-diorito Parazônia.....71
- Tabela 3** - Composições químicas do Granodiorito Grotão e granitóides arqueanos do TGGRM.....74
- Tabela 4** - Composições químicas do Quartzo-diorito Parazônia e granitóides arqueanos do TGGRM.....75

RESUMO

Mapeamento geológico e estudos petrográficos e geoquímicos, na principal área de ocorrência do Trondhjemitó Mogno no Terreno Granito *Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), levaram à identificação em duas associações TTG distintas. A designação de Trondhjemitó Mogno foi mantida para a associação dominante, com padrão estrutural NW-SE a EW, distribuída nos domínios leste e oeste da área mapeada. A associação identificada na porção centro-oeste da área mapeada, com foliação dominante NE-SW e NS, foi definida como uma nova unidade estratigráfica denominada de Tonalito Mariazinha.

Na área mapeada, foi possível também a individualização de outra unidade, denominada de Granodiorito Grotão, intrusivo no Tonalito Mariazinha, e foi proposta a redefinição do Tonalito Parazônia que passa a ser denominado de Quartzo-diorito Parazônia. Dados geocronológicos (Almeida em prep.) revelaram que o Trondhjemitó Mogno e o Tonalito Mariazinha não fazem parte da segunda geração de TTGs do TGGRM, pois possuem idades mais antigas que 2,87 Ga e que o Quartzo-diorito Parazônia possui idade similar àquelas fornecidas pela associação sanukitóide do TGGRM. O Trondhjemitó Mogno e o Tonalito Mariazinha são constituídos principalmente por quartzo e plagioclásio, tendo biotita e epidoto magmático como principais minerais ferromagnesianos. Suas características geoquímicas são compatíveis com as dos granitóides TTG arqueanos do grupo com alto Al_2O_3 , sendo ainda relativamente pobres em elementos ferromagnesianos e possuem padrões de ETR com fracionamento moderado a forte de ETRP e anomalias de Eu discretas.

O Granodiorito Grotão é um leucogranodiorito constituído principalmente por plagioclásio, quartzo e feldspato potássico, tendo a biotita e epidoto como principais minerais ferromagnesianos. Apresenta caráter metaluminoso a peraluminoso e mostra comportamento geoquímico distinto dos granitóides TTG do TGGRM e do Granito Xinguara (Leite 2001, Leite

et al. 2004). No diagrama K-Na-Ca, o Granodiorito Grotão foge do *trend* trondhjemítico, pois mostra enriquecimento em K em relação aos granitóides TTG, porém com conteúdos menores de K que o Granito Xinguara e o biotita-granodiorito estudado por Medeiros (1987).

O Quartzo-diorito Parazônia apresenta composições que variam de quartzo-dioríticas a granodioríticas. O Quartzo-diorito Parazônia é muito similar às rochas intermediárias sanukitóides do TGGRM (Oliveira *et al.* 2006, 2009), embora o Quartzo-diorito Parazônia apresenta também algumas diferenças significativas em relação às rochas intermediárias de Bannach, entre elas o menor teor de sílica e menor valor de Mg #.

Palavras-Chaves: Trondhjemito, Tonalito, TTG, Quartzo-diorito Parazônia, Granodiorito Grotão, Arqueano, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria.

ABSTRACT

Geological mapping alongside petrographical and geochemical studies in the occurrence area of the Mogno Trondhjemite in the Rio Maria Granite Greenstone Terrain (RMGGT) led to the identification of two distinct TTG facies. The Mogno Trondhjemite designation was maintained for the dominant facies with NW-SE to E-W structural style and distributed over east and west through the mapped area. The association identified on the central-west portion of the area, with NE-SW and N-S dominantly foliation was defined as a new stratigraphic unit called Mariazinha Tonalite.

In the mapped area it was also possible to individualize another unit, the Grotão Granodiorite which intrudes Mariazinha Tonalite and it was proposed the redefinition of Parazônia Tonalite which now is to be called Parazônia Quartz-diorite. Geochronological data (Almeida *in prep.*) revealed that Mogno Trondhjemite and Mariazinha Tonalite are not part of the second generation of TTG rocks from the RMGGT because they yield ages older than 2.87 Ga. Also, the Parazônia Quartz-diorite is similar in age with the sanukitoid association of the RMGGT.

Mogno Trondhjemite and Mariazinha Tonalite are mainly composed by quartz and plagioclase with biotite and magmatic epidote as the main ferro-magnesian minerals. Their geochemical characteristics are compatible with Archaean TTG granitoids with high Al_2O_3 contents, relatively poor in ferromagnesian elements and display ETR patterns with moderate to strong fractioning of ETRP and smooth Eu anomalies.

The Grotão Granodiorite is a leucogranite composed by plagioclase, quartz and potassic feldspar with biotite and epidote as the main ferromagnesian minerals. This leucogranite has metaluminous to peraluminous character and has a distinct geochemical behaviour in comparison with RMGGT TTG granitoids and the Xinguara Granite (Leite 2001, Leite et al. 2004). In K-Na-

Ca diagrams the Grotão Granodiorite escapes from the trondhjemitic trend as it shows enrichment in K in relation to TTG granitoids, but with minor K contents related to the Xinguara Granite and the biotite-granodiorite studied by Medeiros (1987).

Parazônia Quartz-diorite shows compositions varying from quartz-diorite to granodiorite. The Parazônia Quartz-diorite is very similar to the sanukitoid rocks from the RMGGT (Oliveira et al. 2006, 2009), even though the Parazônia Quartz-diorite also displays some remarkable differences in relation to Bannach intermediate rocks, such as minor values of silica and Mg#.

Keywords: Trondhjemite, Tonalite, TTG, Parazonia Quartz Diorite, Grotão Granodiorite, Archean, Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton.

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO

A presente dissertação de mestrado faz parte das atividades do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) do Instituto de Geociências da UFPA, coordenado pelo professor Roberto Dall'Agnol.

Os dados sobre a geologia da Província Mineral de Carajás (PMC) resultam em grande parte de trabalhos de mapeamento geológico e prospecção executados pelas equipes da antiga DOCEGEO (Vale) e CPRM. Pesquisadores do GPPG e do Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências - UFPA destacaram-se nas últimas duas décadas pelos trabalhos de detalhe na região, em particular sobre as rochas granitóides.

A PMC, localizada no sudeste do estado do Pará (Figura 1), constitui o domínio sul-oriental do Cráton Amazônico (Almeida 1967), limitado a leste pelo Cinturão Araguaia. É caracterizada por sua grande riqueza em recursos minerais, destacando-se depósitos de ferro, ouro, manganês, níquel e cobre (DOCEGEO 1988). O Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides desenvolve estudos sistemáticos buscando o entendimento da gênese e evolução das rochas granitóides que compõem o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), situado na porção sul da PMC.

Os terrenos granito-greenstone arqueanos de vários locais do mundo são constituídos fundamentalmente por associações granitóides dominadas por rochas que formam as clássicas associações tonalítico-trondhjemitico-granodioríticas (TTG) e por greenstone belts (Condie & Hunter 1976, Condie 1993, Althoff *et al.* 2000, Souza *et al.* 2001, Dall'Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008, Almeida *et al.* 2008).

O magmatismo granítico presente no TGGRM é bastante diversificado, sendo constituído por rochas com idades variando de 2,98 a 1,88 Ga. Um dos corpos arqueanos relacionados a este magmatismo é o Trondhjemitito Mogno (ca. 2,87 Ga; Pimentel & Machado 1994). A presente dissertação visa aprimorar a caracterização geológica, petrográfica e geoquímica das principais ocorrências do Trondhjemitito Mogno, incluindo sua área-tipo, e das rochas arqueanas associadas. Este granitóide ocorre, principalmente, na área da Folha Rio Maria (SB-22-Z-C II) (Figura 2), sudeste do estado do Pará. Busca-se com isto uma melhor caracterização deste granitóide, ainda

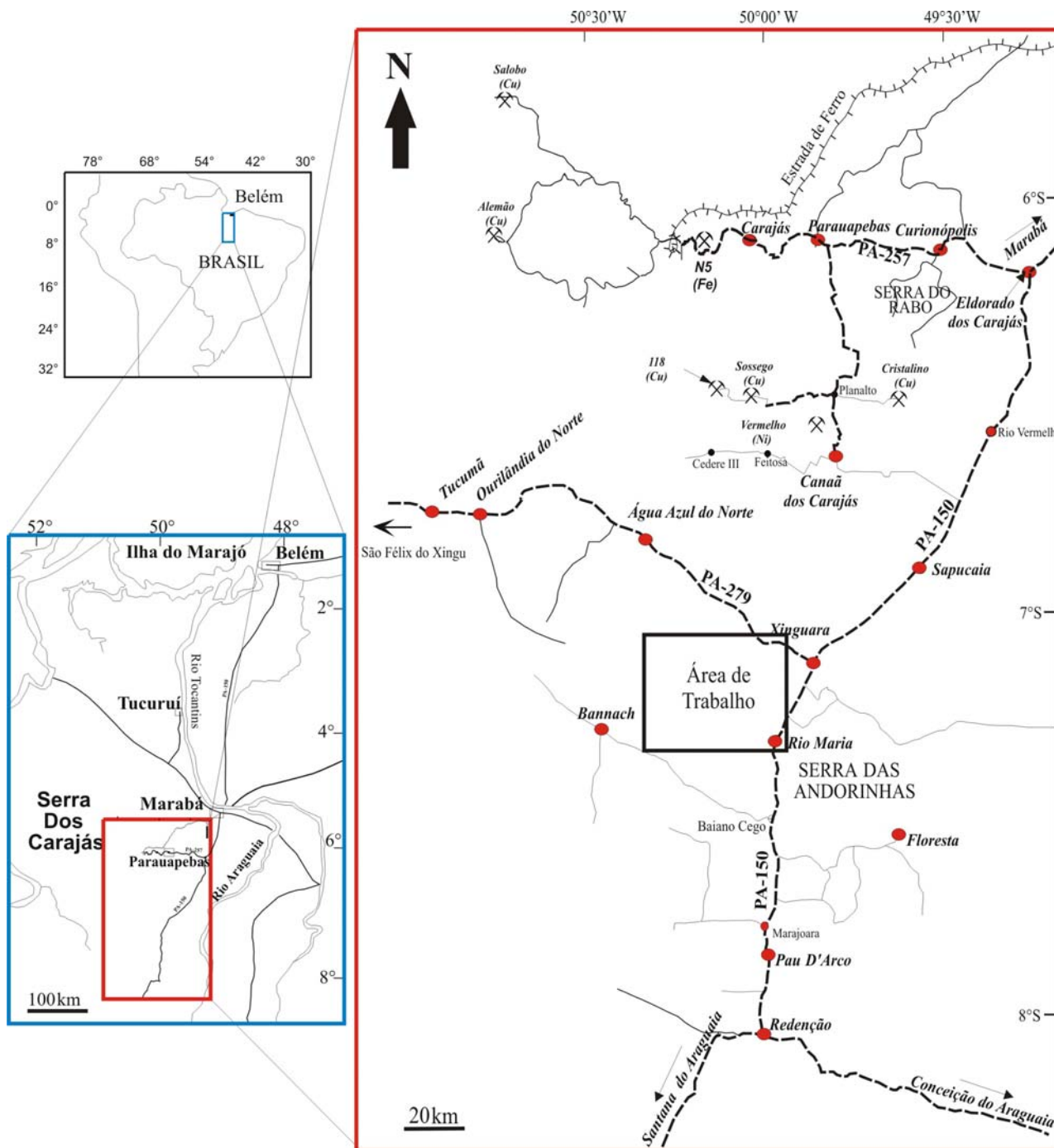


Figura 1- Mapa de localização das regiões de Rio Maria e Xinguara, mostrando a área estudada.

pouco estudado comparativamente aos demais granitóides arqueanos do TGGRM. Isto permitirá estabelecer comparações mais aprofundadas entre o Trondhjemito Mogno e as duas gerações de TTG identificadas no TGGRM (Macambira & Lancelot 1996, Althof *et al.* 2000, Souza *et al.* 2001, Leite *et al.* 2004, Dall’Agnol *et al.* 2006) e uma melhor compreensão da evolução geológica da região.

A presente dissertação está relacionada diretamente à tese de doutorado do geólogo José de Arimatéia Costa de Almeida, vinculado ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) e ao Grupo de Pesquisa de Petrologia de Granitóides (GPPG). Ao referido pesquisador couberam os estudos geocronológicos e isotópicos sobre as associações estudadas, parte de pesquisa mais ampla voltada para os TTGs e granitos arqueanos do TGGRM. Ainda que em menor grau, o presente trabalho se articula também com tese de doutorado sobre as associações sanukitóides do TGGRM (Marcelo Augusto de Oliveira, em preparação) e com dissertação de mestrado sobre os granitos arqueanos da Folha Marajoara (Samantha Barriga Dias, em preparação), ambas atualmente em desenvolvimento e vinculadas ao PPGG e ao GPPG.

Optou-se por apresentar esta dissertação na forma centrada em artigos científicos, ao invés de seguir o modelo clássico. A autora considera esta modalidade muito mais prática e objetiva que o modelo de dissertação tradicional, uma vez que propicia uma divulgação mais rápida dos resultados obtidos.

A dissertação inclui um capítulo introdutório, onde é abordado o contexto geológico regional, destacando-se os principais aspectos geológicos e geocronológicos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. São também definidos a problemática, os objetivos da pesquisa, e os procedimentos metodológicos. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos na forma de dois manuscritos de artigos científicos (Capítulos 2 e 3), ambos submetidos para a Revista Brasileira de Geologia, e no capítulo 4 é feita uma discussão integrada dos dados e apresentadas as conclusões deste trabalho. Os títulos dos manuscritos dos artigos são os seguintes:

CAPÍTULO 2 - ARTIGO 1 – CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DO TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA, TERRENO GRANITO-GREENSTONE DE RIO MARIA – PARÁ.

No mapeamento detalhado na área de ocorrência do Trondhjemito Mogno executado no presente trabalho foi possível, através de dados de campo, petrográficos e geoquímicos, com apoio dos dados geocronológicos obtidos por Almeida (em preparação), a separação de duas

associações TTG distintas. Dessa forma este artigo visa à caracterização dessas duas associações TTG distintas identificadas na suposta área de ocorrência do Trondhjemito Mogno.

CAPÍTULO 3 - ARTIGO 2 – GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DO QUARTZO-DIORITO PARAZÔNIA E GRANODIORITO GROTÃO, TERRENO GRANITO-GREENSTONE DE RIO MARIA- PARÁ.

Na área mapeada, foi possível também a identificação e individualização de uma nova unidade geológica, que não está relacionada aos TTG que afloram na área, a qual foi denominada de Granodiorito Grotão. Também foi melhor caracterizado o antigo Tonalito Parazônia, cuja denominação foi modificada para Quartzo-diorito Parazônia que estaria relacionado às associações sanukitóides do TGGRM e não às suítes TTG, conforme anteriormente admitido (Hunh *et al.* 1988, Santos & Pena Filho 2000, Vasquez *et al.* 2008). Neste artigo são apresentados dados de campo, petrográficos e geoquímicos e feita a caracterização destes granitóides arqueanos.

1.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, no qual está inserida a área-tipo e as diferentes ocorrências do Trondhjemito Mogno, está localizado no sudeste do Cráton Amazônico dentro da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira 1999, 2004) ou mais recentemente Província Carajás que foi dividida em domínios Rio Maria e Carajás (Santos *et al.* 2000, Santos 2003).

Conforme dados geocronológicos de Machado *et al.* (1991) e Macambira & Lafon (1995), revistos em detalhe por Vasquez *et al.* (2008), a Província Mineral de Carajás possui idade arqueana. Segundo Costa *et al.* (1995), existem nessa região três domínios tectônicos: Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (TGGRM), limitado a norte e a sul pelos Cinturões de Cisalhamento Itacaiúnas (CCI) e Pau D'arco (CCPD), respectivamente. Entretanto, para Althoff *et al.* (2000) e Dall'Agnol *et al.* (2006), o CCPD é somente uma extensão para sul do TGGRM, que se prolongaria, pelo menos, até as cercanias de Redenção. Em trabalhos recentes, Rolando & Macambira (2002, 2003), com base em novos dados geocronológicos e geológicos, confirmaram a extensão do TGGRM até, pelo menos, 100 km a sul da cidade Redenção. Vasquez & Rosa-Costa (2008) adotam igualmente esta interpretação. Entretanto, tais autores assumem a existência na Província Carajás de um domínio mesoarqueano e mais antigo, correspondente ao TGGRM, denominado Domínio

Rio Maria, e um domínio com evolução final no Neoarqueano a norte, denominado de Domínio Carajás. Por outro lado, preconizam a existência de um domínio transamazônico a sul do TGGRM, o qual limitaria o referido terreno.

A unidade mais antiga do TGGRM corresponde ao Supergrupo Andorinhas, constituído por greenstone belts, onde predominam komatiitos e basaltos toleíticos, com idades que variam de 2,98 a 2,90 Ga (Macambira 1992, Pimentel & Machado 1994). Contemporaneamente, entre 2,98 e 2,92 Ga são originados, também, corpos plutônicos da série TTG, como o Tonalito Arco Verde, que apresenta idades U/Pb em zircão variáveis entre 2,98 e 2,94 Ga (Macambira 1992, Macambira & Lafon, 1995, Rolando & Macambira, 2002, 2003, Almeida *et al.* 2008), e o Complexo Tonalítico Caracol, com idade variáveis de ~2,95 a 2,92 Ga (Leite 2001, Leite *et al.* 2004). Althoff *et al.* (2000) sugerem, ainda, a existência de uma primeira geração de leucogranitos, representada pelo Granito Guarantã com idade de ~ 2,93 Ga e mais antiga que os granitos Xinguara, Mata Surrão e correlatos.

Posteriormente, entre 2,87-2,86 Ga, a região foi afetada por um novo evento magmático que gerou os granitóides TTG jovens, representados pelo Trondhjemitó Mogno (supostamente, como será mostrado no presente trabalho; cf. J. A. C. Almeida, informação verbal), Trondhjemitó Água Fria (Huhn *et al.* 1988, Souza 1994, Leite 2001, Leite *et al.* 2004), granitóides sanukitóides de alto Mg do tipo Granodiorito Rio Maria (Medeiros & Dall'Agnol 1988, Souza 1994, Althoff 1996, Leite 2001, Oliveira *et al.* 2006, 2009, Vasquez *et al.* 2008), e leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcalina tipo Mata Surrão (Duarte 1992), Xinguara (Leite *et al.* 1999, 2004), além do Tonalito Parazônia (Huhn *et al.* 1988, Docegeo 1988), que apresenta idade U/Pb em titanita de 2,58 Ga (Pimentel & Machado 1994; Tabela 1). Após a geração destes granitóides, formaram-se as rochas sedimentares do Grupo Rio Fresco.

Durante o Paleoproterozóico, em torno de 1,88 Ga, a região de Rio Maria foi palco de magmatismo granítico anorogênico (Dall'Agnol *et al.* 2005, 2006, Oliveira, 2001, 2006, Almeida *et al.* 2006), representado na região pelos corpos graníticos da Suíte Jamon (Jamon, Musa, Redenção, Marajoara e Bannach) e por diques félsicos a máficos, por vezes compostos, que são contemporâneos dos granitos proterozóicos, e que seccionam tanto as unidades arqueanas quanto os granitos paleoproterozóicos. O quadro litoestratigráfico do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria pode ser melhor visualizado no mapa geológico da Figura 2, e os principais dados geocronológicos disponíveis estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais dados geocronológicos das rochas arqueanas do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria.

Unidades Estratigráficas	Tipo de Rocha	Método	Material Analisado	Idade/Referência
Granito tipo Xinguara	Leucogranito (Serra do Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2875 ± 11 Ma (1)
		Pb-Pb	Zircão	2881 ± 2 Ma (2)
Granito Xinguara	Leucogranito (área tipo)	Pb-Pb	Zircão	2865 ± 1 Ma (3)
Granito tipo Mata Surrão	Leucogranito (Pau D'Arco)	Pb-Pb	Zircão	2868 ± 5 Ma (4)
Granito tipo Mata Surrão	Leucogranito (Marajoara)	Pb-Pb	Zircão	2871 ± 7 Ma (5)
Granito Mata Surrão	Leucogranito (área tipo)	Pb-Pb	Rocha total	2872 ± 10 Ma (5)
Granodiorito Cumaru	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2817 ± 4 Ma (7)
Tonalito Parazônia	Granitóide	U-Pb	Titanita	2858 Ma (8)
Trondhjemitó Águas Fria	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2864 ± 21 Ma (9, 3)
Trondhjemitó Mogno	Granitóide	U-Pb	Titanita	2871 ± ? Ma (8)
	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2857 ± 13 Ma (10)
	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2900 ± 21 Ma (10)
Granodiorito Rio Maria	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2874 + 9/-10 Ma (11)
	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2872 ± 5 Ma (8)
	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2878 ± 4 Ma (12)
	Granodiorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2879 ± 4 Ma (8)
	Granodiorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2877 ± 6 Ma (2)
	Diorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2880 ± 4 Ma (2)
Granodiorito (S. Inajá)	Pb-Pb	Zircão	2881 ± 8 Ma (2)	
Granito Garantã	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2930 Ma (13)
Complexo Tonalítico Caracol	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 5 Ma (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 3 Ma (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2924 ± 2 Ma (3)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	U-Pb	Zircão	2957+25/-21 Ma (11)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 7 Ma (1)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2981 ± 8 Ma (2)
	Saprólito	Pb-Pb	Zircão	2965 ± 1 Ma (2)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2988 ± 5 Ma (2)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 4 Ma (4)
Supergrupo Andorinhas / Fm. Lagoa Seca	Metagrauvascas	U-Pb	Zircão	2971 ± 18 Ma (11)
	Metavulcânica Félsica	U-Pb	Zircão	2904+29/-22Ma(11)
	Metavulcânica Félsica	U-Pb	Zircão	2979 ± 5 Ma (8)

Fonte dos dados: (1) Rolando & Macambira (2002); (2) Rolando & Macambira (2003); (3) Leite *et al.* (2004); (4) Almeida *et al.* (2008); (5) Althoff *et al.* (1998); (6) Lafon *et al.* (1994); (7) Lafon & Scheller (1994); (8) Pimentel & Machado (1994); (9) Macambira *et al.* (2000); (10) Macambira *et al.* (2000); (11) Macambira (1992); (12) Dall'Agnol *et al.* (1999a); (13) Althoff *et al.* (2000).

1.2.1 - Granitóides TTG do TGGRM

Os granitóides das séries tonalítico-trondhjemitico-granodioríticas (TTG) ocorrem em uma vasta área no TGGRM (Hunh *et al.* 1988, Santos & Pena Filho 2000, Dall’Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008), e foram estudados com diferentes enfoques nas áreas de Xinguara (Leite 2001, Leite *et al.* 2004), Marajoara e Pau D’Arco (Macambira & Lancelot 1996, Althoff 1996, Althoff *et al.* 2000, Almeida *et al.* 2008), e leste de Bannach (Guimarães 2007). Esses granitóides possuem normalmente dimensões batolíticas, porém ocorrem também na forma de stocks e plutons (Leite 2001, Guimarães 2007).

O Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria é formado por granitóides arqueanos, que foram divididos por Dall’Agnol *et al.* (2006), com base em suas características petrográficas, geoquímicas e geocronológicas, em três grupos: 1) associações TTG; 2) associações sanukitóides, representadas pelo Granodiorito Rio Maria e rochas afins; e 3) leucogranitos cálcico-alcálicos. Os três grupos têm idades arqueanas que variam de 2,98 a 2,86 Ga, sendo que entre esses grupos se destacam os tonalitos-trondhjemitos-granodioritos do tipo TTG, que foram divididos em dois subgrupos por apresentarem pelo menos duas gerações distintas, conforme indicado por suas idades (Tabela 2) e relações de campo: 1- TTG antigos, mostrando idades entre 2,98 e 2,92 Ga; 2- TTG jovens que apresentam idades próximas a 2,87 Ga. Conforme Dall’Agnol *et al.* (2006) e levando em consideração as importantes contribuições feitas por Leite (2001), os granitóides da série TTG mais antiga do TGGRM são representados pelo Tonalito Arco Verde e Complexo Tonalítico Caracol, enquanto que o Trondhjemitito Mogno e o Trondhjemitito Água Fria enquadram-se na geração de TTG jovens. Cabe registrar aqui que o posicionamento assumido para o Trondhjemitito Mogno se baseava essencialmente em datação U-Pb em titanita (Pimentel & Machado 1994; Tabela 1), que poderia não corresponder à sua idade de cristalização, e no caráter intrusivo do mesmo nos metabasaltos do Supergrupo Andorinhas (Sequência Identidade; Huhn *et al.* 1988), deduzido com base na presença no trondhjemitito de enclaves máficos, possivelmente pertencentes àquela unidade.

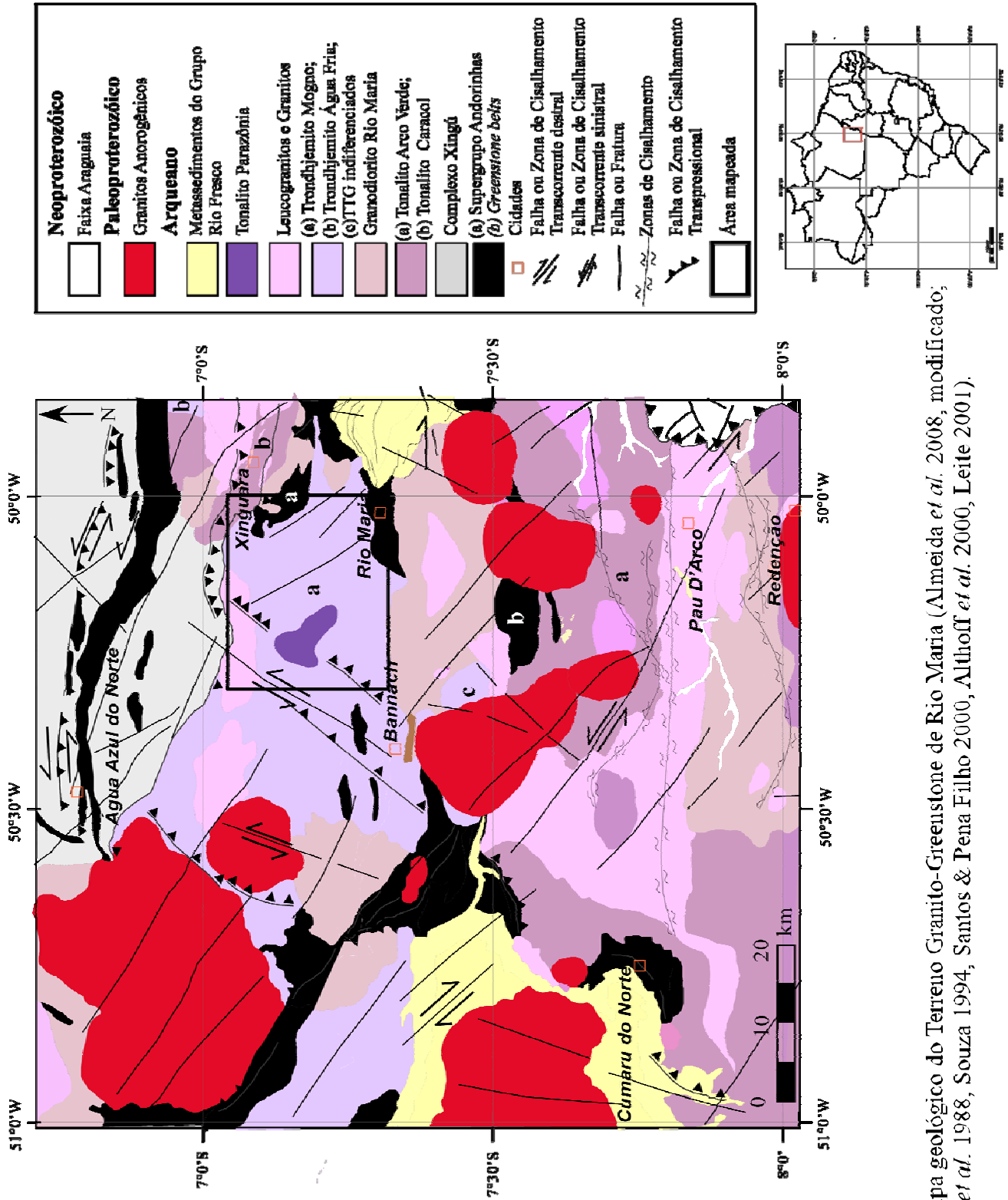


Figura 1 - Mapa geológico do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (Almeida *et al.* 2008, modificado; Fontes: Huhn *et al.* 1988, Souza 1994, Santos & Pena Filho 2000, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001).

Tabela 2 – Principais dados geocronológicos das associações tonalítico-trondhjemitico-granodioríticas (TTG) do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria.

Unidades Estratigráficas	Tipo de Rocha	Método	Material Analisado	Idade/Referência
Tonalito Parazônia	Granitóide	U-Pb	Titanita	2858 Ma (2)
Trondhjemitito Água Fria	Trondhjemitito	Pb-Pb	Zircão	2864 ± 21 Ma (5)
Trondhjemitito Mogno	Granitóide	U-Pb	Titanita	2871 ± ? Ma (2)
	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2857 ± 13 Ma (4)
	Granitóide	Pb-Pb	Zircão	2900 ± 21 Ma (4)
Complexo Tonalítico Caracol	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 5 Ma (5)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 3 Ma (5)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2924 ± 2 Ma (5)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	U-Pb	Zircão	2957+25/-21 Ma (1)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 7 Ma (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2981 ± 8 Ma (6)
	Saprólito	Pb-Pb	Zircão	2965 ± 1 Ma (6)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2988 ± 5 Ma (6)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 4 Ma (7)

Fonte dos dados: (1) - Macambira (1992); (2) - Pimentel & Machado (1994); (3) - Rolando & Macambira (2002); (4) Macambira *et al.* (2000); (5) Leite *et al.* (2004); (6) Rolando & Macambira (2003); (7) Almeida *et al.* (2008).

1.2.1.1 - TTG Antigos

Segundo Dall’Agnol *et al.* (2006), fazem parte deste subgrupo o Tonalito Arco Verde (Althoff 1996, Althoff *et al.* 2000, Almeida *et al.* 2008) e o Complexo Tonalítico Caracol (Leite 2001, Leite *et al.* 2004). São, até o momento, os granitóides mais antigos datados na Província Mineral de Carajás, sendo cortados por granitóides do tipo Granodiorito Rio Maria e afins, TTG jovens, leucogranitos potássicos e granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon.

Conforme Althoff (1996) e Althoff *et al.* (2000), o Tonalito Arco Verde (Figura 2) exhibe uma foliação, com direção de 100 a 120° Az e mergulhos para sul ou norte, definida pela alternância de bandas trondhjemiticas e tonalíticas com dimensões centimétricas a decimétricas (bandamento composicional) e pela orientação preferencial de feldspatos, biotita e de agregados de quartzo policristalino (xistosidade). Em zonas fortemente deformadas o bandamento composicional está associado com xistosidade penetrativa subvertical bem desenvolvida e com enclaves máficos achatados. Segundo os autores citados, essa foliação foi desenvolvida numa ampla faixa de temperatura, desde o estágio magmático até condições subsolidus. Lineação

mineral e lineação de estiramento, quando presentes, são sempre subhorizontais e marcadas pelo alongamento dos cristais de quartzo, os quais mostram microestruturas que sugerem recristalização em condições de média a alta temperatura. Em domínios localizados de baixa deformação, próximos a Vila Marajoara, as feições magmáticas ainda se encontram preservadas, podendo-se observar a textura equigranular do Tonalito Arco Verde com a presença de plagioclásio zonado, com formas euédricas, e quartzo intersticial com ligeira deformação intracristalina.

Em zonas de intensa deformação, é comum a presença de zonas de cisalhamento verticais ou subverticais com sentido de deslocamento subhorizontal, localmente preenchidas por rochas pegmatóides, aplitos ou quartzo. Essas feições ocorrem tanto de modo isolado, como em pares conjugados formando ângulos variáveis (20 até 90°), dependendo da natureza do regime deformacional (sinmagmático, dúctil ou rúptil).

O Complexo Tonalítico Caracol (Figura 2), conforme Leite (2001), apresenta um bandamento composicional de ocorrência muito regular, definido por bandas com espessuras variáveis entre 3 e 15 cm, formadas predominantemente por minerais félsicos (plagioclásio + quartzo), alternadas com bandas enriquecidas em biotita e minerais acessórios. Na maioria das vezes, essas rochas mostram-se muito deformadas, porém há raros afloramentos em que a textura magmática primária da rocha encontra-se preservada. Nestes locais, os minerais que compõem as bandas estão pouco deformados, evidenciando que o bandamento composicional do Complexo Tonalítico Caracol deve ter se desenvolvido durante os estágios submagmático a subsolidus. O bandamento composicional dispõe-se em duas direções preferenciais: localmente, em domínio a noroeste de Xinguara, o bandamento mostra direção N-S e mergulhos subverticais, tanto para leste quanto para oeste; já na região a sul de Xinguara, exibe orientação NW-SE e mergulhos que variam de 40° a subverticais, para SW (A existência de domínios de TTGs com orientações contrastantes das foliações também foi constatada na área estudada, sendo seu significado discutido no artigo que aborda o Trondhjemito Mogno, capítulo 2). Como hipótese para explicar o comportamento geral deste bandamento, Leite (2001) admite que o Complexo Tonalítico Caracol tenha formado originalmente uma ou mais estruturas dômicas com as foliações nas bordas dos corpos sendo concordantes com os limites destes. Tais estruturas teriam orientações variáveis e localmente próximas a N-S, tendo sido afetadas por deformação coaxial e não coaxial, porém preservando suas direções originais em alguns locais. Onde a foliação dômica era próxima

de NW-SE e E-W, ela foi apenas acentuada pela deformação posterior. Por vezes, o bandamento composicional de direção N-S configura dobras centimétricas a métricas que variam de suaves a apertadas, podendo apresentar padrões complexos, como o da dobra em caixa. O bandamento composicional do Complexo Tonalítico Caracol acha-se localmente deslocado por bandas de cisalhamento dúctil de espessura centimétrica, interpretadas pelo autor como posteriores à formação do bandamento e relacionadas ao esforço responsável pelo dobramento deste. Leite (2001) observou ainda, na porção oeste da área de Xinguara, a presença de uma zona de cisalhamento no Complexo Tonalítico Caracol com movimento oblíquo de baixo ângulo, com componentes transcorrentes e de cavalgamento e deslocamento para SE. Concluiu que a sua formação se deu após a cristalização da rocha.

As rochas que formam os TTGs antigos são bastante similares petrograficamente e caracterizam-se por exibir coloração cinza clara a escura e textura fanerítica, equigranular ou heterogranular, com granulação média, eventualmente grossa. Em rochas afetadas por cisalhamento, são comumente observados fenoclastos ovalados de plagioclásio em matriz fina, fortemente foliada. São constituídas essencialmente por plagioclásio e quartzo, tendo a biotita como principal fase ferromagnésiana. Dentre os minerais acessórios destacam-se zircão, titanita, opacos, allanita, epidoto, apatita e micas brancas.

Para Althoff (1996) e Althoff *et al.* (2000), o Tonalito Arco Verde é uma típica suíte TTG, seguindo um trend de enriquecimento em Na_2O nas rochas mais evoluídas, distinto daquele das séries cálcico-alcalinas, e apresentando características geoquímicas similares às dos trondhjemitos com alto Al_2O_3 . Segundo Leite (2001), o magma gerador do Tonalito Arco Verde seria derivado de fusão parcial de um granada-anfibolito, com o magma inicial evoluindo por cristalização fracionada. Os padrões de elementos terras raras são desprovidos de anomalia de Eu marcante. Este aspecto e o forte fracionamento e empobrecimento em elementos terras raras pesados sugerem que fracionamento simultâneo de plagioclásio e anfibólio teria sido efetivo durante a evolução magmática, seja por sua retenção na fonte, seja por sua separação durante a cristalização e diferenciação do magma (Dall'Agnol *et al.* 1996, 1997).

Em termos microscópicos, o Complexo Tonalítico Caracol é caracterizado por mostrar dois tipos texturais distintos: o primeiro exhibe textura heterogranular média, com bandas essencialmente quartzo-feldspáticas e bandas comparativamente enriquecidas em minerais máficos, principalmente biotita; o segundo teve sua textura ígnea original obliterada pela

deformação (Leite 2001). Suas rochas dominantes são muito similares às do Tonalito Arco Verde, sendo constituídas essencialmente por plagioclásio e quartzo, sendo o principal mineral ferromagnesiano a biotita.

Leite (2001) mostra que o Complexo Tonalítico Caracol e o Trondhjemitito Água Fria, que afloram na região de Xinguara (Figura 2), são ambos granitóides do tipo TTG, sendo que o segundo apresenta um ligeiro enriquecimento em K_2O nos termos mais evoluídos. O Complexo Tonalítico Caracol pode ser geoquimicamente dividido em dois grupos, um com baixa e outro, mais abundante, com mais altas razões $(La/Yb)_N$, sendo que o primeiro apresenta, ainda, anomalia negativa de európio significativa, o que não é observado no segundo. O magma gerador das rochas do Complexo Tonalítico Caracol com altas razões $(La/Yb)_N$ seria oriundo da fusão de metabasaltos não enriquecidos, previamente transformados em granada-anfibolito. Tais metabasaltos poderiam provavelmente corresponder aos do Greenstone Belt de Identidade ou de rochas geoquimicamente similares, de acordo com Leite (2001).

1.2.1.2 - TTG Jovens

A associação de TTG jovens seria representada no TGGRM (Figura 2), segundo Dall'Agnol *et al.* (2006), pelos trondhjemitos Água Fria (Leite 2001) e Mogno (Huhn *et al.* 1988, Santos & Pena Filho 2000). Um pluton de composição trondhjemitica, aflorante a leste da cidade de Bannach, foi correlacionado ao Trondjemito Mogno devido às suas semelhanças petrográficas e geoquímicas (Guimarães 2007), porém são indispensáveis datações geocronológicas para confirmar esta interpretação. No domínio de ocorrência do Trondhjemitito Mogno (Figura 2), foi individualizado também um corpo de rochas tonalíticas, denominado de Tonalito Parazônia (Huhn *et al.* 1988, Santos & Pena Filho 2000). Esta unidade ainda se encontra muito pobremente caracterizada e forneceu uma idade de 2.858 Ma (U-Pb em titanita, Tabela 1), que não é conclusiva sobre sua idade de cristalização.

As relações de campo dos TTG jovens mostram que são intrusivos em greenstones belts, TTG antigos, granitóides ricos em MgO (sanukitóides) (Oliveira *et al.*, 2006, 2009) e contemporâneos aos leucogranitos potássicos do tipo Xinguara (Leite 2001, Leite *et al.* 2004).

Leite (2001), no estudo do Trondhjemitito Água Fria na região de Xinguara, mostra que a principal estrutura desta unidade é uma foliação marcada por um bandamento composicional (alternância de bandas quartzo-feldspáticas com bandas cinza enriquecidas em minerais máficos),

em geral com orientação NW-SE a WNW-ESE e mergulhos verticais, embora, em afloramentos localizados, este bandamento apresente-se com direção N-S e mergulho subvertical. Segundo Leite (2001), o Trondhjemito Água Fria distingue-se do Complexo Tonalítico Caracol por apresentar uma deformação menos intensa, bandas menos espessas e mais regulares e um maior número de enclaves. No entanto, uma distinção mais rigorosa só pode ser feita com auxílio de relações de campo e dados petrográficos, geoquímicos e geocronológicos.

Microscopicamente, os fedspatos do Trondhjemito Água Fria estão menos deformados do que os do Complexo Tonalítico Caracol, porém, também mostram feições de recristalização em suas bordas, marcando o início da formação de textura manto e núcleo. O quartzo mostra-se levemente recristalizado; já a biotita possui formas hipidiomórficas sem a presença de kinks. A fraca intensidade da deformação desses minerais sugere que o bandamento composicional se formou a partir do estágio submagmático.

Em algumas porções localizadas, no contato com o Granito Xinguara, o bandamento mostra eventualmente direção N-S. Nestes locais, ocorrem veios do Granito Xinguara dispostos paralelamente ao bandamento do trondhjemito, sendo que no contato entre o veio e o Trondhjemito Água Fria não foram observadas bordas de resfriamento, sugerindo que essas rochas cristalizaram simultaneamente (Leite 2001).

São comuns enclaves métricos alongados do Complexo Tonalítico Caracol englobados pelo Trondhjemito Água Fria. Tais enclaves encontram-se budinados e se dispõem sempre paralelamente ao bandamento de direção WNW-ESE, ao qual se amoldam. Bandas de cisalhamento dúctil de direção N20W ou N80E com planos verticais ocorrem localmente deslocando o bandamento composicional.

Em amostras de mão, o bandamento composicional do Trondhjemito Água Fria, tanto no plano XZ como no YZ, mostrou que não há registro de rotação de grãos e nem de existência de lineação mineral, sugerindo que a foliação foi gerada em regime de deformação coaxial de alta temperatura.

Essas rochas apresentam textura granular média, coloração cinza clara e estrutura anisotrópica (foliação e bandamento composicional). As rochas que apresentam bandamento composicional alternam níveis cinza claro com níveis de cor cinza escuro, estes mais ricos em máficos. São comuns, mobilizados quartzo-feldspáticos e quartzosos os quais ocorrem como níveis concordantes ou discordantes ao bandamento. Os TTG jovens são denominados

trondhjemitos, devido à maioria de suas amostras apresentarem conteúdo de máficos inferior a 10%, porém existem variações para tonalitos e, subordinadas, para termos granodioríticos.

As rochas TTG jovens são constituídas essencialmente por plagioclásio e quartzo, sendo que o álcali-feldspato é um constituinte acessório nos trondhjemitos, passando a ser significativo nos granodioritos. A biotita constitui a principal fase ferromagnesianas. Os minerais acessórios são representados por opacos, epidoto, allanita, titanita, apatita e zircão. As principais fases secundárias são sericita-muscovita e epidoto, ambos substituindo o plagioclásio, e epidoto e titanita, substituindo a biotita (Leite 2001). Em linhas gerais, os TTG antigos e jovens são similares petrograficamente, se diferenciando fundamentalmente pelo conteúdo de minerais máficos, ligeiramente superior nos primeiros.

Segundo Leite (2001), as associações TTG mais jovens (trondhjemitos Mogno e Água Fria), apesar da dominância de trondhjemitos, são similares geoquimicamente aos TTG antigos. Os magmas que formaram os trondhjemitos foram provavelmente derivados de processos semelhantes aos que formaram os TTG antigos. As amostras dos TTG Jovens, apesar de se posicionarem no campo dos típicos trondhjemitos arqueanos (Martin 1994), mostram um enriquecimento gradual em K nos termos mais ricos em sílica, o que reflete a formação tardia de termos granodioríticos e sugere uma afinidade maior com as séries cálcico-alcálicas (Nockolds & Allen 1953, Barker & Arth 1976).

Guimarães (2007) estudou rochas tonalíticas-trondhjemiticas que estão localizadas na região de Bannach (Figura 2), porção centro-oeste do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (TGGRM). Afloram como um corpo alongado na direção NNW, constituído morfologicamente por morros e serras. Apresentam coloração que varia de cinza a cinza claro (tonalitos) a esbranquiçada (trondhjemitos). Em termos texturais são, fundamentalmente, equigranulares de granulação média, podendo sua granulação variar localmente para grossa ou, subordinadamente, fina. Essas rochas são constituídas essencialmente por quartzo e plagioclásio, tendo a biotita como principal mineral máfico e sendo os minerais acessórios representados por álcali-feldspato, opacos, epidoto, apatita, allanita, titanita e zircão. As principais fases secundárias são clorita, sericita-muscovita e epidoto. As rochas em questão constituem um típico granitóide da série trondhjemitica, conforme atestam os seguintes parâmetros geoquímicos: $Fe_2O_3 + MgO + TiO_2 < 5$, razão $K_2O/Na_2O < 0,5$ (Guimarães 2007). Além disso, segue o trend trondhjemitico, em diagrama K-Na-Ca, mostrando um enriquecimento gradual de K nos termos mais ricos em sílica

(Guimarães 2007). De modo geral, as características químicas das rochas TTGs formadoras do corpo a sudeste de Bannach se aproximam daquelas dos granitóides TTG jovens. Porém, este fato não é suficiente para correlacionar o referido corpo TTG com a série mais jovem de TTG do TGGRM, sendo indispensáveis datações geocronológicas das rochas TTGs do corpo em questão para concluir a este respeito.

O Tonalito Parazônia foi descrito originalmente por Docegeo (1988) e Hunh *et al.* (1988), sendo englobados, sob esta denominação, stocks e soleiras de composição tonalítica, bem expostos na Fazenda Parazônia (Figura 2). As rochas formadoras desta unidade seriam constituídas, principalmente, por plagioclásio (70-75%), quartzo (15-20%) e biotita cloritizada (5-10%). Esse granitóide foi datado pelo método U-Pb em titanita, tendo fornecido idade de 2858 Ma (Pimentel & Machado 1994, Tabela 1).

1.3 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Os TTG no Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria apresentam uma vasta ocorrência, e foram estudados em maior detalhe na região de Xinguara (Leite 2001, Leite *et al.* 2004), vilas Marajoara e Pau D'Arco (Althoff 1996, Althoff *et al.* 2000, Almeida *et al.* 2008), sudoeste do Granito Bannach (Almeida *et al.* 2008) e a leste do mesmo (Guimarães 2007). Nos trabalhos anteriores (Ver Dall'Agnol *et al.* 2006), foram identificados dois grupos principais de TTGs, distinguidos em função de suas idades: 1) TTG antigos com idades entre 2,98 e 2,92 Ga; 2) TTG jovens com idades próximas a 2,87 Ga.

Apesar de o Trondhjemitó Mogno possuir ampla distribuição areal no TGGRM (Figura 2) e ser, supostamente, a unidade que melhor representaria os TTGs jovens daquele terreno, encontra-se, ainda, muito pobremente estudado. As datações geocronológicas efetuadas neste granitóide são limitadas (Tabelas 1 e 2) e não são conclusivas sobre sua idade. As duas idades Pb-Pb em zircão disponíveis (Macambira *et al.* 2000) não se superpõem (2857 ± 13 Ma e 2900 ± 21 Ma) e a idade U-Pb em titanita (2871 Ma) tem sua interpretação dependente da origem da titanita datada, a qual poderia ser secundária e formada posteriormente a cristalização da rocha. É evidente também que esta unidade, por sua importância em área e no contexto evolutivo do TGGRM, está carecendo de uma melhor caracterização geológica, petrográfica e geoquímica, de modo similar ao que foi feito com o Trondhjemitó Água Fria em sua área-tipo, a norte de Xinguara (Leite 2001, Leite *et al.* 2004). Como os dados geoquímicos mais consistentes sobre os

TTGs jovens se limitam atualmente ao Trondhjemito Água Fria, isto impõe severas limitações à caracterização destes e dificulta estabelecer comparações entre os mesmos e os demais TTGs do TGGRM.

Outro ponto polêmico a respeito do Trondhjemito Mogno é que o mesmo tem sido descrito como uma unidade que apresenta feições estruturais similares às exibidas pelos demais granitóides arqueanos do TGGRM. Entretanto, Santos & Pena Filho (2000) observaram que rochas desta associação apresentam uma trama planar de direção NE-SW, discordante da estruturação geral e isto os levou a interpretar esta unidade como embasamento do TGGRM. Embora este posicionamento estratigráfico não pareça justificado, as observações daqueles autores colocam em dúvida a exatidão das informações estruturais disponíveis sobre a unidade ou apontam para a existência de heterogeneidades na mesma, pelo menos do ponto de vista estrutural. Como Leite (2001) também observou contrastes estruturais expressivos em diferentes domínios do Complexo Tonalítico Caracol, a importância do entendimento desta possível variação de padrão estrutural transcende o contexto local.

O Tonalito Parazônia, por sua vez, embora apresentado como outro corpo granitóide que pertenceria às associações TTG (Hunh *et al.* 1988), possivelmente um pouco mais jovem que as mesmas (idade U-Pb em titanita de 2858 Ma; Tabela 1; Pimentel & Machado 1994), também foi descrito de modo muito sumário, não se dispondo de informações mais precisas sobre suas relações estratigráficas e feições estruturais. Há, portanto, necessidade de maior detalhamento da geologia de sua área de ocorrência, bem como de aprimoramento de sua caracterização petrográfica e geoquímica. A idade disponível, por ter sido obtida em titanita, também deixa dúvidas quanto ao seu significado e isto dificulta a definição do posicionamento estratigráfico daquele granitóide e do seu papel na evolução do TGGRM.

Por outro lado, o avanço na caracterização e entendimento das rochas TTG, que ocorrem nos diversos terrenos arqueanos no mundo, incluindo o TGGRM, é indispensável quando o objetivo mais amplo é o de procurar entender a origem e a evolução magmática das rochas arqueanas que formam estes terrenos, bem como a evolução tectônica do terreno em si (Moyen *et al.* 2003, Martin *et al.* 2005, Lobach-Zuchenko *et al.* 2005). A importância em obter conhecimento cada vez mais profundo sobre rochas das séries TTG, deve-se à sua grande distribuição areal em terrenos arqueanos, bem como ao fato de, os processos que ocasionaram

suas origens fornecerem valiosas informações sobre as condições tectono-termiais que reinaram quando da sua formação, permitindo, portanto, extrapolações sobre a evolução do Arqueano.

Portanto, espera-se que os estudos da associação TTG, representada pelo Trondhjemitó Mogno, e das rochas arqueanas a ele associadas, com destaque para o Tonalito Parazônia, permitam uma melhor caracterização destes granitóides em termos geocronológicos, geológicos, petrográficos e geoquímicos. Isto deveria contribuir para um melhor entendimento das suítes TTG do TGGRM e, indiretamente, auxiliar na construção de modelos para explicar a evolução tectônica do TGGRM.

1.4 - OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo contribuir para a ampliação do conhecimento das séries TTG do TGGRM, com ênfase no Trondhjemitó Mogno, considerado como representativo das séries TTG jovens do TGGRM, e no Tonalito Parazônia. Para tanto, foram estabelecidos para o presente trabalho os seguintes objetivos:

- ✓ Realizar um mapeamento na escala 1:100.000 da porção leste da principal área de ocorrência do Trondhjemitó Mogno, incluindo sua área-tipo (Figura 2), buscando esclarecer as relações entre este e os demais granitóides arqueanos do TGGRM;
- ✓ Efetuar mapeamento na escala 1:100.000 da área de ocorrência do Tonalito Parazônia, definindo melhor seus limites de ocorrência e relações de campo com as demais unidades;
- ✓ Caracterizar petrograficamente o Trondhjemitó Mogno, Tonalito Parazônia e demais rochas arqueanas associadas, definindo suas possíveis variedades faciológicas, composições modais, transformações pós-magmáticas e feições deformacionais;
- ✓ Definir as características geoquímicas dos granitóides mencionados, com intuito de melhor caracterizar a sua tipologia e série magmática, bem como buscar uma compreensão preliminar da sua evolução petrogenética;
- ✓ Comparar as características geológicas, petrográficas e geoquímicas do Trondhjemitó Mogno e de outras possíveis ocorrências de TTGs na área estudada, com as duas gerações de TTG que ocorrem no TGGRM, com o intuito de avaliar as similaridades e contrastes existentes;
- ✓ Comparar o Tonalito Parazônia e as demais rochas arqueanas porventura identificadas com as rochas similares que ocorrem no TGGRM.

Uma das grandes lacunas do conhecimento geológico do Trondhjemitó Mogno, Tonalito Parazônia e demais granitóides arqueanos associados vem da indefinição de suas idades e, em consequência, do seu posicionamento estratigráfico. Para datar esses granitóides, foi desenvolvido em paralelo por J. A. C. Almeida, em sua tese de doutorado, um estudo geocronológico pelos métodos Pb-Pb e U-Pb em zircão. Portanto, embora o estudo geocronológico não se inclua entre os objetivos do presente trabalho, a autora teve acesso às informações obtidas por aquele pesquisador e isso foi fundamental para avanços nas interpretações.

1.5 - MÉTODOS

1.5.1- Pesquisa Bibliográfica

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica detalhada referente à geologia da região estudada, principalmente sobre os TTG. Além disso, foram pesquisados temas específicos, concernentes à evolução, petrogênese e geoquímica de granitóides TTG e demais rochas arqueanas.

1.5.1- Mapeamento Geológico

Foi realizada uma campanha de campo no período de 15 a 29 de outubro de 2007, que consistiu no levantamento sistemático dos afloramentos existentes ao longo de estradas e caminhos trafegáveis, acompanhado de coleta de amostras (Figura 3). Desta campanha participaram, além da autora e seu orientador, os pesquisadores do GPPG, Marcelo Augusto de Oliveira, Davis Carvalho de Oliveira e Gilmara Regina Lima Feio. Foi efetuado o levantamento de grandes perfis, de preferência em sentido transversal às estruturas regionais dominantes, tendo sido efetuadas medidas sistemáticas de estruturas e procurado observar as relações de contato entre os diferentes granitóides.

O mapeamento geológico foi realizado na escala 1:100.000, tendo sido descritos cerca de 105 afloramentos (Anexo 1), em sua grande maioria nos domínios do Trondhjemitó Mogno e do Tonalito Parazônia, porém, cobrindo igualmente, outras rochas arqueanas associadas e diques Proterozóicos. Os pontos de amostragem tiveram suas localizações definidas com precisão, utilizando aparelho GPS (Global Position System), e foram posteriormente lançados em uma base georeferenciada para produção do mapa de amostragem (Figura 3).

1.5.3- Petrografia

Para a caracterização petrográfica foram realizadas descrições macroscópicas que serviram de base para seleção de amostras para estudos microscópicos. Foram confeccionadas 63 lâminas delgadas dos diversos litotipos que afloram na área estudada.

A análise microscópica foi feita descrição das feições microscópicas das diversas litologias identificadas no mapeamento, destacando-se as transformações pós-magmáticas e feições devidas à deformação. Esta etapa foi seguida de análise textural, tentando compreender como se deu a cristalização destas rochas e sua evolução no estágio subsolidus. Foram realizadas 30 análises modais em amostras representativas das rochas estudadas, utilizando um contador eletrônico de pontos, da marca Swift, onde foram contados em média 1.800 pontos para cada lâmina, sendo analisada apenas uma lâmina por amostra. Os dados assim obtidos foram recalculados e plotados em diagrama QAP (Streckeisen 1976, Le Maitre 2002), permitindo assim classificar adequadamente as rochas estudadas, conforme estabelecido pela IUGS.

1.5.4- Geoquímica

Com base nos estudos petrográficos prévios, foram selecionadas 27 amostras para análises químicas em rocha total, dos diversos litotipos que afloram na área. As amostras a serem analisadas foram trituradas, pulverizadas, homogeneizadas e quarteadas, visando obter uma boa representatividade do material. Esta etapa foi realizada no Laboratório de Sedimentologia e na Oficina de Preparação de Amostras (OPA), ambos pertencentes ao Instituto de Geociências da UFPA.

As análises químicas foram realizadas no Laboratório ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD., sendo os elementos maiores e menores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) analisados por fluorescência de raios-X, ao passo que os elementos-traço (Rb, Sr, Ba, Ga, Y, Zr, Nb, U, Th, Cr, Ni, V), incluindo os elementos terras raras (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb e Lu), foram analisados por ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry). Os dados obtidos permitiram discriminar e classificar com maior segurança as rochas do Trondhjemito Mogno e dos demais granitóides arqueanos, bem como compará-las com rochas similares.

A caracterização geoquímica destas rochas tomou como referência os princípios gerais discutidos em Ragland (1989) e Rollinson (1993) e se baseou na avaliação do comportamento dos diferentes elementos em diversos diagramas geoquímicos difundidos na literatura:

- Elementos Maiores e menores: diagramas de variação e diagramas para definição das principais características geoquímicas (Shand 1950, Barker 1979, La Roche *et al.* 1980, Martin 1987, Debon & Le Fort 1988, Martin *et al.* 1997, 1999); avaliação preliminar das séries magmáticas e tipologia.

- Elementos Traços: tipologia e assinatura dos granitos (Chappell 1996, Barros *et al.* 1997, Sylvester 1989, 1994, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001, Dall'Agnol *et al.* 2006); avaliação de possíveis processos magmáticos; comportamento dos elementos litófilos durante o processo de diferenciação (Rb, Sr, Ba; Wedepohl 1970, Hanson 1979, 1989, Dall'Agnol *et al.* 1999b).

- Elementos Terras Raras: possíveis fases fracionadas durante a geração do magma ou de seu processo de cristalização (Henderson 1984, Dall'Agnol *et al.* 1999a).

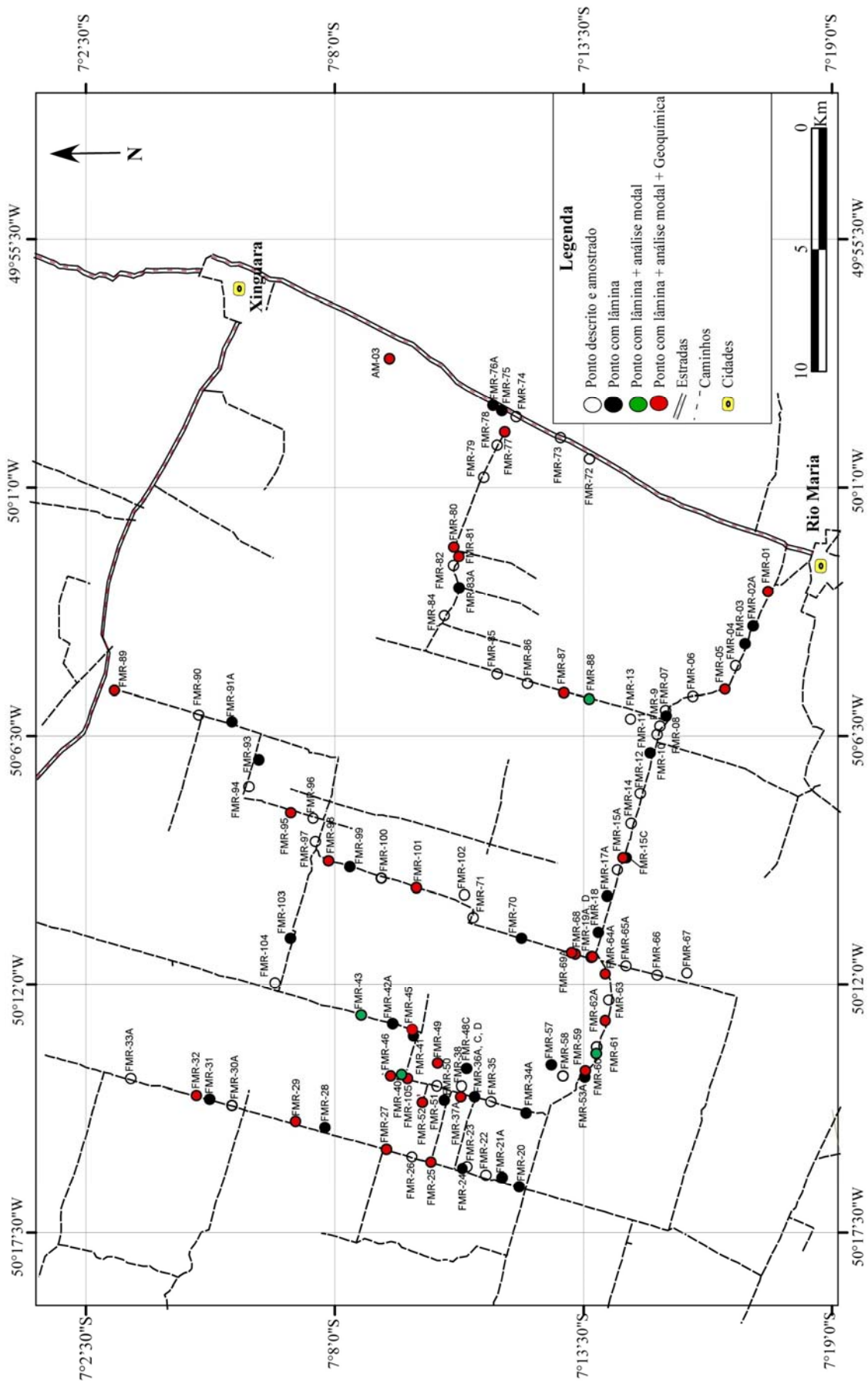


Figura 3- Mapa de amostragem na área estudada.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA, PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DO TRONDHJEMITO MOGNO E TONALITO MARIAZINHA, TERRENO GRANITO-GREENSTONE DE RIO MARIA – PARÁ.

Fabriciana Vieira Guimarães^{1,2} (fabricia@ufpa.br), Roberto Dall’agnol^{1,3} (robdal@ufpa.br), José de Arimatéia Costa de Almeida^{1,2} (ari@ufpa.br), Marcelo Augusto de Oliveira^{1,2} (mao@ufpa.br)

¹Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) - Instituto de Geociências (IG) – Universidade Federal do Pará (UFPA). Caixa Postal 8608, CEP-66075-900, Belém, Pará.

²Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) – IG - UFPA

³Instituto de Geociências (IG) –(UFPA).

RESUMO

O Trondhjemito Mogno, uma das mais expressivas associações TTG do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), tida como representativa da segunda geração de TTGs daquele terreno, apresenta, em sua principal área de ocorrência, diferenças estruturais, petrográficas, geoquímicas e geocronológicas, que levaram à sua separação em duas associações TTG distintas. A designação de Trondhjemito Mogno foi mantida para a associação dominante, com padrão estrutural NW-SE a EW, distribuída nos domínios leste e oeste da área mapeada. A nova associação identificada na porção centro-oeste da área mapeada, com foliação dominante alinhada segundo NE-SW a N-S foi denominada de Tonalito Mariazinha. Foi assim reduzida à área de ocorrência do Trondhjemito Mogno e definida uma nova unidade estratigráfica na região. Dados geocronológicos inéditos revelam que o Trondhjemito Mogno e o Tonalito Mariazinha possuem idades distintas e não fazem parte da segunda geração de TTGs do TGGRM. As duas associações TTG estudadas são constituídas por epidoto-biotita tonalitos e trondhjemitos, os quais pertencem ao grupo de TTG com alto Al₂O₃ e possuem características geoquímicas compatíveis com as dos típicos granitóides arqueanos da série trondhjemítica. Comparações com TTGs da região de Xinguara mostram que o Trondhjemito Mogno possui características geoquímicas transicionais entre o Complexo Tonalítico Caracol e o Trondhjemito Água Fria, enquanto que o Tonalito Mariazinha apresenta maiores semelhanças com o Complexo Tonalítico Caracol. Os estudos efetuados no Trondhjemito Mogno e granitóides arqueanos associados

demonstram que as associações TTG do TGGRM são mais diversificadas do que era admitido e contribuíram significativamente para sua melhor compreensão, reduzindo expressivamente as ocorrências da segunda geração de TTGs naquele terreno e levando à identificação de uma nova associação TTG.

Palavras-Chaves: Trondhjemite, Tonalito, TTG, Arqueano, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria.

ABSTRACT

The Mogno Trondhjemite is one of the largest TTG units of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane (RMGGT). It was considered as representative of the second generation of Archean TTG in that terrane. However, field, petrographical, geochemical, and geochronological studies demonstrated the existence of two distinct TTG units in its principal area of occurrence. For the dominant TTG unit, showing NW-SE to EW foliation and distributed in the eastern and western domains of the mapped area, the denomination of Mogno Trondhjemite was maintained. The new TTG unit, identified in the center-western domain, displays a NE-SW to NS dominant trend and was named Mariazinha Tonalite. Hence, the original area of occurrence of the Mogno Trondhjemite was significantly reduced. Moreover, Pb-Pb zircon ages indicate that the Mogno Trondhjemite and the Mariazinha Tonalite are neither coeval, nor related to the second generation of TTGs of the RMGGT. The two TTG units studied are composed of epidote-biotite tonalites and trondhjemites of the high Al_2O_3 type, with geochemical characteristics similar to those of the typical Archean TTG granitoids. Compared with the Archean TTG units of Xinguara region, the Mogno Trondhjemite geochemical characteristics are transitional between those of the Caracol Tonalitic Complex and the Água Fria Trondhjemite, while those of the Mariazinha Tonalite approaches those of the Caracol Tonalitic Complex. The studies underwent in the Mogno Trondhjemite and associated Archean granitoids demonstrated that the TTG series of the RMGGT are more diversified and complex than previously admitted. The domain of the second Archean generation of TTG of the RMGGT was drastically reduced and a new Archean TTG association, the Mariazinha Tonalite, was identified and characterized.

Keywords: Trondhjemite, Tonalite, TTG, Archean, Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton.

INTRODUÇÃO

O magmatismo arqueano presente no Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (TGGRM), localizado no sudeste do Estado do Pará (Figura 1), é bastante diversificado, sendo constituído por unidades com idades variando de 2,98 a 2,86 Ga, formadas fundamentalmente por *greenstone belts* e associações granitóides, entre as quais se destacam suítes TTG (Huhn *et al.* 1988, Santos & Pena Filho 2000, Althoff *et al.* 2000, Souza *et al.* 2001, Leite *et al.* 2004, Dall’Agnol *et al.* 2006, Almeida *et al.* 2008, Vasquez *et al.* 2008).

Um dos principais corpos correlacionados ao magmatismo TTG do TGGRM é o Trondhjemitó Mogno, descrito inicialmente por Cordeiro & Saueressig (1980), Huhn *et al.* (1988) e DOCEGEO (1988), para o qual foi obtida uma idade de ca. 2,87 Ga (U-Pb em titanita; Pimentel & Machado 1994). Esta datação geocronológica não fornece total segurança quanto à idade de cristalização da unidade, mas evidências de campo, interpretadas como indicativas de que seria intrusivo nos *greenstone belts* e no Granodiorito Rio Maria (Huhn *et al.* 1988), somadas à idade mencionada, serviram de base para o posicionamento estratigráfico do Trondhjemitó Mogno (Figura 1), o qual foi, de modo geral, mantido em trabalhos subseqüentes (Souza 1994, Althoff *et al.* 2000, Souza *et al.* 2001, Leite *et al.* 2004, Dall’Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008). Embora apresente uma ampla distribuição areal no TGGRM, esse granitóide TTG foi pouco estudado, o que demonstra a necessidade da realização de estudos mais detalhados sobre o mesmo.

O presente trabalho visava originalmente melhorar a caracterização geológica, petrográfica, e geoquímica da porção leste da principal área de ocorrência do Trondhjemitó Mogno e, com isto, alcançar um melhor entendimento da evolução deste granitóide. Porém, o desenvolvimento da pesquisa levou à identificação na área mapeada de duas associações TTG distintas, as quais são definidas e caracterizadas no presente trabalho.

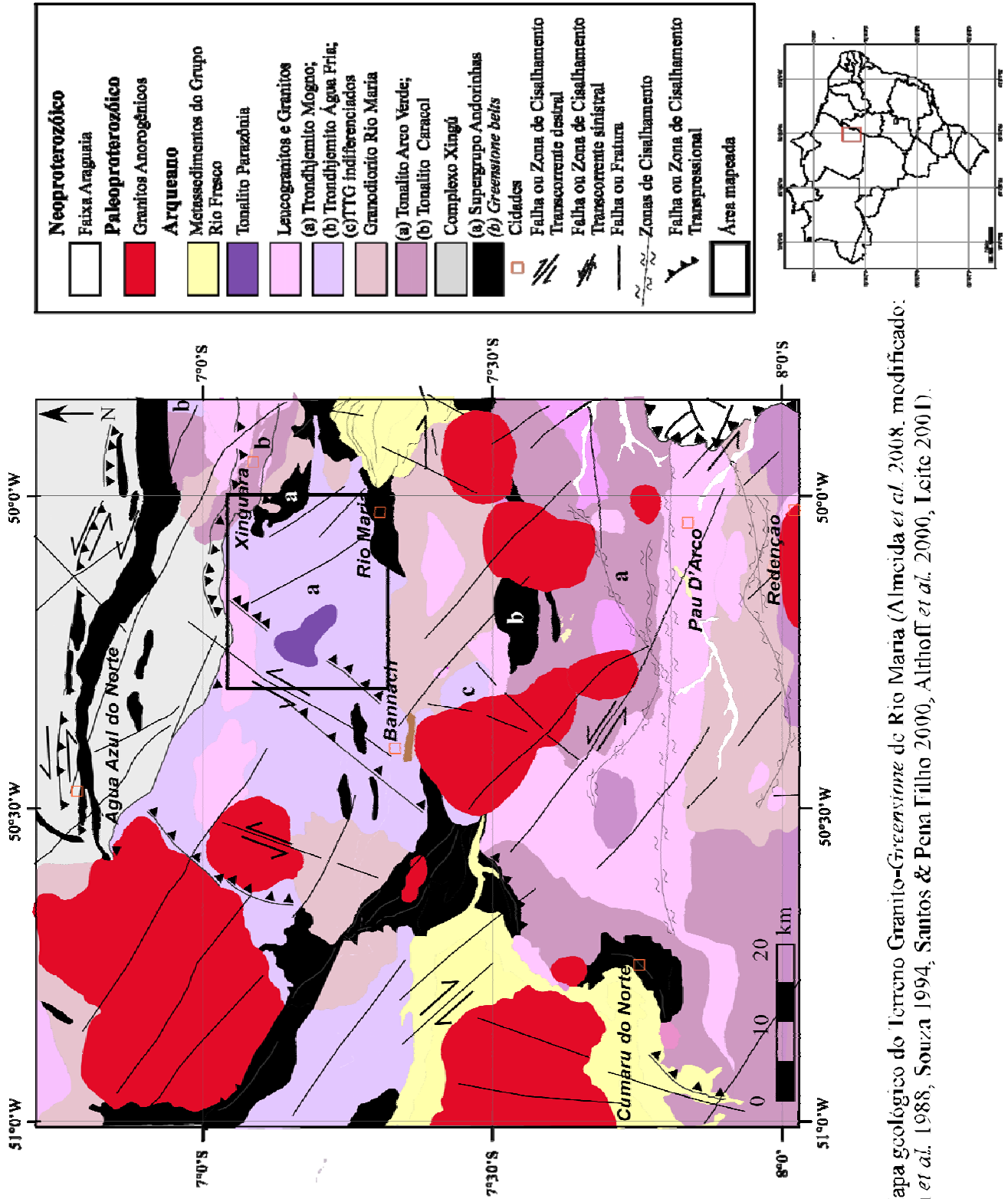


Figura 1 - Mapa geológico do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (Almeida *et al.* 2008, modificado). Fontes: Huhn *et al.* 1988, Souza 1994, Santos & Pena Filho 2000, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001).

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O TGGRM está localizado no sudeste do Cráton Amazônico nos domínios da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira 2004) ou Carajás (Santos 2003). Apresenta como unidade mais antiga o Supergrupo Andorinhas, constituído por *greenstone belts*, com idades que variam de 2,98 a 2,90 Ga (Macambira 1992, Pimentel & Machado 1994). Contemporaneamente, entre 2,98 e 2,92 Ga, foram originados corpos plutônicos da série TTG, englobados no Tonalito Arco Verde, que apresenta idades U/Pb em zircão variáveis entre 2,98 e 2,94 Ga (Macambira 1992, Macambira & Lafon 1995, Rolando & Macambira, 2002, 2003, Almeida *et al.* 2008), e no Complexo Tonalítico Caracol, com idades variáveis de 2,95 a 2,92 Ga (Leite *et al.* 2004). Althoff *et al.* (2000) sugerem, ainda, a existência de uma geração de leucogranitos com idade de ~ 2,93 Ga representada pelo Granito Guarantã.

Em 2,87 e 2,86 Ga, novo evento magmático gerou diferentes granitóides: 1) TTGs representados pelo Trondhjemitó Águas Frias e, hipoteticamente, pelo Trondhjemitó Mogno (Huhn *et al.* 1988, Souza 1994, Leite *et al.* 2004); 2) granitóides sanukitóides de alto Mg do tipo Granodiorito Rio Maria (Medeiros & Dall'Agnol 1988, Souza 1994, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001, Oliveira *et al.* 2006, 2009); 3) leucogranitos de afinidade cálcico-alcálica, tipo Mata Surrão (Duarte 1992) e Xinguara (Leite *et al.* 1999, 2004). Foi individualizado, ainda, o Tonalito Parazônia (Huhn *et al.* 1988), que forneceu uma idade de 2858 Ma (U-Pb em titanita; Pimentel & Machado 1994) e seria intrusivo no Trondhjemitó Mogno, relação esta não confirmada por Souza (1994). Após a geração destes granitóides, formaram-se as rochas sedimentares do Grupo Rio Fresco.

Em torno de 1,88 Ga, a região foi palco de magmatismo granítico anorogênico (Dall'Agnol *et al.* 2005, Oliveira 2006, Almeida *et al.* 2006), representado pelos corpos graníticos da Suíte Jamon e por diques félsicos e máficos (Silva Jr. *et al.* 1999), que são contemporâneos dos granitos proterozóicos.

GRANITÓIDES TTG DO TGGRM

As associações TTGs têm vastas exposições no TGGRM e foram estudadas com diferentes enfoques nas áreas de Xinguara (Leite *et al.* 2004), Marajoara/Pau D'Arco (Althoff 1996, Althoff *et al.* 2000, Almeida *et al.* 2008), e leste de Bannach (Guimarães 2007). Esses granitóides definem normalmente corpos de dimensões batolíticas, porém plutons menores,

formando stocks, também foram identificados (Leite 2001, Guimarães 2007). Tais estudos indicaram a existência no TGGRM de duas gerações distintas de associações TTG, distinguidas por suas idades (Tabela 1).

Tabela 1- Síntese dos dados geocronológicos de associações TTG do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria.

Unidades Estratigráficas	Tipo de Rocha	Método	Material Analisado	Idade/Referência
Tonalito Parazônia	Granitóide	U-Pb	Titanita	2858 Ma (2)
Trondhjemito Água Fria	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2864 ± 21 Ma (4)
Trondhjemito Mogno	Granitóide	U-Pb	Titanita	2871 ±? Ma (2)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2959 ± 5 Ma (8)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2900 ± 21 Ma (4)
	Trondhjemito	Pb-Pb	Zircão	2857 ± 13 Ma (4)
Tonalito Mariazinha	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2925 ± 4 (8)
Complexo Tonalítico Caracol	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948 ± 5 Ma (5)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936 ± 3 Ma (5)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2924 ± 2 Ma (5)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	U-Pb	Zircão	2957 + 25/-21 Ma (1)
		Pb-Pb	Zircão	2948 ± 7 Ma (3)
		Pb-Pb	Zircão	2981 ± 8 Ma (6)
		Pb-Pb	Zircão	2936 ± 4 Ma (7)

Fonte dos dados: (1) Macambira (1992); (2) Pimentel & Machado (1994); (3) Rolando & Macambira (2002); (4) Macambira *et al.* (2000); (5) Leite *et al.* (2004); (6) Rolando & Macambira (2003); (7) Almeida *et al.* (2008); (8) Almeida (em prep.)

Faziam parte da primeira geração de associações TTG, apenas o Tonalito Arco Verde (Macambira & Lancelot 1996, Althoff *et al.* 2000, Almeida *et al.* 2008) e o Complexo Tonalítico Caracol (Leite 2001, Leite *et al.* 2004), que eram, até a realização dos estudos de Almeida (em preparação), os granitóides mais antigos datados no TGGRM. Eles são cortados pelo Granodiorito Rio Maria, Trondhjemito Água Fria, leucogranitos cálcico-alcálicos e granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2006).

Segundo Althoff (1996) e Althoff *et al.* (2000), o Tonalito Arco Verde exhibe uma foliação com direção de 100 a 120° Az, definida pela alternância de bandas trondhjemíticas e tonalíticas e por enclaves máficos achatados. Em zonas fortemente deformadas, o bandamento composicional está associado com xistosidade subvertical. Lineação mineral e lineação de estiramento, quando presentes, são sempre subhorizontais e marcadas pelo alongamento dos cristais de quartzo, os quais mostram microestruturas que sugerem recristalização em condições de média a alta

temperatura. Em domínios localizados de baixa deformação, as feições magmáticas ainda se encontram preservadas.

As rochas do Complexo Tonalítico Caracol apresentam bandamento composicional muito regular, definido por bandas formadas predominantemente por plagioclásio + quartzo, alternadas com bandas enriquecidas em biotita e minerais acessórios (Leite 2001). Mostram-se muito deformadas, havendo raros afloramentos em que a textura magmática encontra-se preservada. O bandamento dispõe-se em duas direções preferenciais: em domínio a noroeste de Xinguara, mostra direção N-S e mergulhos subverticais; já na região a sul de Xinguara, exibe orientação NW-SE e mergulhos que variam de 40° a subverticais.

As rochas que formam os TTG antigos são bastante similares e exibem coloração cinza clara a escura e textura fanerítica, equigranular ou heterogranular, com granulação média. São constituídas essencialmente por plagioclásio e quartzo, tendo a biotita como principal fase ferromagnésiana. Dentre os minerais acessórios destacam-se zircão, titanita, opacos, allanita, epidoto e apatita.

Quanto às características geoquímicas, o Tonalito Arco Verde é uma típica suíte TTG, similar aos trondhjemitos com baixo Al_2O_3 , mostrando enriquecimento relativo em Na_2O nas rochas mais evoluídas, distinto do que se observa em séries cálcico-alcálicas (Althoff 1996, Althoff *et al.* 2000). Os padrões de elementos terras raras mostram anomalia de Eu ausente ou discreta e acentuado fracionamento dos ETR pesados (Althoff *et al.* 2000). O Complexo Tonalítico Caracol apresenta características de TTG com alto Al_2O_3 e foi dividido geoquimicamente em dois subgrupos, o primeiro é dominante e similar em termos do comportamento dos ETR aos tonalitos Arco Verde; o segundo apresenta razões $(La/Yb)_N$ comparativamente baixas e anomalia negativa de európio significativa (Leite 2001). O magma gerador das rochas com altas razões $(La/Yb)_N$ seria oriundo da fusão de metabasaltos não enriquecidos, previamente transformados em granada-anfibolito, ao passo que o segundo subgrupo seria derivado da fusão de rochas não portadoras de granada. Tais metabasaltos poderiam provavelmente corresponder aos do *Greenstone Belt* de Identidade ou de rochas geoquimicamente similares (Leite 2001). Segundo Althoff *et al.* (2000), o magma gerador do Tonalito Arco Verde também seria derivado de fusão parcial de granada-anfibolito.

A segunda geração de TTGs, designada informalmente de TTG jovens (Dall'Agnol *et al.* 2006), terá que ser inteiramente revista em função dos resultados do estudo do Trodhjemito

Mogno (Guimarães, em preparação; Almeida, em preparação). Até o momento, ela era representada pelos trondhjemitos Água Fria (Leite 2001) e Mogno (Huhn *et al.* 1988, Santos & Pena Filho 2000). Um pluton de composição trondhjemítica, aflorante a leste da cidade de Bannach, foi correlacionado tentativamente ao Trondhjemito Mogno (Guimarães 2007), porém são indispensáveis datações geocronológicas para confirmar esta interpretação e também para definir se o mesmo possui idade compatível com a dos TTG jovens.

No domínio de ocorrência do Trondhjemito Mogno foi individualizado anteriormente um corpo de rochas TTG, denominado de Tonalito Parazônia (Huhn *et al.* 1988, Santos & Pena Filho 2000; 2858 Ma, U-Pb em titanita, Pimentel & Machado 1994, Tabela 1). Esta unidade ainda se encontra muito pobremente caracterizada, mas seria formada por stocks e soleiras de composição tonalítica e mais jovem que os demais granitóides arqueanos.

As informações mais consistentes sobre a segunda geração de TTG provem dos estudos do Trondhjemito Água Fria (Leite 2001, Leite *et al.* 2004). Relações de campo mostram que são intrusivos nos greenstones belts, Complexo Tonalítico Caracol, granitóides ricos em MgO e contemporâneos aos leucogranitos potássicos do tipo Xinguara. O Trondhjemito Água Fria distingue-se do Complexo Tonalítico Caracol por apresentar uma deformação menos intensa, bandas menos espessas e mais regulares e maior número de enclaves. São comuns enclaves métricos alongados do Complexo Tonalítico Caracol englobados pelo Trondhjemito Água Fria.

A principal estrutura do Trondhjemito Água Fria é uma foliação marcada por bandamento composicional, com orientação NW-SE a WNW-ESE e mergulhos verticais, embora, em afloramentos localizados, apresente-se com direção N-S e mergulho subvertical (Leite 2001). Nestes locais, ocorrem veios do Granito Xinguara dispostos paralelamente ao bandamento do trondhjemito, sendo que no contato entre o veio e o Trondhjemito Água Fria não são observadas bordas de resfriamento, sugerindo que essas rochas cristalizaram simultaneamente.

O *stock* de Bannach é alongado na direção NNW (Figura 1), sendo constituído por rochas tonalítico-trondhjemíticas, similar ao Trondhjemito Mogno, que apresentam textura equigranular média ou, localmente, grossa ou fina (Guimarães 2007).

Os supostos TTG jovens revelam caráter trondhjemítico dominante, com termos tonalíticos e granodioríticos subordinados. Em linhas gerais, são similares petrográfica e geoquimicamente aos TTG antigos, se diferenciando fundamentalmente pelo conteúdo de minerais máficos e pela presença significativa de álcali-feldspato nos granodioritos (Leite 2001).

Mostram enriquecimento gradual em K nos termos mais ricos em sílica, o que reflete a formação tardia de termos granodioríticos (Nockolds & Allen 1953, Barker & Arth 1976). Os magmas que formaram os trondhjemitos Mogno e Água Fria foram gerados provavelmente por processos semelhantes aos que formaram os TTG da primeira geração, segundo Leite 2001.

CARACTERIZAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES TTG DO DOMÍNIO LESTE DE OCORRÊNCIA DO TRONDHJEMITO MOGNO

Revisão dos Dados Geocronológicos do Trondhjemitos Mogno

Em mapeamento na escala 1:250.000, executado pela CPRM, foi identificada no Trondhjemitos Mogno uma trama planar de direção NE-SW, discordante da estruturação geral, o que levou Neves e Vale (1999) e Santos e Pena Filho (2000) a considerarem-no como embasamento do Terreno Granito-*Greenstone*. Esta interpretação se opõe a dominante na literatura que considera o Trondhjemitos Mogno como formado há 2,87 milhões de anos e o associa aos TTGs jovens do TGGRM (Tabela 1; ver Dall’Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008, e referências contidas naqueles trabalhos). Portanto, permanecem dúvidas quanto ao posicionamento do Trondhjemitos Mogno, devido à indefinição existente quanto à sua idade de cristalização.

Datação geocronológica desta unidade (Tabela 1) pelo método U-Pb em titanita indicou idade de $2871 \pm ?$ Ma (Pimentel e Machado 1994), que pode ser considerada como idade mínima de cristalização para este granitóide. Entretanto, o fato de esta última idade ter sido interpretada como idade de cristalização, fez com que o Trondhjemitos Mogno fosse vinculado à segunda geração de granitóides TTG do TGGRM. Isto foi em certa medida reforçado pelas idades Pb-Pb em zircão obtidas posteriormente na porção sudeste (2900 ± 21 Ma) e centro-oeste (2857 ± 13 Ma) da área de exposição do Trondhjemitos Mogno (Macambira *et al.* 2000).

A indefinição existente quanto à idade desta unidade fez com que novos estudos geocronológicos fossem efetuados (Almeida em preparação). Foram datadas duas amostras, uma de trondhjemitos, localizado na porção leste da área em estudo, apresentou idade de 2959 ± 5 Ma, enquanto outra de tonalito, ocorrente na porção oeste, forneceu idade de 2925 ± 2 (Tabela 1). Isto confirma que as idades apresentadas por rochas atribuídas ao Trondhjemitos Mogno apresentam grande variação. Além disso, admitindo as idades obtidas por Almeida (em prep.) como idades de

cristalização, não se justificaria a correlação do Trondhjemitó Mogno com a segunda geração de TTGs do TGGRM.

Integrando dados estruturais, petrográficos, geoquímicos e as novas idades obtidas foi possível a separação na área mapeada de duas associações TTG, que foram correlacionadas com as demais unidades existentes na região de Xinguara. Dessa forma, para a porção leste da área mapeada foi mantida a denominação de Trondhjemitó Mogno, enquanto que a associação TTG aflorante a oeste foi denominada de Tonalito Mariazinha (Figura 2).

Geologia

Foi feito mapeamento na escala 1:100.000 do domínio leste da principal área de exposição do Trondhjemitó Mogno, que abrange também a área de ocorrência do Tonalito Parazônia, cuja caracterização, delimitação e posicionamento estratigráfico necessitavam aprimoramento.

A área é caracterizada por um relevo planeplanizado, o que dificulta a visualização das relações de campo entre os diversos litotipos. As feições estruturais evidenciaram a presença de variações expressivas na direção das foliações, que estão ora orientadas segundo as direções E-W a NW-SE, coincidentes com as dominantes no TGGRM, ora segundo NE-SW a N-S. Este último trend é francamente dominante no domínio oeste de ocorrência da associação TTG (Figura 2), que neste trabalho foi denominada de Tonalito Mariazinha. Foi observado também nas ocorrências do Complexo Tonalítico Caracol situadas a NW do Granito Xinguara (Leite 2001).

Foram distinguidos dois domínios na área originalmente atribuída ao Trondhjemitó Mogno, ocorrências de dois outros tipos de granitóides e uma exposição localizada de greenstone-belts (Figura 2). Em parte da admitida área de ocorrência do Tonalito Parazônia, foram identificadas rochas predominantemente quartzo-dioríticas, afins das associações sanukitóides do TGGRM (Oliveira *et al.* 2006, 2009). Além disso, foram mapeados três stocks formados essencialmente por biotita-granodiorito, inteiramente distinto dos TTGs e das rochas sanukitóides (Figura 2). O presente trabalho está voltado para as associações TTG, não pretendendo abordar em maior profundidade os demais granitóides mapeados. Cabe destacar, ainda, que o mapeamento realizado não abrangeu as porções NE e NW da área representada na Figura 2, porém a primeira foi estudada em detalhe em trabalhos anteriores (Souza 1994, Leite 2001).

Greenstone Belts (Supergrupo Andorinhas): Além das ocorrências da Faixa Identidade (Souza 1994, Souza *et al.* 1997), foram identificadas rochas supracrustais em afloramento isolado

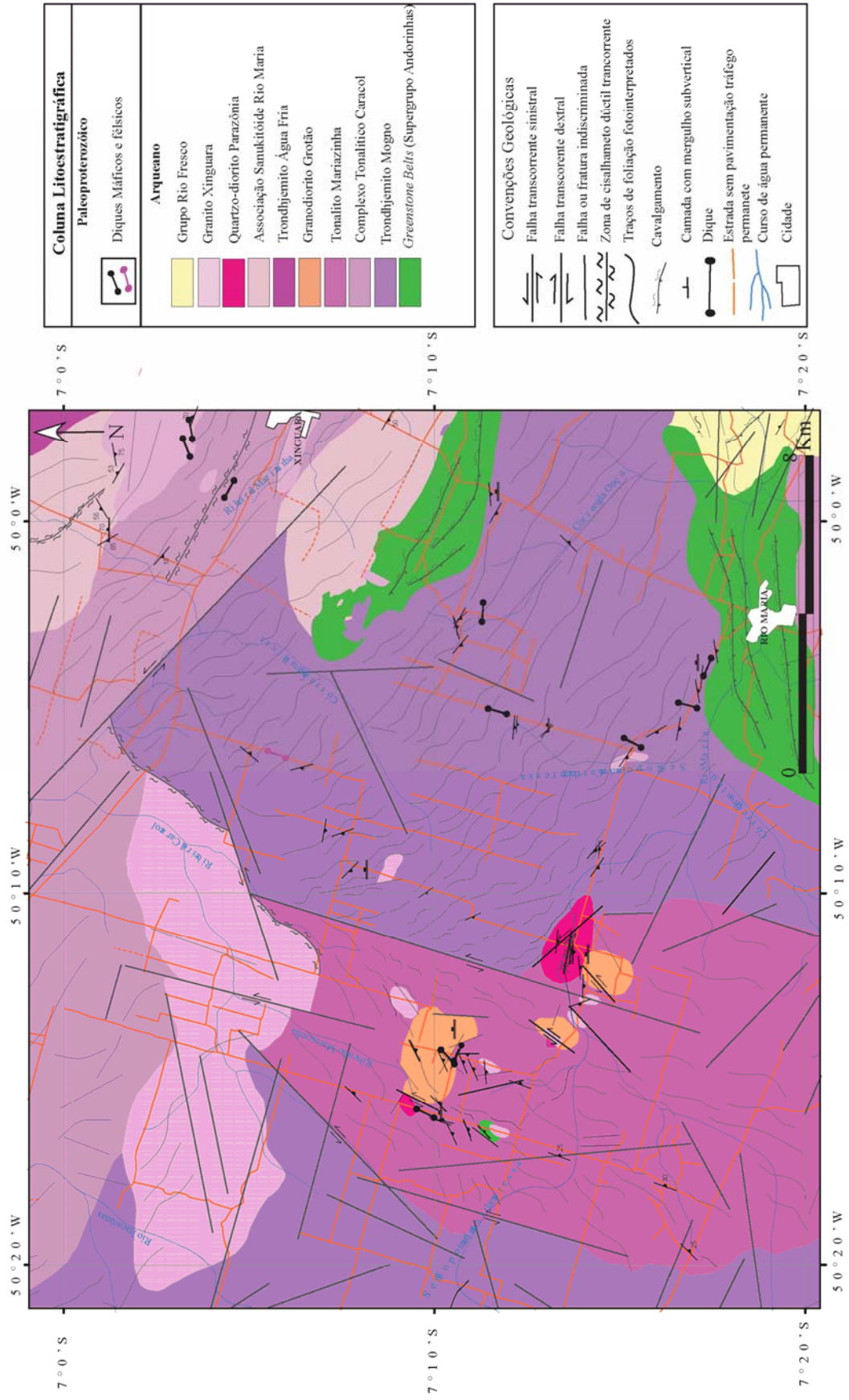


Figura 2- Mapa geológico da área estudada.

na porção sudoeste da área (Figura 2), mostrando feições de lavas em almofada, com a forma característica arredondada e contatos curvos entre si, melhor expostos na parte superior do afloramento. Além disso, diversos enclaves máficos alongados, englobados pelos TTG foram interpretados como sendo associados aos greenstone belts.

Associações TTG: Foi possível a separação de duas associações TTG, uma predominantemente trondhjemitica, que ocorre na porção leste da área e para a qual foi mantida a designação de Trondhjemito Mogno, e outra tonalítica-trondhjemitica, que ocorre na porção oeste da área e foi denominada de Tonalito Mariazinha (Figura 2). Estas associações foram separadas inicialmente com base em feições estruturais, diferenças em imagens de radar e satélite e em contrastes petrográficos ao nível de texturas ao microscópio. Estas diferenças foram reforçadas pelas datações efetuadas por Almeida (em prep.) (Tabela 1), que foram de grande relevância para delimitar os domínios dos TTG identificados.

Trondhjemito Mogno: Seus afloramentos são na forma de lajedos ou matacões e, geralmente, se apresenta intensamente deformado e fortemente bandado. O bandamento e a foliação apresentam direção NW-SE a E-W, sendo a foliação marcada pelos minerais máficos e cristais de quartzo e feldspatos alongados. É cortado por veios de leucogranitos e vênulas de epidoto. As relações de contato com as demais unidades não são claras.

Tonalito Mariazinha: Seus afloramentos mais comuns são em lajedos e, em geral, apresenta-se moderadamente deformado, com bandamento composicional caracterizado pela alternância de níveis enriquecidos em quartzo e plagioclásio, estirados e alongados, e níveis mais máficos, onde se concentram cristais de biotita. No geral, a foliação apresenta direção dominante NE-SW a N-S. Esta associação TTG é cortada por veios de leucogranitos concordantes com a direção da foliação e, localmente, engloba enclaves máficos.

Granodiorito Grotão: Ocorre de forma localizada nas porções oeste e sudoeste (Figura 2), em afloramentos de grande expressão e homogêneos. Suas rochas têm aspecto maciço, englobam enclaves de rochas tonalíticas ou trondhjemiticas, deduzindo-se que sejam intrusivas no Tonalito Mariazinha, e são cortadas por veios de leucogranitos.

Quartzo-diorito Parazônia: Forma um pequeno stock na porção sudoeste da área (Figura 2), com pouca expressão na topografia, aflorando em blocos e matacões, por vezes com área de exposição expressiva (Fazenda Parazônia). Embora as relações de campo não sejam inteiramente conclusivas, admite-se que sejam intrusivos no Tonalito Mariazinha, ao passo que suas relações

com as demais unidades não foram observadas. Este corpo, embora mais limitado em área de exposição, parece corresponder ao que fora anteriormente denominado de Tonalito Parazônia.

Granitos e leucogranitos variados estão presentes de forma localizada em toda a área mapeada, formando pequenos corpos, geralmente sem expressão na escala de mapeamento adotada, ou veios que cortam a maioria dos litotipos presentes. São correlacionados ao Granito Xinguara (Figura 2).

Suíte Jamon: Diques de composição máfica e félsica cortam as unidades arqueanas e foram correlacionados aos diques paleoproterozóicos da Suíte Jamon (Dall’Agnol *et al.* 2005).

Petrografia

COMPOSIÇÕES MODAIS E CLASSIFICAÇÃO

O Trondhjemito Mogno e o Tonalito Mariazinha apresentam características petrográficas muito semelhantes, notando-se apenas pequenas variações nas percentagens de seus constituintes minerais (Tabela 2). Foram realizadas análises modais em vinte uma amostras das associações TTG que ocorrem na área, sendo todas lançadas em diagramas Q-A-P e Q-A+P-M’ (Figura 3). Nestes, todas as amostras analisadas incidem sem exceção no campo destinado aos tonalitos e trondhjemitos. Assim, a classificação petrográfica é baseada fundamentalmente no teor de máficos (Le Maitre 2002), sendo que as rochas trondhjemíticas apresentam conteúdo de minerais máficos inferior a 10% (média de 7%), enquanto os tonalitos superam esse valor (média de 13,5%). Ambas as variedades apresentam mais de 48,5% de plagioclásio e cerca de 30 a 40 % de quartzo modal, enquanto que o álcali-feldspato é um constituinte acessório (Tabela 2). A biotita é o principal mineral ferromagnésiano em todas as variedades, sendo notável a ausência de anfibólio e a presença de conteúdos modais expressivos de epidoto magmático. Os minerais acessórios são representados por opacos, epidoto, apatita, titanita e allanita e as principais fases secundárias são clorita, epidoto e sericita-muscovita. As associações TTG estudadas possuem um comportamento similar ao das séries cálcico- alcalinas trondhjemíticas de baixo potássio (Lameyre & Bowden 1982) ou cálcico- alcalinas tonalítica-trondhjemíticas (Bowden *et al.* 1984).

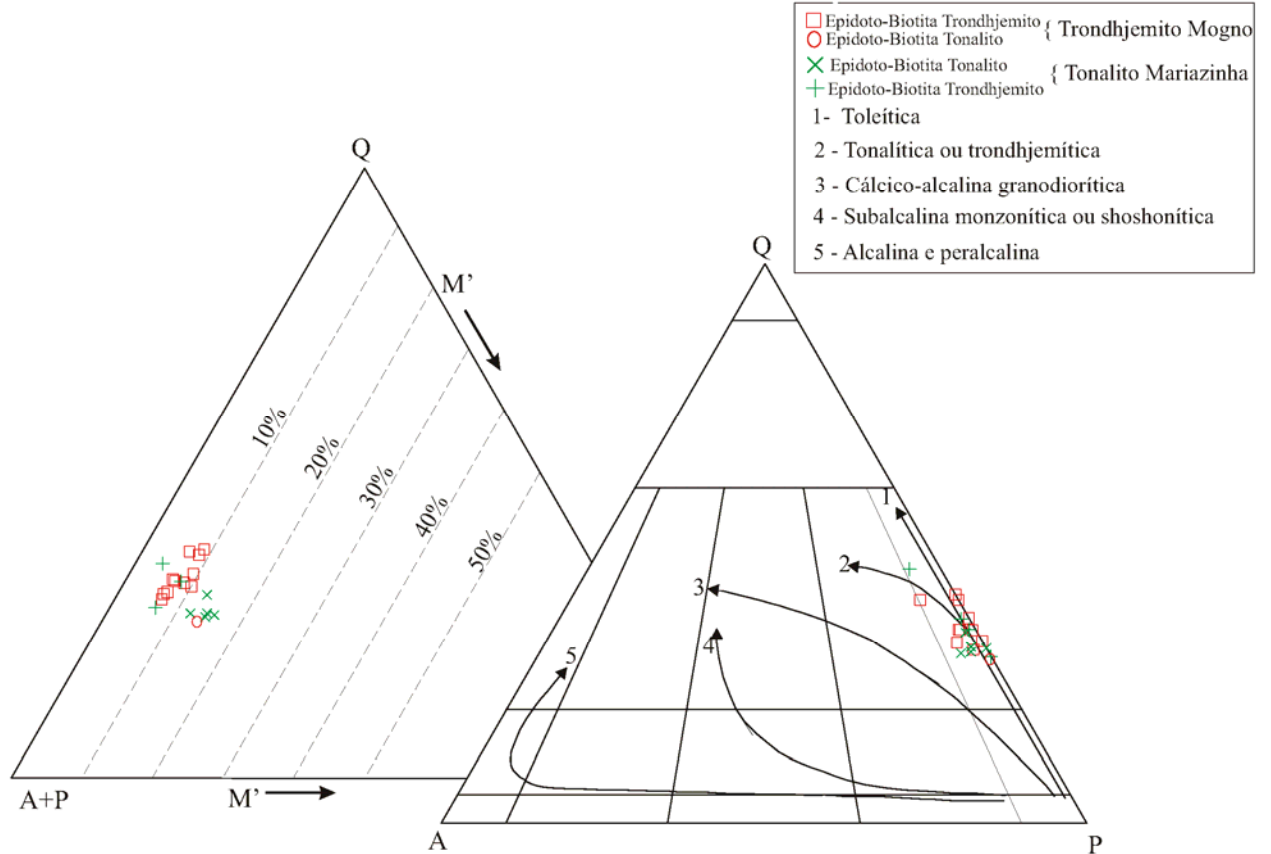


Figura 3- Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen 1976) para as rochas TTG estudadas. 1 a 5 são trends evolutivos de séries granitóides (Lameyre & Bowden 1982, Bowden *et al.* 1984).

ASPECTOS TEXTURAIS

As associações TTG estudadas apresentam igualmente notáveis similaridades texturais, sendo, por isso, descritas conjuntamente, a seguir. A textura característica é granular hipidiomórfica média, modificada em diferentes intensidades pela deformação que varia desde discreta, afetando apenas o quartzo, até intensa, gerando texturas protomiloníticas e miloníticas, com forte recristalização do quartzo, formação de subgrãos no plagioclásio e geração de fenoclastos ovalados que são contornados pela matriz fina proveniente de recristalização e cominuição dos grãos primitivos, com a rocha assumindo aspecto fortemente orientado.

Tabela 2 - Composições modais ⁽¹⁾ de amostras das associações TTG estudadas.

Unidades	Trondhjemitó Mogno												Tonalito Mariazinha									
	Epidoto - Biotita Tonalito												Epidoto - Biotita Trondhjemitó									
	Epidoto - Biotita Tonalito												Epidoto - Biotita Trondhjemitó									
Amostra/Mineral	AM-03	FMR-01	FMR-03	FMR-05A	FMR-15A	FMR-77	FMR-87	FMR-88	FMR-89	FMR-95	FMR-98	FMR-101	FMR-25	FMR-27	FMR-52	FMR-37A	FMR-46	FMR-29	FMR-40	FMR-62A	FMR-32	
Plagioclásio	60,2	57,5	61,3	49,7	58,5	58,0	60,7	53,3	51,1	49,7	57,5	56,5	56,3	55,2	53,9	55,0	54,2	54,6	48,7	56,6	63,8	57,5
Quartzo	25,1	31,8	28,5	36,4	29,5	30,5	29,1	35,2	35,0	30,2	31,1	32,4	26,3	26,5	29,5	25,0	25,6	44,8	33,3	27,0	31,0	
Feldspato Potássico	0,5	2,6	2,1	5,6	3,9	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	2,3	0,1	2,2	0,4	1,8	2,5	4,0	4,8	1,5	0,3	1,0	
Biotita	11,7	4,7	4	4,5	5,2	6,7	5,4	6,6	8,0	8,5	6,3	7,7	12,9	12,1	11,7	10,7	8,8	0,7	3,4	2,9	6,7	
Epidoto ^(p)	0,9	1,7	0,1	1,7	0,8	0,2	0,8	1,2	0,1	0,6	0,6	0,7	1,2	1,0	0,5	1,2	1,1	0,5	0,1	X	0,5	
Epidoto ^(s)	0,8	X	1,7	1,1	0,5	3,2	2,8	2,0	4,2	2,1	1,5	1,5	-	0,1	0,5	3,1	4,9	X	X	2,0	2,3	
Allanita	X	0,1	0,1	X	X	-	X	-	-	0,1	0,1	-	0,5	0,3	-	X	-	-	0,1	0,2	-	
Apatita	X	0,2	0,3	0,4	0,3	0,1	X	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,6	0,2	0,6	0,1	0,2	X	0,3	0,3	
Opacos	X	0,3	X	X	0,2	0,3	X	-	-	X	-	0,1	0,6	0,4	0,3	1,2	0,2	-	-	-	X	
Titanita	0,2	X	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,5	0,2	0,2	0,7	1,4	X	0,1	0,5	X	
Clorita	0,3	0,1	0,2	0,2	-	-	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-	-	-	0,5	0,1	-	0,2	2,3	0,4	
Zircão	X	X	X	X	0,1	X	X	X	X	X	X	0,1	0,1	X	X	X	X	X	X	X	X	
Muscovita	-	-	0,2	-	-	-	-	0,1	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,1	
Carbonato	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,1	
A+P	60,7	60,1	63,4	55,3	62,4	58,1	60,7	53,4	51,1	57,5	58,8	56,4	57,4	58,3	56,8	56,7	58,6	53,5	58,1	64,1	58,5	
Plagioclásio*	70,2	62,6	66,7	54,2	63,7	65,5	67,6	60,2	59,3	65,6	62,8	63,4	65,9	68,3	63,7	66,3	64,8	49,5	61,9	70,0	64,2	
Quartzo*	29,3	34,6	31,0	39,7	32,1	34,4	32,4	39,7	40,7	34,4	34,6	36,5	33,2	31,5	35,7	32,6	33,6	45,6	36,4	29,6	34,6	
Feldspato Potássico*	0,6	2,8	2,3	6,1	4,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	2,6	0,1	2,6	0,5	2,1	3,1	4,8	4,9	1,6	0,3	1,1	
Máficos	13,9	6,8	6,9	6,9	6,6	7,2	6,9	8,4	8,6	9,8	8,8	9,2	15,3	14,2	12,6	13,7	11,5	1,4	3,9	6,3	7,9	

Abreviações: A – Alcali-feldspato; P – Plagioclásio; p – primário; s – secundário; * recalculado a 100%; l- Com base, em média de 1800 pontos por amostra; X = mineral presente na rocha, mas não registrado na contagem modal;

- = mineral não observado.

O quartzo se apresenta em cristais equigranulares a inequigranulares, hipidiomórficos a xenomórficos, com dimensão $\leq 3\text{mm}$. Apresenta contatos irregulares e sinuosos entre si, ondulados com os cristais de plagioclásio e geralmente retilíneos com a biotita. Possui inclusões de biotita, plagioclásio e zircão. O grau de deformação de seus cristais é variado, apresentando-se, por vezes, subédricos e sem deformação aparente ou levemente estirados acompanhando a direção da foliação, e, em outras, bastante deformados com forte extinção ondulante e formação de subgrãos e novos grãos submilimétricos nas suas bordas.

No Trondhjemito Mogno, o plagioclásio é predominantemente hipidiomórfico e apresenta dimensões um pouco superiores às do quartzo ($\leq 5\text{mm}$), estando bastante alterado para sericita e epidoto, o que mascara as suas feições originais e os planos de maclamento. Há indícios de zoneamento normal e, subordinadamente, cristais com zoneamento oscilatório. Forma agregados que sugerem relações de *synneusis* (Vance 1969). Localmente são vistas mirmequitas nas bordas dos cristais de plagioclásio.

Já no Tonalito Mariazinha, os cristais de plagioclásio são mais límpidos, menos alterados, deformados e recristalizados, quando comparados com os do Trondhjemito Mogno. Apesar disso, alguns cristais apresentam discreta extinção ondulante e uma incipiente substituição por sericita-muscovita, epidoto e, localmente, carbonatos. Esta alteração é mais intensa no núcleo dos cristais, realçando seu zoneamento normal. Apresentam contatos irregulares e subordinadamente retilíneos entre si.

O feldspato potássico ocorre como cristais xenomórficos, de granulação fina a média, com contatos ondulantes com os cristais de quartzo e retilíneos entre si. São tardios, preenchendo interstícios e pobres em lamelas pertíticas. Apresentam inclusões de plagioclásio e biotita.

A biotita ocorre como lamelas de granulação fina a média, hipidiomórficas, em geral orientadas, definindo a foliação da rocha. Forma agregados com cristais de titanita e epidoto magmático, com os quais apresenta contatos retos denotando relações de equilíbrio e contemporaneidade em termos de cristalização. Apresenta-se como inclusão em cristais de plagioclásio e feldspato potássico. Localmente é substituída parcial a totalmente por clorita que se posiciona preferencialmente ao longo dos seus planos de clivagem.

O epidoto ocorre em quatro variedades texturais:

Epidoto I - cristais idiomórficos, prismáticos curtos, às vezes zonados, que costumam se associar com biotita, com a qual costuma exibir contatos retilíneos e que pode englobá-lo parcialmente, sugerindo equilíbrio entre as duas fases;

Epidoto II - cristais hipidiomórficos, associados com cristais de allanita e apatita ou, simplesmente, bordejando ou englobando núcleos de allanita;

Epidoto III - cristais hipidiomórficos a xenomórficos, encontrados dispersos na rocha em proporções bem reduzidas, isolados ou associados com outros minerais;

Epidoto IV - cristais muito finos, xenomórficos, produto de saussuritização do plagioclásio.

As variedades de Epidoto I, II e III foram interpretadas como sendo de origem magmática (primárias), enquanto que o Epidoto IV seria formado em condições subsolidus (secundário).

Os minerais acessórios primários identificados são: titanita, em cristais hipidiomórficos, finos, associados com agregados de biotita e epidoto ou, por vezes, bordejando cristais de opacos; estes ocorrem como cristais hipidiomórficos a xenomórficos associados aos minerais máficos, sendo mais abundantes nos tonalitos e raros nos trondhjemitos; apatita e zircão formam pequenos cristais prismáticos hipiomórficos a idiomórficos de dimensões submilimétricas, inclusos principalmente em plagioclásio, quartzo e biotita; allanita se apresenta em cristais euédricos finos, localmente com zoneamento e algumas vezes fraturados e metamictizados.

Os minerais secundários são: muscovita, carbonato e epidoto que ocorrem como cristais xenomórficos, de granulação fina, substituindo o plagioclásio ou, no caso da mica, orientada paralelamente à foliação; clorita, formando cristais xenomórficos finos, produto de alteração da biotita.

Geoquímica

ELEMENTOS MAIORES E MENORES

Foram realizadas análises químicas de elementos maiores, menores e elementos traço em 19 amostras representativas das associações TTG que afloram na área mapeada (Tabela 3).

O Tonalito Mariazinha apresenta uma maior variação nos conteúdos de sílica ($65,91\% < \text{SiO}_2 < 75,25\%$), enquanto que no Trondhjemito Mogno a sílica varia menos ($68,27\% < \text{SiO}_2 < 73,43\%$). A variação dos teores dos elementos ferromagnesianos é restrita nas duas unidades estudadas com os valores médios do somatório de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{TiO}_2$ sendo de 3,24 % no

Tabela 3 - Composições químicas dos TTG estudados

Unidades	Trondhjemito Mogno												Tonalito Mariazinha										
	Epidoto - Biotita Tonalito			Epidoto - Biotita Trondhjemito									Epidoto - Biotita Tonalito				Epidoto - Biotita Thondhjemito						
Amotras	AM-03	FMR-98	FMR-95	FMR-87	FMR-101	FMR-03	FMR-89	FMR-05A	FMR-77	FMR-01	FMR-15A	Média	FMR-46	FMR-27	FMR-25	FMR-37A	FMR-52	Média	FMR-62A	FMR-32	FMR-29	Média	
Elementos																							
SiO ₂	68,27	68,99	69,79	70,01	70,28	71,32	71,35	71,62	71,69	72,08	73,43	71,06	65,91	68,06	68,58	69,22	70,11	68,38	69,67	70,83	75,25	71,92	
TiO ₂	0,35	0,42	0,35	0,29	0,29	0,21	0,23	0,25	0,24	0,22	0,23	0,27	0,63	0,35	0,31	0,32	0,26	0,37	0,32	0,31	0,03	0,22	
Al ₂ O ₃	15,14	14,82	15,63	16,19	16,10	14,82	15,48	15,21	15,33	14,94	14,25	15,28	15,93	16,74	16,63	16,26	16,04	16,32	15,75	15,16	14,77	15,23	
Fe ₂ O ₃	3,13	3,61	2,76	2,08	2,33	2,10	1,84	2,02	1,94	2,06	2,01	2,28	4,10	2,94	2,75	2,85	2,58	3,04	2,55	2,80	0,48	1,94	
MnO	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	<0,01	0,03	
MgO	1,23	1,15	0,95	0,66	0,76	0,57	0,57	0,55	0,58	0,55	0,52	0,69	1,39	1,01	0,91	0,87	0,77	0,99	0,83	0,71	0,05	0,53	
CaO	2,92	2,23	3,18	3,09	3,26	2,18	2,96	2,97	2,79	2,49	2,37	2,75	3,90	3,22	3,49	3,78	3,36	3,55	3,08	3,07	1,89	2,68	
Na ₂ O	4,52	5,40	4,46	5,44	5,09	4,70	5,03	4,63	4,88	4,52	4,52	4,87	4,51	5,64	5,18	4,88	5,07	5,06	4,88	4,84	5,64	5,12	
K ₂ O	1,92	1,58	1,74	1,24	1,23	2,12	1,31	1,89	1,58	2,16	1,90	1,68	2,27	1,24	1,52	1,11	1,20	1,47	1,36	1,39	1,23	1,33	
P ₂ O ₅	0,10	0,16	0,09	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,09	0,06	0,07	0,09	0,19	0,11	0,12	0,10	0,08	0,12	0,10	0,10	0,02	0,07	
PF	2,10	1,30	0,90	0,70	0,40	1,60	1,00	0,60	0,70	0,70	0,60	0,85	0,90	0,50	0,30	0,40	0,30	0,48	1,30	0,60	0,50	0,80	
Total	99,73	99,71	99,88	99,83	99,86	99,73	99,87	99,84	99,85	99,81	99,92	99,83	99,77	99,86	99,83	99,82	99,81	99,82	99,87	99,84	99,86	99,86	
Ba	641	531	584	534	487	794	568	678	472	666	793	611	918	173	388	418	626	505	464	429	727	540	
Sr	434	355	387	668	554	431	520	515	506	499	533	497	592	521	771	517	434	567	626	504	650	593	
Rb	52,5	57,8	37,0	25,4	27,9	48,9	41,3	41,4	24,2	47,1	39,9	39,1	67,3	56,3	51,2	38,3	36,8	50,0	38,8	42,6	18,2	33,2	
Zr	174	150	135	140	141	114	104	114	129	109	126	126	136	137	146	149	109	135	145	196	40	127	
Y	9,7	5,1	4,3	2,9	2,7	9,7	8,6	11,3	4,3	6,4	2,6	5,8	8,6	4,3	3,3	3,8	1,7	4,3	7,2	3,5	0,8	3,8	
Nb	3,8	5,5	3,9	2,7	2,3	4,0	2,5	4,3	1,6	3,7	2,4	3,3	6,5	3,0	3,2	1,9	2,8	3,5	3,8	2,4	0,5	2,2	
Ga	18,6	13,5	17,5	18,4	17,6	18,2	16,4	18,3	18,9	18,4	18,7	17,6	19,6	20,7	21,4	18,2	19,5	19,9	19,8	19,4	13,8	17,7	
Th	3,1	10,0	8,4	3,1	3,3	2,3	3,5	2,9	4,7	3,3	5,9	4,7	6,4	7,6	7,0	1,2	2,0	4,8	3,9	9,4	0,3	4,5	
Ni	19,7	13,9	7,3	3,8	4,8	6,8	3,9	4,6	2,8	3,0	2,7	5,4	7,0	7,7	6,6	6,1	6,1	6,7	5,5	6,1	0,7	4,1	
Cs	0,7	1,6	0,8	0,8	2,7	0,9	0,8	0,9	0,2	0,8	1,0	1,1	1,8	2,0	1,2	1,3	0,9	1,4	1,2	1,0	0,1	0,8	
Hf	4,2	3,8	4,0	3,9	3,4	3,3	2,9	3,2	3,8	3,2	3,0	3,5	3,4	4,1	3,5	3,7	3,1	3,6	4,0	4,7	1,0	3,2	
Ta	0,6	0,5	0,1	0,2	0,1	0,5	0,2	0,5	0,1	0,5	0,1	0,3	0,7	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	<0,1	0,3	
U	1,5	1,1	0,4	0,4	0,3	2,1	0,7	1,0	0,6	0,8	0,4	0,8	1,7	0,5	0,5	0,3	0,2	0,6	0,4	0,8	0,1	0,4	
V	49,0	34,0	45,0	24,0	28,0	18,0	21,0	17,0	23,0	17,0	14,0	24,1	57,0	29,0	24,0	27,0	22,0	31,8	24,0	27,0	<8	25,5	
La	21,60	39,10	27,00	23,60	34,10	25,40	48,00	16,00	23,40	24,60	33,70	29,49	32,60	46,10	33,40	15,10	9,70	27,38	26,70	44,90	2,10	24,57	
Ce	35,20	70,80	48,10	40,60	40,60	34,90	30,50	28,40	43,90	39,00	61,50	43,83	60,00	85,80	61,00	27,90	18,50	50,64	46,00	78,10	3,10	42,40	
Pr	5,04	7,72	5,50	4,61	5,90	5,09	8,81	3,56	4,83	5,25	6,59	5,79	7,45	9,22	6,57	3,04	1,92	5,64	5,60	7,83	0,40	4,61	
Nd	18,40	26,80	19,20	16,20	19,10	17,90	32,60	15,00	17,00	17,90	22,60	20,43	30,50	32,30	24,10	11,50	5,90	20,86	22,00	28,60	1,60	17,40	
Sm	2,98	3,51	2,36	1,89	2,25	2,81	4,37	2,66	2,21	2,58	2,45	2,71	4,43	3,70	2,83	1,54	1,05	2,71	2,98	3,40	0,10	2,16	
Eu	0,93	0,68	0,55	0,58	0,71	0,70	1,55	0,74	0,51	0,61	0,54	0,72	1,11	0,77	0,64	0,57	0,51	0,72	0,73	0,81	0,17	0,57	
Gd	2,28	2,23	1,72	1,32	1,57	2,26	3,41	2,80	1,42	2,10	1,70	2,05	3,63	2,43	1,87	1,42	0,86	2,04	2,59	2,28	0,21	1,69	
Tb	0,34	0,26	0,20	0,13	0,14	0,32	0,44	0,40	0,16	0,26	0,13	0,24	0,40	0,22	0,15	0,15	0,10	0,20	0,34	0,20	0,02	0,19	
Dy	1,68	1,07	1,01	0,58	0,69	1,47	2,27	2,26	0,59	1,45	0,54	1,19	1,41	1,14	0,72	0,69	0,48	0,89	1,44	0,85	0,16	0,82	
Ho	0,33	0,16	0,13	0,10	0,10	0,27	0,36	0,38	0,13	0,23	0,10	0,20	0,25	0,15	0,11	0,11	0,07	0,14	0,25	0,12	0,02	0,13	
Er	0,85	0,42	0,39	0,24	0,27	0,76	0,89	0,98	0,38	0,59	0,17	0,51	0,54	0,42	0,33	0,26	0,16	0,34	0,60	0,45	0,11	0,39	
Tm	0,13	0,06	0,06	0,04	0,03	0,11	0,15	0,13	0,06	0,08	0,04	0,08	0,07	0,04	0,06	0,05	0,03	0,05	0,08	0,05	0,01	0,05	
Yb	0,76	0,36	0,30	0,27	0,14	0,65	0,86	0,73	0,30	0,59	0,24	0,44	0,40	0,34	0,24	0,24	0,22	0,29	0,42	0,32	0,13	0,29	
Lu	0,11	0,05	0,06	0,03	0,04	0,10	0,13	0,12	0,05	0,08	0,03	0,07	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,06	0,05	0,02	0,04	
ΣETRL	83,2	147,9	102,2	86,9	102,0	86,1	124,3	65,6	91,3	89,3	126,8	102,2	135,0	177,1	127,9	59,1	37,1	107,2	103,3	162,8	7,3	91,1	
(La/Yb)n	72,4	26,1	60,0	58,3	162,4	19,0	37,2	14,6	52,0	27,8	93,6	55,1	54,3	90,4	92,8	41,9	29,4	61,8	42,4	93,5	10,8	48,9	
(La/Sm)n	4,5	6,9	7,0	7,7	9,3	5,6	6,8	3,7	6,5	5,9	8,5	6,8	4,5	7,7	7,3	6,0	5,7	6,2	5,5	8,1	12,9	8,9	
(Dy/Yb)n	1,4	1,9	2,2	1,4	3,1	0,3	1,7	2,0	1,3	1,6	1,4	1,7	2,3	2,1	1,9	1,8	1,4	1,9	2,2	1,7	0,8	1,6	
Eu/Eu*	1,10	0,75	0,84	1,13	1,16	0,85	1,23	0,83	0,88	0,81	0,93	0,85	0,79	0,86	1,18	1,65	1,07	0,81	0,89	3,61	1,77		
Rb/Sr	0,12	0,16	0,10	0,04	0,05	0,11	0,08	0,08	0,05	0,09	0,07	0,08	0,11	0,11	0,07	0,07	0,08	0,09	0,06	0,08	0,03	0,06	
Sr/Ba	0,68	0,67	0,66	1,25	1,14	0,54	0,92	0,76	1,07	0,75	0,67	0,84	0,64	3,01	1,99	1,24	0,69	1,51	1,35	1,18	0,89	1,14	
K ₂ O/Na ₂ O	0,42	0,29	0,39	0,23	0,24	0,45	0,26	0,41	0,32	0,48	0,42	0,35	0,50	0,22	0,29	0,23	0,24	0,30	0,28	0,29	0,22	0,26	
#Mg	0,43	0,38	0,40	0,38	0,39	0,34	0,38	0,35	0,37	0,34	0,34	0,37	0,40	0,40	0,39	0,37	0,39	0,39	0,39	0,33	0,17	0,30	

#Mg= % MgO mol/(% MgO mol + % FeOmol)

Os conteúdos médios de Al_2O_3 são superiores a 15% nos trondhjemitos das duas unidades e atingem 16,32% no tonalito Mariazinha (Tabela 3), caracterizando o conjunto como TTG com Trondhjemito Mogno, com a única amostra de tonalito apresentando valor de 4,71%, e nos trondhjemitos e tonalitos do Tonalito Mariazinha de 2,69 e 4,4 %, respectivamente.

alta alumina (Barker 1979). O Trondhjemito Mogno apresenta valores médios da razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ de 0,35, com a amostra de tonalito apresentando valor superior (0,42; Tabela 3), enquanto que o Tonalito Mariazinha fornece valores de 0,30 e 0,26, respectivamente, para tonalitos e trondhjemitos. O conteúdo médio de CaO é igual a 2,75% no Trondhjemito Mogno, e de 2,68 % nos trondhjemitos, subindo para 3,55% nos tonalitos do Tonalito Mariazinha. A proporção média de Na_2O se situa em torno de 5% para as diversas variedades de rochas e a de K_2O é inferior a 2%, decrescendo de 1,92 a 1,68% do tonalito para os trondhjemitos do Trondhjemito Mogno e de 1,47 para 1,33 % nos tonalitos e trondhjemitos do Tonalito Mariazinha, respectivamente.

Em diagramas de Harker (Figura 4), considerando o conjunto de amostras, observa-se um ligeiro decréscimo dos conteúdos de Al_2O_3 , Na_2O , CaO , MgO , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 paralelamente ao aumento de SiO_2 nas rochas das duas unidades TTG. No entanto, as rochas das duas unidades tendem a definir trends distintos, com graus variáveis de superposição, em particular no caso das rochas trondhjemíticas (Figura 4b, c, d, f). Já o K_2O mostra uma correlação negativa com a sílica para as rochas do Tonalito Mariazinha e positiva para o Trondhjemito Mogno (Figura 4h).

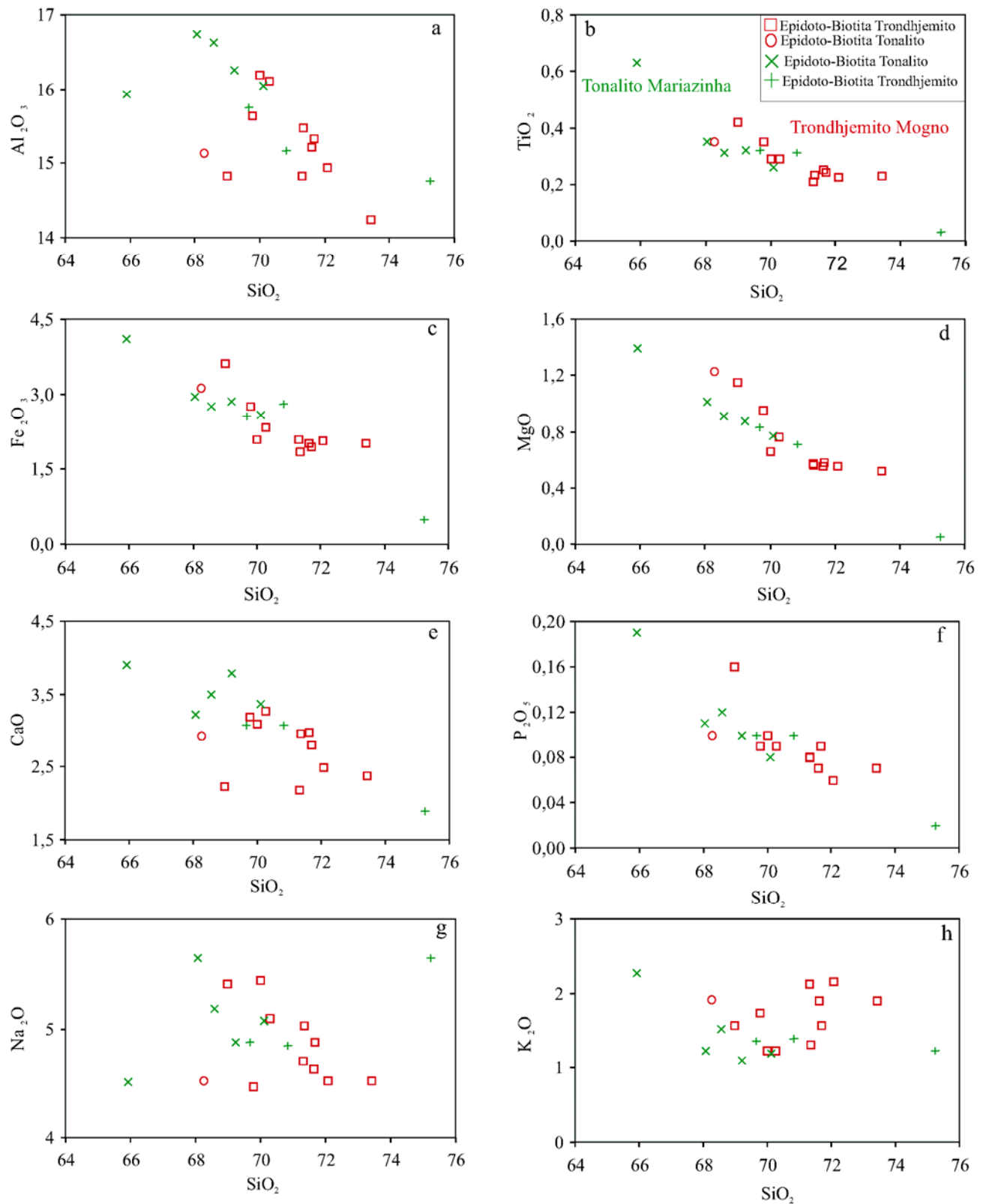


Figura 4- Diagramas de Harker para os óxidos de elementos maiores das amostras dos TTG estudados. Óxidos em % em peso.

ELEMENTOS TRAÇOS

Em séries magmáticas, os elementos-traço variam conforme a diferenciação e podem ser de grande valia na interpretação dos processos responsáveis pela sua evolução (Wedepohl 1970, Hanson 1978), pois a distribuição destes elementos é amplamente controlada pelas fases minerais fracionadas durante a gênese e cristalização do magma. O comportamento dos principais elementos-traço dos TTG estudados em diagramas de Harker (Figura 5) mostra-se muito irregular, com variações muito acentuadas nos conteúdos de diversos elementos em amostras com teores semelhantes de SiO₂. De modo geral, Rb e a razão Sr/Ba mostram correlação negativa com a sílica, enquanto que o Ba (Figura 5d) revela correlação positiva, comportando-se, portanto, como elemento incompatível. O Sr mostra uma correlação negativa com a sílica (Figura 5c). Y e Yb (Figuras 5b, f) variam muito pouco nas diferentes variedades. Já o Zr (Figura 5e) tende a definir *trend* horizontalizado quando se considera cada variedade isoladamente. A razão Rb/Sr decresce no conjunto de amostras, porém nas duas variedades trondhjemiticas exibe correlação positiva com a sílica (Figura 5h).

COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS

Os resultados analíticos de elementos terras raras (ETR) (Tabela 3) foram normalizados em relação aos condritos, conforme os valores de Nakamura (1974). Os padrões de ETR mostram acentuado enriquecimento em elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados (Figura 6), indicando que houve fracionamento dos elementos terras raras pesados durante a formação ou diferenciação dos seus magmas. Isso é indicado pelas razões (La/Yb)_n que variam em geral de 14,6 a 93,6 para o Trondhjemitito Mogno e de 29,4 a 93,5 para o Tonalito Mariazinha (Tabela 3), com as amostras FMR-29 mostrando valor bem inferior (10,77) e a amostra FMR-101 bem superior (162,38). As anomalias de Eu são ausentes ou muito discretas, podendo ser levemente positivas ou negativas ($0,75 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 1,23$). As amostras FMR-29 e FMR-52 destoam das demais por apresentar acentuada anomalia positiva ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 3,61$ e $1,65$, respectivamente). A primeira é a mais rica em sílica de todo o conjunto e exibe acentuado empobrecimento em ETR leves e pesados, juntamente com redução mais moderada de Eu. Isto pode ter sido causado por intenso fracionamento de minerais portadores de ETR e justifica o comportamento anômalo destas amostras, também verificado em termos da razão (La/Yb)_n no

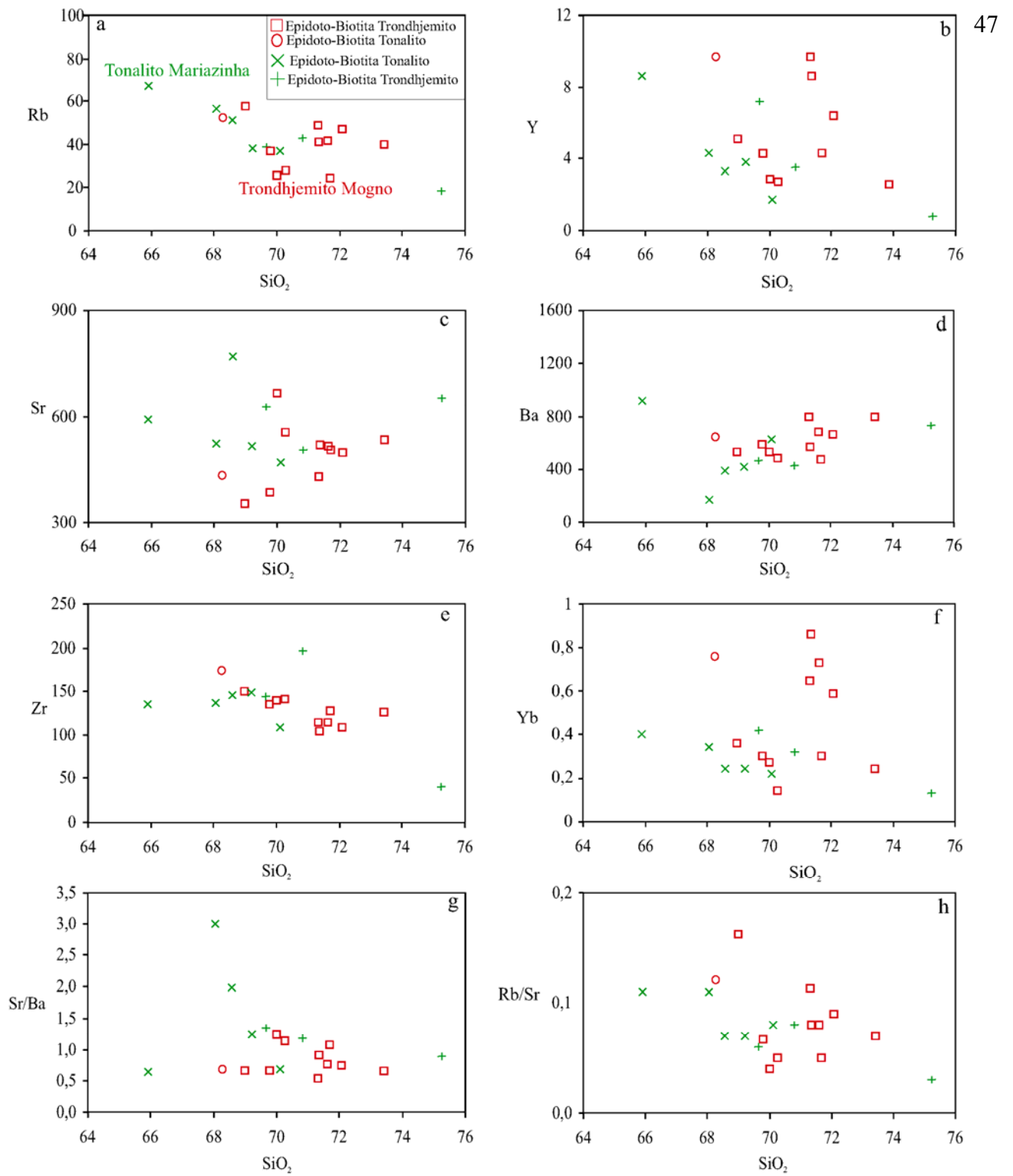


Figura 5- Diagramas de Harker para os elementos traço das amostras dos TTG estudados. SiO₂ em % em peso e elementos traço em ppm.

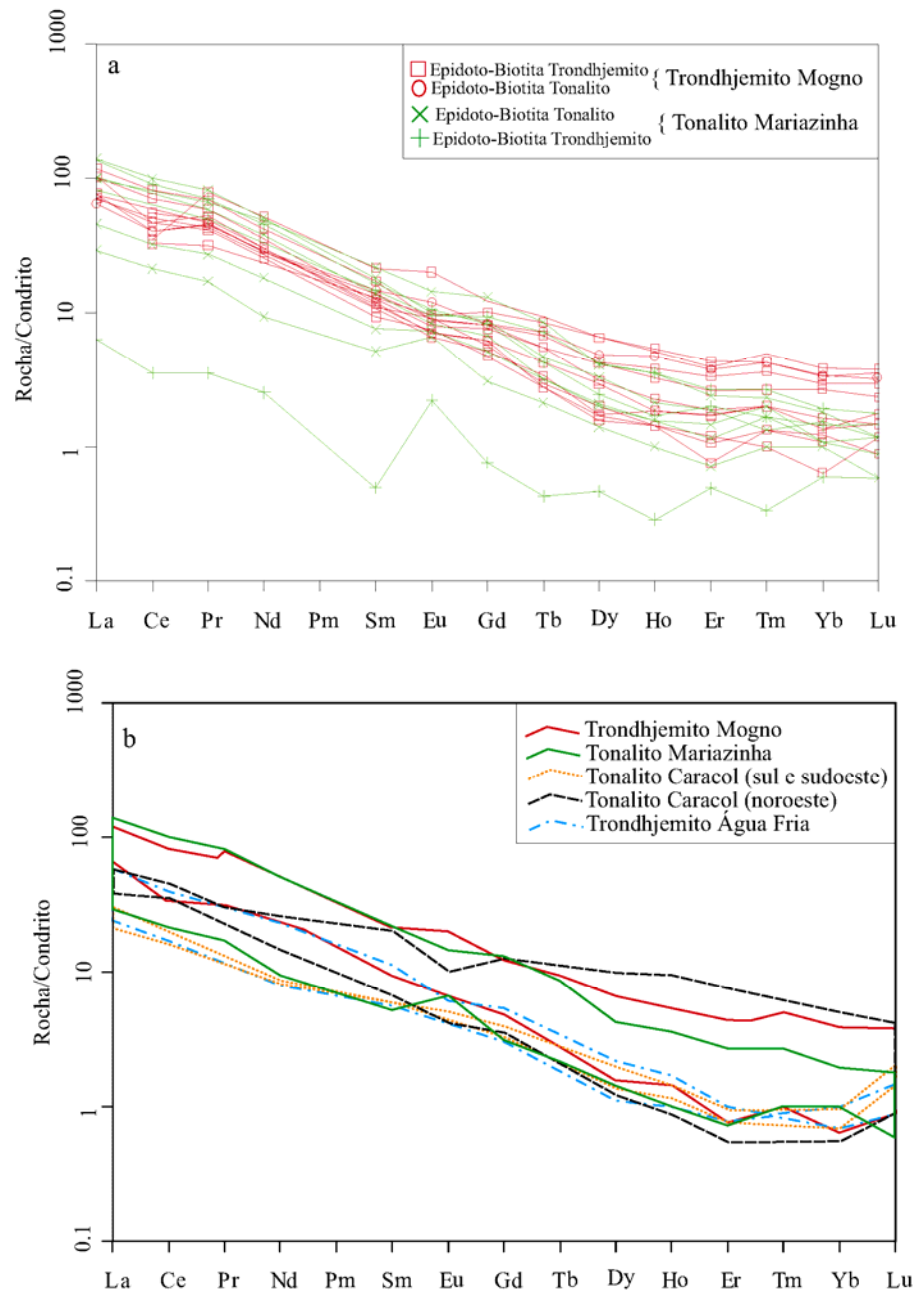


Figura 6- a) Padrões dos elementos terras raras dos TTG estudados; b) Comparação entre os padrões de elementos terras raras das rochas TTG estudadas com aqueles dos TTG da região de Xinguara (Leite 2001). Dados normalizados em relação ao condrito de Nakamura (1974).

caso da amostra FMR-29. O comportamento observado é perfeitamente compatível com o dominante em típicos TTGs arqueanos (Martin 1987, Condie 2005).

CARACTERIZAÇÃO DA SÉRIE MAGMÁTICA

No diagrama normativo Ab-An-Or (O'Connor 1965, modificado por Barker 1979) (Figura 7 a), as rochas analisadas plotam nos campos de tonalitos e trondhjemitos, com as amostras do Trondhjemito Mogno mostrando enriquecimento relativo em Or. 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 AFM (Figura 7 b), as amostras plotam no campo das séries cálcico-alcálicas (Irvine & Baragar 1971). No diagrama K-Na-Ca (Figura 7 c), se posicionam no campo dos típicos trondhjemitos arqueanos (Martin 1994), notando-se orientação segundo o trend trondhjemítico das amostras do Tonalito Mariazinha e um paralelismo incipiente com o trend cálcico-alcálico (Nockolds & Allen 1953, Barker & Arth 1976), no caso do Trondhjemito Mogno. Apresentam número de #Mg variando de 0,40 a 0,33, com uma única amostra destoante (FMR-29 = 0,17). Os valores de #Mg tendem a ser ligeiramente mais elevados nas amostras do Tonalito Mariazinha, em comparação com o Trondhjemito Mogno.

No diagrama $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ vs. $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)$ (Figura 8a), baseado no índice de Shand, onde os óxidos são expressos em proporção moleculares, observa-se que as amostras das duas associações TTG posicionam-se no campo peraluminoso, mas próximas ao limite dos campos metaluminoso e peraluminoso. No diagrama K_2O vs. SiO_2 , as amostras situam-se nos campos das rochas de baixo a médio K (Figura 8b), destacando-se o enriquecimento relativo em K_2O no Trondhjemito Mogno, que separa bem as duas associações TTG estudadas. O diagrama A/CNK vs. K/Na (Figura 8c) também individualiza bem as duas associações TTG, em função, principalmente, das maiores razões K/Na no Trondhjemito Mogno. Já o diagrama #Mg vs. K/Na mostra que o Tonalito Mariazinha apresenta valores um pouco mais elevados de #Mg do que o Trondhjemito Mogno.

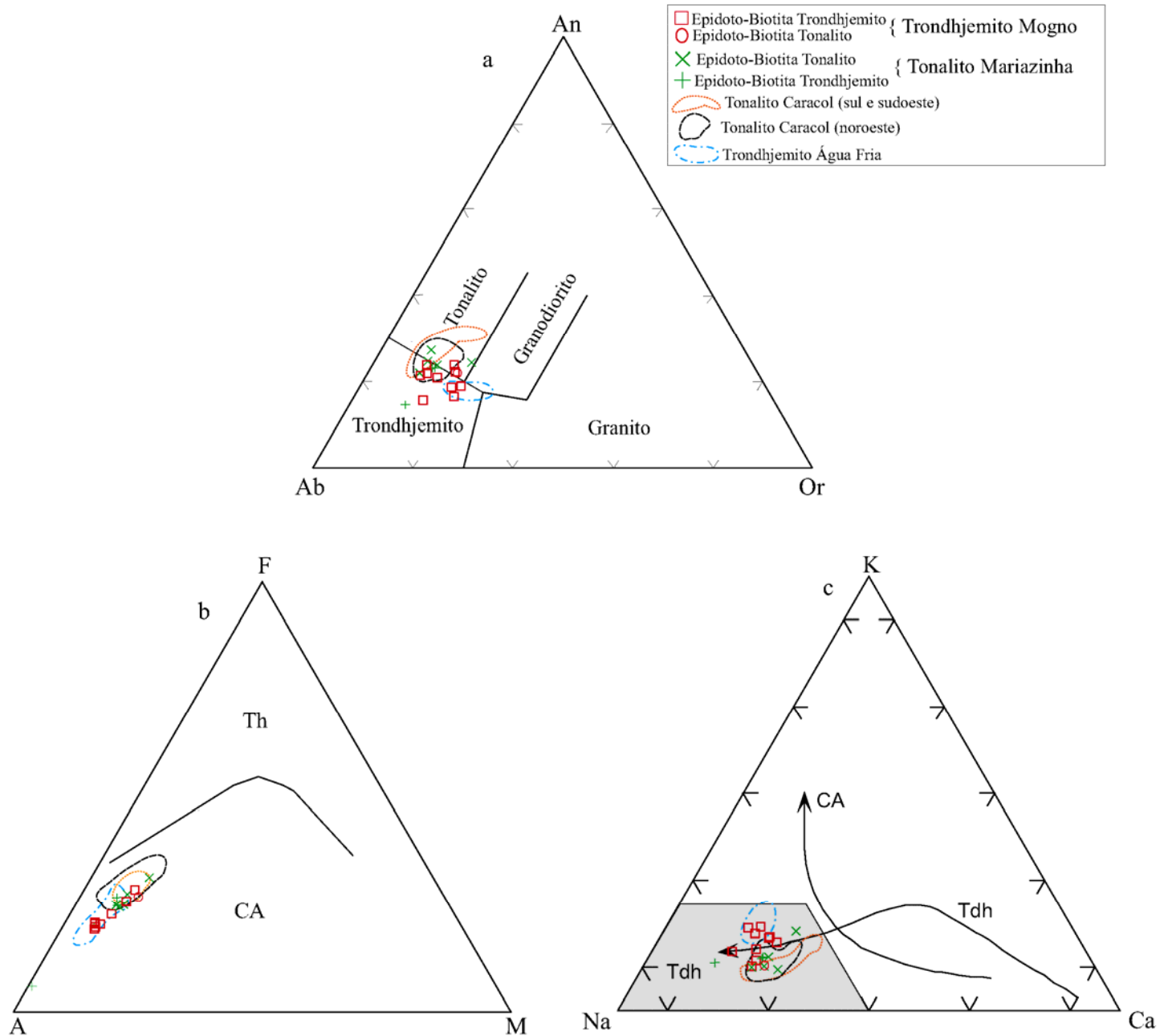


Figura 7- Caracterização geoquímica das rochas TTG estudadas: a) Diagrama Ab-An-Or normativo (O'Connor 1965, com campos de Barker 1979). As amostras plotam nos campos de trondhjemitos e tonalitos e, neste sentido se equivalem aos TTG típicos; b) Diagrama AFM ($A = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; $F = \text{FeO} + 0,9 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$; $M = \text{MgO}$) mostrando o caráter cálcico-alcalino dos TTG. Os campos são de Irvine & Baragar (1971). Th= Toleitos, CA= cálcico-alcalino; c) Diagrama K-Na-Ca mostrando que as amostras estudadas plotam no campo dos TTGs típicos (Tdh) (Martin 1994), porém as amostras do Trondhjemito Mogno apresentam tendência a se alinhar com o trend das séries cálcico-alcalinas, devido ao seu enriquecimento em potássio. Tdh = trend trondhjemítico de Barker & Arth (1976) e CA= trend cálcico-alcalino.

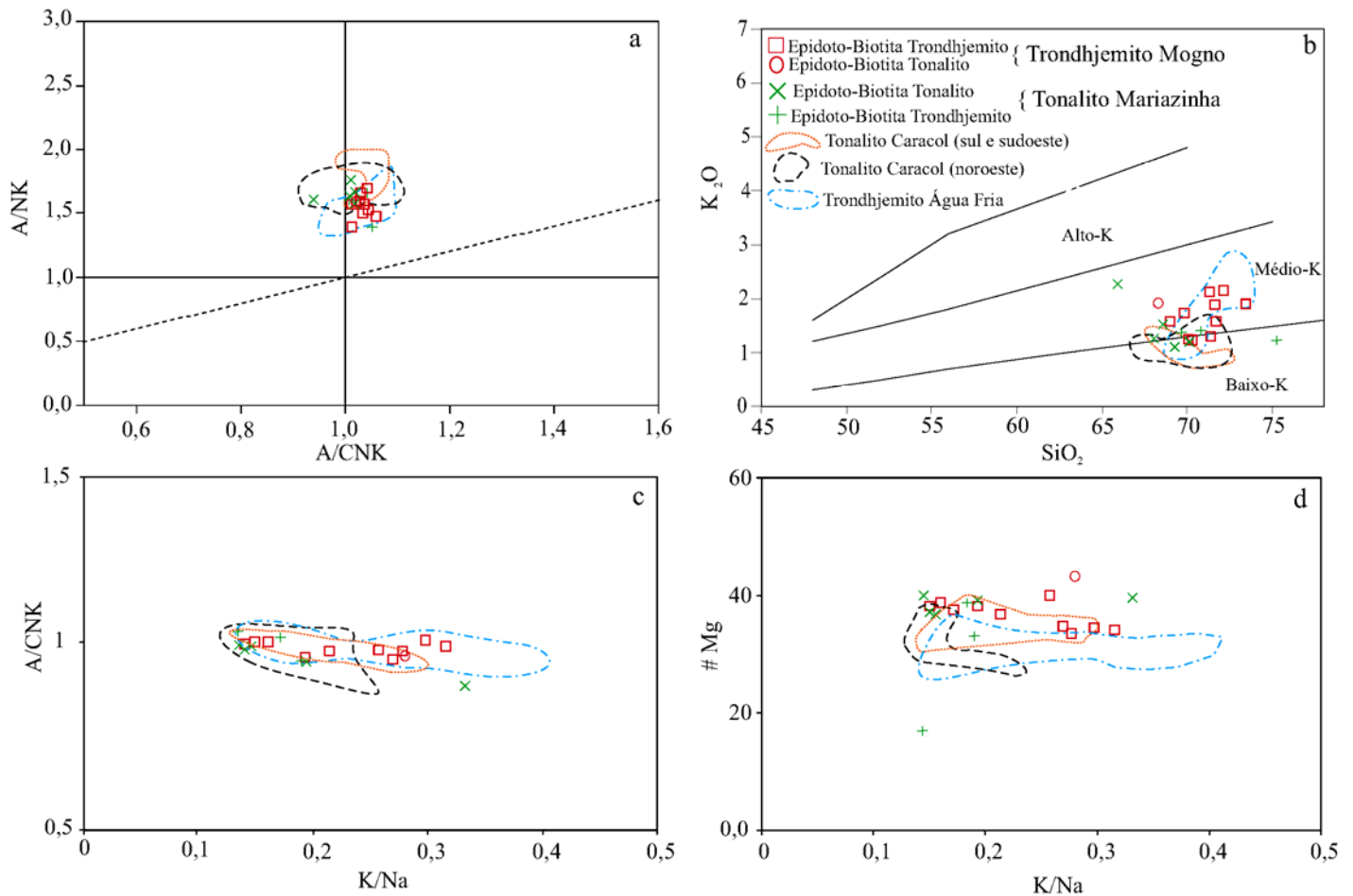


Figura 8- Diagramas de caracterização geoquímica dos TTG estudados: a) Diagrama $[Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)]_{mol}$ vs. $[Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O)]_{mol}$, mostrando o caráter predominantemente peraluminoso destes granitóides; b) Diagrama binário K_2O vs. SiO_2 (Peccerillo & Taylor 1976), mostrando que as amostras dos TTGs plotam nos campos das séries de baixo a médio potássio; c) Diagrama A/CNK vs. K/Na, d) Diagrama #Mg vs. K/Na. A/CNK, K/Na, #Mg razões moleculares.

DISCUSSÕES

Revisão do significado do Trondhjemitó Mogno e definição de nova unidade TTG

Os mapas geológicos anteriores ao presente trabalho indicavam que o Trondhjemitó Mogno apresentava notável homogeneidade, cobria grande extensão no TGGRM e era associado temporalmente à segunda geração de TTGs do TGGRM, com idade próxima de 2,87 Ga (Huhn *et al.* 1988, Souza 1994, Leite *et al.* 2004, Dall’Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008). Entretanto, mapeamento geológico de maior detalhe, acompanhado de estudos de petrografia, geoquímica e geocronologia, permitiu a identificação de duas associações TTG distintas no domínio do Trondhjemitó Mogno. Isto teve diversas conseqüências: Foi reduzida a área de ocorrência do Trondhjemitó Mogno (Figura 2); criou-se a necessidade de proposição de nova associação TTG (Tonalito Mariazinha); implicou rever a idade e o posicionamento estratigráfico do Trondhjemitó Mogno.

Propõe-se, neste trabalho, que a distribuição do Trondhjemitó Mogno se mantenha no seu antigo domínio leste, seja interrompida no domínio central, que passa a ser ocupado pelo Tonalito Mariazinha, e tenha continuidade na porção oeste de sua antiga área de ocorrência (Figura 2). Além disso, os novos dados geocronológicos obtidos por Almeida (em preparação) revelam que o Trondhjemitó Mogno possui idade de cristalização próxima de 2,96 Ga (Tabela 1) e, portanto, não é representativo da segunda geração de TTGs do TGGRM. Estes passaram a ter distribuição areal muito restrita, limitando-se no presente ao Trondhjemitó Água Fria. Preferiu-se manter a designação de Trondhjemitó Mogno, ao invés de propor outra denominação para a unidade, para evitar indesejável proliferação de nomes estratigráficos.

O Tonalito Mariazinha se distingue do Trondhjemitó Mogno pelo fato de apresentar padrão estrutural divergente, com marcante orientação NE-SW ou NS, discordante do padrão dominante no TGGRM (Figura 2). Além disso, sua idade de 2925 ± 4 Ma (Tabela 1; Almeida, em preparação), destoa inteiramente daquela obtida para o Trondhjemitó Mogno. Tanto a idade quanto o padrão estrutural apresentado pelo Tonalito Mariazinha são coincidentes com a ocorrência do Complexo Tonalítico Caracol situado a NW do corpo Xinguara (Leite 2001, Leite *et al.* 2004). Destoam, por outro lado, daqueles apresentados pelo mesmo complexo em suas ocorrências do sul de Xinguara. Isto dificulta a tentativa de correlação entre as duas unidades. É razoável, porém, correlacionar o corpo tonalítico de mesma idade que o Tonalito Mariazinha, com a nova associação TTG identificada.

Concluindo, propõe-se neste trabalho a criação de uma nova unidade estratigráfica, denominada Tonalito Mariazinha, cuja área-tipo se situa ao longo da estrada de direção NE que liga as nascentes do Rio Maria e do Ribeirão Caracol (Figura 2). As composições modais e químicas desta nova unidade já foram apresentadas, assim como é fornecida sua idade (Tabela 1).

Comparações com outras associações TTG do TGGRM

O Complexo Tonalítico Caracol e o Trondhjemitó Águas Frias (Leite 2001) foram escolhidos para comparações petrográficas e geoquímicas com as associações TTG estudadas neste trabalho por aflorarem na região de Xinguara, e serem duas associações TTG estudadas em maior detalhe e representativas, respectivamente, da primeira e segunda gerações de TTG do TGGRM. Considerando o contraste em padrão estrutural e idade entre as rochas do Complexo Tonalítico Caracol dos domínios a NW e a S-SW de Xinguara (Leite 2001), estes dois conjuntos, assim como o Trondhjemitó Águas Frias, foram tomados como grupos independentes.

As associações TTG estudadas neste trabalho não diferem em termos de composição modal de forma acentuada das demais ocorrências mencionadas, pois todas apresentam composições essencialmente tonalíticas e trondhjemitóicas, com raros termos granodioríticos, e têm como principal mineral ferromagnésiano a biotita, geralmente acompanhada por epidoto magmático. Entretanto, os diagramas geoquímicos (Figuras 7 e 8) revelam algumas diferenças e afinidades que merecem ser destacadas. O Tonalito Caracol e Tonalito Mariazinha possuem grande afinidade geoquímica, pois há uma nítida tendência à superposição entre os campos definidos pelas amostras de ambos. A superposição é ainda mais marcante no caso das amostras do Tonalito Caracol do corpo do noroeste. Quanto ao Trondhjemitó Mogno, suas amostras menos evoluídas se superpõem parcialmente com o campo do Tonalito Caracol, enquanto que as mais ricas em K₂O se distribuem nos vários diagramas considerados em campo coincidente com o do Trondhjemitó Águas Frias. Por outro lado, tanto o Trondhjemitó Mogno, quanto o Tonalito Mariazinha possuem Mg# relativamente elevado, mais próximo daquele das amostras do Complexo Tonalítico Caracol do domínio S-SW (Fig. 8d).

Em relação aos padrões de elementos terras raras, foi observada grande similaridade entre as várias associações TTG (Figura 6b), sendo marcante o enriquecimento acentuado em ETRL em relação aos ETRP, com fracionamento moderado a acentuado dos ETRP e fraca a ausente anomalia de Eu.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como base os dados de campo, petrográficos, geoquímicos e geocronológicos apresentados e discutidos neste trabalho, chegou-se às seguintes conclusões:

(1) O Trondhjemitó Mogno, que era tido como um corpo muito homogêneo apresentou em sua principal área de ocorrência diferenças estruturais, petrográficas, geoquímicas e geocronológicas, que levaram à sua separação em duas associações TTG distintas. A designação de Trondhjemitó Mogno foi mantida para a associação dominante, com padrão estrutural NW-SE a EW, distribuída nos domínios leste e oeste da área mapeada. A nova associação identificada na porção centro-oeste da área mapeada, com foliação dominante alinhada segundo NE-SW e NS foi denominada de Tonalito Mariazinha, ficando assim reduzida a área de ocorrência do Trondhjemitó Mogno e sendo definida uma nova unidade estratigráfica na região;

(2) Os dados geocronológicos obtidos por Almeida (em prep.) revelaram que o Trondhjemitó Mogno e o Tonalito Mariazinha não fazem parte da segunda geração de TTGs do TGGRM;

(3) As duas associações TTG estudadas são constituídas principalmente por quartzo e plagioclásio, tendo a biotita como principal mineral ferromagnésiano. Os minerais acessórios primários são feldspato potássico opacos, epidoto, apatita, allanita, titanita e zircão e as principais fases secundárias clorita, sericita-muscovita e epidoto. Plotam sempre no campo dos tonalitos-trondhjemitos no diagrama QAP e sua classificação foi baseada nas variações nos conteúdos de máficos;

(4) Geoquimicamente, os tonalitos e trondhjemitos pertencem ao grupo de TTG com alto Al_2O_3 , são relativamente pobres em elementos ferromagnésianos e possuem anomalias de Eu discretas. Nos clássicos diagramas de discriminação de granitóides arqueanos, situam-se sistematicamente nos campos de trondhjemitos e se alinham segundo o trend trondhjemitico. Suas características são, portanto, compatíveis com as dos típicos granitóides arqueanos da série trondhjemitica (Barker 1979, Martin 1993);

(5) Comparações com os TTG da região de Xinguara revelaram que o Trondhjemitó Mogno possui características geoquímicas transicionais entre o Complexo Tonalítico Caracol e o Trondhjemitó Água Fria, enquanto que o Tonalito Mariazinha apresenta maiores semelhanças com o Complexo Tonalítico Caracol e, particularmente, com as rochas do seu corpo noroeste (Leite 2001);

(6) Os estudos detalhados efetuados no Trondhjemito Mogno e granitóides arqueanos associados mostram que as associações TTG do TGGRM são mais diversificadas do que era admitido e contribuíram significativamente para uma melhor compreensão dos TTG do TGGRM, reduzindo expressivamente as ocorrências da segunda geração de TTGs naquele terreno.

Agradecimentos

Aos pesquisadores do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG-IG-UFPA) pelo apoio nas diversas etapas deste trabalho; ao Instituto de Geociências (IG-UFPA) pelo suporte técnico; à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor; ao CNPq por concessão de bolsas de doutorado (M. A. Oliveira e J. A. C. Almeida) e de produtividade em pesquisa (R. Dall’Agnol) e por apoio financeiro (Processo no 306348/2006-3). Este trabalho é uma contribuição para o INCT de Geociências da Amazônia (CNPq/MCT/FAPESPA – Processo no 573733/2008-2).

Referências

- Almeida J.A.C., Dall’Agnol R. Oliveira D.C. 2006. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Rev. Bras. Geoc.*, **36**: 282 - 295.
- Almeida J.A.C., Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Althoff F.J., Borges R.M.K., 2008. Relatório de mapeamento geológico na escala 1:100.000 da Folha Marajoara (sb-22-z-c v). Programa Geobrasil, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 147p.
- Almeida J.A.C. (em preparação). Evolução geológica arqueana do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE do Cráton Amazônico. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- Althoff F.J. 1996. Etude pétrologique et structurale des granitoïdes de Marajoara (Pará, Brésil): leur rôle dans l'évolution archéenne du craton Amazonien (2,7-3,2 Ga). Tese de Doutorado, Université Henri Poincaré, Nancy I – France. 296p.
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*, **104**, 187-206.
- Barker F. 1979. Trondhjemites: definition, environment and hypotheses of origin. In: BARKER, F. (Ed.) *Trondhjemites, dacites and related rocks*. Amsterdam, Elsevier. p. 1-12.
- Barker F. & Arth J.G. 1976. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archaean bimodal trondhjemite-basalt suites. *Geology*, **4**: 596-600.

Bowden P., Batchelor R.A., Chapell B.W., Didier J., Lameyre J. 1984. Petrological, geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion. *Earth and Planetary Science Letters*, **35**, 1-11.

Condie K.C. 2005. TTGs and adakites: are they both slab melts? *Lithos*. **80** (1-4): 33-44.

Cordeiro A.A.C., Saueressig R. 1980. Serra das Andorinhas: geologia e principais ocorrências de ouro. In: SBG, Cong. Bras. Geol. 31., , Camboriú. Resumos das comunicações... Camboriú: SBG, 1980. p. 344.

Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Råmo O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. *Lithos*, **80**: 101-129.

Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M., 2006. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian craton. In: Dall'Agnol R., Rosa-Costa L.T., Klein E.L. (eds.). Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian craton. Abstracts volume and field trips guide. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, 99-150.

Docegeo. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: SBG, Cong. Bras. Geol., **35**. Belém. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, SBG. p. 11-54.

Duarte K.D. 1992. Geologia e geoquímica do Granito Mata Surrão (SW de Rio Maria – Pa): um exemplo de granito “stricto sensu” Arqueano. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 217p.

Guimarães F.V. 2007. Mapeamento Geológico e Petrografia de granitóide Tonalítico-Trondhjemitico da Região a Leste de Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria - PA. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia - Universidade Federal do Pará. 57p.

Harker A. 1965. The natural history of igneous rocks. New York. Macmillan, 384p.

Hanson G.N., 1978. The application of trace elements in the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. *Earth and Planetary Science Letters*, **38**: 26-43.

Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - Sul do Pará. In: SBG, Congr. Bras. Geol. 35. Belém. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, SBG. v. 3, p. 1438-1453.

Irvine T.N., Baragar W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of the Earth Sciences*, **8**: 523-547.

Lameyre J. & Bowden P. 1982. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **14**: 169-186.

Jahn B.M.; Glikson A.Y.; Peuca, J.J.; Hickman A.H. 1981. REE geochemistry and isotopic data of Archean silicic volcanics and granitoids from Pilbara Block, Western Australia: implication for the early crustal evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **45**:1633-1652.

- Leite A.A.S. 2001. Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará,. 330p.
- Leite A.A.S., Dall'Agnol R., Macambira M.J.B., Althoff F.J. 2004. Geologia e geocronologia dos granitóides arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. *Rev.Bras. Geoc.*, **34**: 447-458.
- Leite A.A.S.; Dall'Agnol, R.; Althoff F.J. 1999. Geoquímica e aspectos petrogenéticos do granito Xinguara, Terreno granito-greenstone de Rio Maria – Cráton Amazônico. *Rev.Bras. Geoc.*, **23**(3): 429-436.
- Le Maitre R.W., 2002. A classification of igneous rocks and glossary of terms. 2nd Edition , London, 193 p.
- Macambira M.J.B. 1992. 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. Tese de Doutorado, Montpellier, Université Montpellier II-France. 212 p.
- Macambira M.J.B., Costa J.B.S., Althoff F.J., Lafon J.M.; Melo J.C.V.; Santos A. 2000. 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, 31st, Rio de Janeiro, CD-ROM. SBG.
- Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; Síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra, Belém, (7)*: 263-287.
- Macambira M.J.B. & Lancelot J. 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *International Geology Review*, **38** (12): 1134-1142.
- Martin H. 1994. 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. p. 205-259.
- Martin H.; Chauvel C.; Jahn B.M. 1983. Major and trace element geochemistry and crustal evolution of Archaean granodioritic rocks from eastern Finland. *Precambrian Research*, **21**: 159-180.
- Martin H. 1987. Petrogenesis of Archaean trondhjemites, tonalites and granodiorites from eastern Finland: major and trace element geochemistry. *Journal of Petrology*, **28**: 921-953.
- Medeiros H. & Dall'Agnol R. 1988. Petrologia da porção leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. In: SBG, Congr. Brasileiro. Geol., 35, Belém. *Anais de Congresso Brasileiro de Geologia*. SBG. v 3, p.1488-1499.
- Nakamura N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **38**:757-775.

- Neves A.P., & Vale A.G. 1999. Redenção: folha SC.22- X-A. Estados do Pará e Tocantins, escala 1:250.000. Brasília: DNPM/CPRM. CD-ROM. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).
- Nockolds S.R. & Aalen R., 1953. The geochemistry of some igneous rock series, Part I. *Geochem. Cosmochim. Acta*, **4**: 105-142.
- O'Connor J.T. 1965. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. *US Geological Survey Professional Papers*, 525B: 79-84.
- Oliveira D. C., 2001. Geologia, geoquímica e petrologia magnética do granito paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. Dissertação de Mestrado Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 207 p.
- Oliveira D. C., 2006. Modelos de evolução e colocação dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico. Tese Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 171p..
- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J., 2006. Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Rio Maria da região de Bannach e comparações com as demais ocorrências no terreno Granito-Greenstone de Rio Maria-Pará. *Rev. Bras. Geoc.*, **36** (2), 313-326.
- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. **27**. p. 146-160.
- Peccerillo A. & Taylor S.R. 1976. Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamoru area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **58**:63-81.
- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 38. Camboriú, 1988. Boletim de Resumos Expandidos. Camboriú, SBG. p. 390-391.
- Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2002. Geocronologia dos granitóides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do Cráton Amazônico, SSE Pará. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 41. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. João Pessoa, 2002. SBG. p. 525.
- Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. In: South American Symposium On Isotope Geology, 4, Salvador. Expanded Abstracts. Salvador: CD-ROM.
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, **3**: 453-488.
- SANTOS J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L.A. *et al.* (Ed.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM-Serviço Geológico do Brasil. p. 169-226, il.

Santos & Pena Filho 2000. Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Região de Xinguara, folha Xinguara (SB-22-Z-C), Estado do Pará. Texto explicativo, Brasília, DNPM/CPRM. 120p.

Shand, S.J. 1950. Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit. 4ed., London, 488p.

Silva Jr. R.O., Dall'agnol R., Oliveira E.P. 1999. Geologia, petrografia e geoquímica dos diques proterozóicos da região de Rio Maria, sudeste do Pará. *Geochimica Brasiliensis*. **13**(2):163-181.

Souza Z.S., Potrel H., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall'Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes of the Identidade Belt, an Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajas Province, Brazil): implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Prec. Res.* **109**(3-4):293-315.

Souza Z.S. 1994. Geologia e petrogênese do "Greenstone Belt" Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-"greenstone" de Rio Maria, SE do Pará. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. v- 1 e 2, 624p..

Souza Z.S., Dall'Agnol, R., Oliveira C.G.; Huhn S.R.B. 1997. Geochemistry and petrogenesis of metavolcanic rocks from Archean greenstone belts: Rio Maria region (Southeast Pará, Brazil). *Rev. Bras. Geoc.*, **27**(2): 169-180.

Streckeisen A.L., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, **12**: 1-33.

Tassinari C.C.G., & Macambira M.J.B., 2004. Evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R., Brito Neves, B. B. de. (Org.). *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida*. São Paulo: BECA, 2004, v., p. 471-486.

Tassinari C.C.G.; Hirata W.K.; Kawashita K. 1988. Geologic of the Serra dos Carajás, Pará, Brazil, In: *International Symposium on Archean and early Proterozoic Geologic Evolution and Metallogenesis-ISAP*. Salvador. *Anais Rev. Bras. Geoc.*, **12** (1-3):263-7.

Vance J.A. 1968. On synneusis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **24**. 7-29

Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T., Silva C.M.G., Ricci P.S. F., Barbosa J.P.O., Klein E.L., Lopes E.C.S., Macambira E.M.B., Chaves C. L., Carvalho J.M.A., Oliveira J.G.F., Anjos G.C., Silva H.R., 2008. Unidades Litoestratigráficas. In: *Geologia e Recursos Minerais Do Estado Do Pará*.

Wedepohl K.H., 1970. Rubidium, *Handbook of geochemistry*. Berlin, Springer-Verlag, pp. 37-B - 37-N.

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DO QUARTZO-DIORITO PARAZÔNIA E GRANODIORITO GROTÃO, TERRENO GRANITO-GREENSTONE DE RIO MARIA- PARÁ.

Fabriciana Vieira Guimarães^{1,2} (fabricia@ufpa.br), Roberto Dall'agnol^{1,3}(robdal@ufpa.br), Marcelo Augusto de Oliveira^{1,2} (mao@ufpa.br), José de Arimatéia Costa de Almeida^{1,2} (ari@ufpa.br),

¹Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) - Instituto de Geociências (IG) – Universidade Federal do Pará (UFPA). Caixa Postal 8608, CEP-66075-900, Belém, Pará.

²Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) – IG - UFPA

³Instituto de Geociências (IG) –(UFPA).

RESUMO

Na área de ocorrência do Trondhjemitó Mogno, no Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (TGGRM), SE do Cráton Amazônico, além das associações TTG, foi identificada nova unidade, denominada de Granodiorito Grotão, e foi proposta a redefinição do Tonalito Parazônia que passa a ser denominado de Quartzo-diorito Parazônia. Estes dois granitóides não apresentam nenhuma ligação genética entre si, nem tampouco com o Trondhjemitó Mogno e o Tonalito Mariazinha, granitóides TTG arqueanos nela presentes. O leucogranodiorito Grotão forma três pequenos stocks e são constituído essencialmente por plagioclásio, quartzo e feldspato potássico, tendo biotita e epidoto como principais minerais ferromagnesianos. Apresenta caráter metaluminoso a peraluminoso, conteúdo de alumina sempre maior que 15% e comportamento geoquímico distinto dos granitóides TTG do TGGRM e do Granito Xinguara e bastante similar ao de biotita-granodiorito identificado a sul de rio Maria. No geral, em diagramas geoquímicos, as amostras do Granodiorito Grotão e das associações TTG (Trondhjemitó Mogno e Tonalito Mariazinha) se superpõem, mostrando que o granodiorito não pode ser produto de diferenciação dos TTG. O Quartzo-diorito Parazônia é constituído essencialmente por plagioclásio, quartzo e anfibólio, acompanhados por feldspato potássico, biotita e epidoto e possui conteúdos modais elevados de minerais máficos. Geoquimicamente são rochas intermediárias, fortemente metaluminosas, que mostram marcantes analogias com as rochas da associação sanukitóide do TGGRM. Exibem, porém, algumas diferenças significativas em relação às rochas intermediárias de Bannach, como

menor teor de sílica e menor valor de Mg #. Os estudos desenvolvidos no TGGRM têm permitido aprofundar o conhecimento sobre os granitóides arqueanos que formam aquele terreno. Isto tem contribuído para esclarecer os processos que ocasionaram a origem e a evolução magmática dos mesmos, e, numa escala mais ampla, das associações arqueanas de modo geral.

Palavras-Chaves: Arqueano, Quartzo-diorito Parazônia, Sanukitóide, Biotita Granodiorito, Granodiorito Grotão.

ABSTRACT

The Mesoarchean Rio Maria Granite-Greenstone Terrane (RMGGT), SE Amazonian craton, is composed of greenstone belts, TTG granitoids, sanukitoid series and granites. To the southwestern of Xinguara, in the domain where Mogno Trondhjemite and Mariazinha Tonalite (TTG) are exposed, a new granitoid unit named Grotão Granodiorite was identified. It cuts the Mariazinha Tonalite. In that area, it was also previously described the Parazônia Tonalite which is now denominated Parazônia Quartz diorite. The leucogranodiorite Grotão is represented by three small stocks and their rocks are composed essentially of plagioclase, quartz, and alkali feldspar with biotite and magmatic epidote as major mafic minerals. Analyzed samples have more than 15 wt. % of Al_2O_3 , are metaluminous to peraluminous and show a geochemical behavior distinct from RMGGT TTG and Xinguara Granite, but similar to that shown by some biotite granodiorite described to the south of Rio Maria. In several variation diagrams, the Grotão Granodiorite and TTG samples define superposed fields indicating that the studied leucogranodiorite is not a differentiation product of TTG magmas. The Parazônia Quartz Diorite has a high modal content of mafic minerals and is composed essentially of plagioclase, quartz, and amphibole, with subordinate alkali feldspar, biotite and magmatic epidote. It is formed of strongly metaluminous, intermediate rocks which are similar to the sanukitoid series of the RMGGT. However, the Parazônia Quartz Diorite display lower silica and Mg # compared to the intermediate rocks associated to the Rio Maria sanukitoid granodiorite in the Bannach area. It is concluded that the Grotão Granodiorite and the Parazônia Quartz Diorite are not cogenetic rocks and that both are not related to the TTG series by magmatic differentiation processes. The studies undertaken in the RMGGT Archean granitoids have contributed to a better understanding of the nature of these rocks, as well of the processes responsible for their origin.

Keywords: Archean, Parazonia Quartz Diorite, Grotão Granodiorite, Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Sanukitoid

INTRODUÇÃO

O magmatismo arqueano presente no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), localizado no sudeste do Estado do Pará (Figura 1), é formado fundamentalmente por greenstone belts e associações granitóides. Rochas sanukitóides intermediárias associadas com o Granodiorito Rio Maria são relativamente escassas, embora tenham sido descritas a sul de Xinguara (Souza 1994) e, de modo mais expressivo, nas cercanias de Bannach (Oliveira *et al.* 2006, 2009). Medeiros (1987) descreveu ocorrências de biotita granodioritos, associados ao Granodiorito Rio Maria em sua área-tipo e os interpretou como termos mais evoluídos derivados do magma formador daquele granodiorito. Afora esse exemplo, biotita-granodioritos foram raramente descritos no TGGRM, havendo, porém, estudos recentes efetuados em rochas arqueanas afins na Folha Marajoara (Costa 2009, Dias em preparação). Essas rochas apresentam-se comumente em forma de pequenos corpos, os quais não se encontram representados nos mapas geológicos e são muitas vezes confundidos com leucogranitos cálcico-alcalinos ou com produtos de diferenciação local dos demais granitóides do TGGRM.

Em recente mapeamento em áreas de ocorrência do Trondhjemitó Mogno, a área de exposição do primeiro foi reduzida e foi identificada uma nova associação TTG arqueana, denominada de Tonalito Mariazinha (Figura 2; Guimarães *et al.* submetido). Nos domínios da última se situava o corpo do Tonalito Parazônia (Huhn *et al.* 1988, Santos & Pena Filho 2000), descrito como uma rocha do tipo TTG rica em anfibólio. Porém, os estudos efetuados não confirmaram a existência de um corpo com a extensão e as características mencionadas, mas sim de um corpo menor, formado predominantemente por rochas quartzo-dioríticas afins das associações sanukitóides do TGGRM (Oliveira *et al.* 2006, 2009). Além disso, foram identificados na área mapeada três *stocks* formados essencialmente por biotita-granodiorito, inteiramente distinto dos TTG e das rochas sanukitóides (Figura 2).

O presente trabalho visa à caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do quartzo-diorito e biotita-granodiorito mencionados, buscando-se uma melhor caracterização destes litotipos, sua comparação com os granitóides arqueanos dos demais domínios do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM). Bem como uma reavaliação do Tonalito Parazônia. Este trabalho é integrado ao estudo das associações TTG arqueanas da mesma região (Guimarães *et al.* submetido), pretendendo complementá-lo.

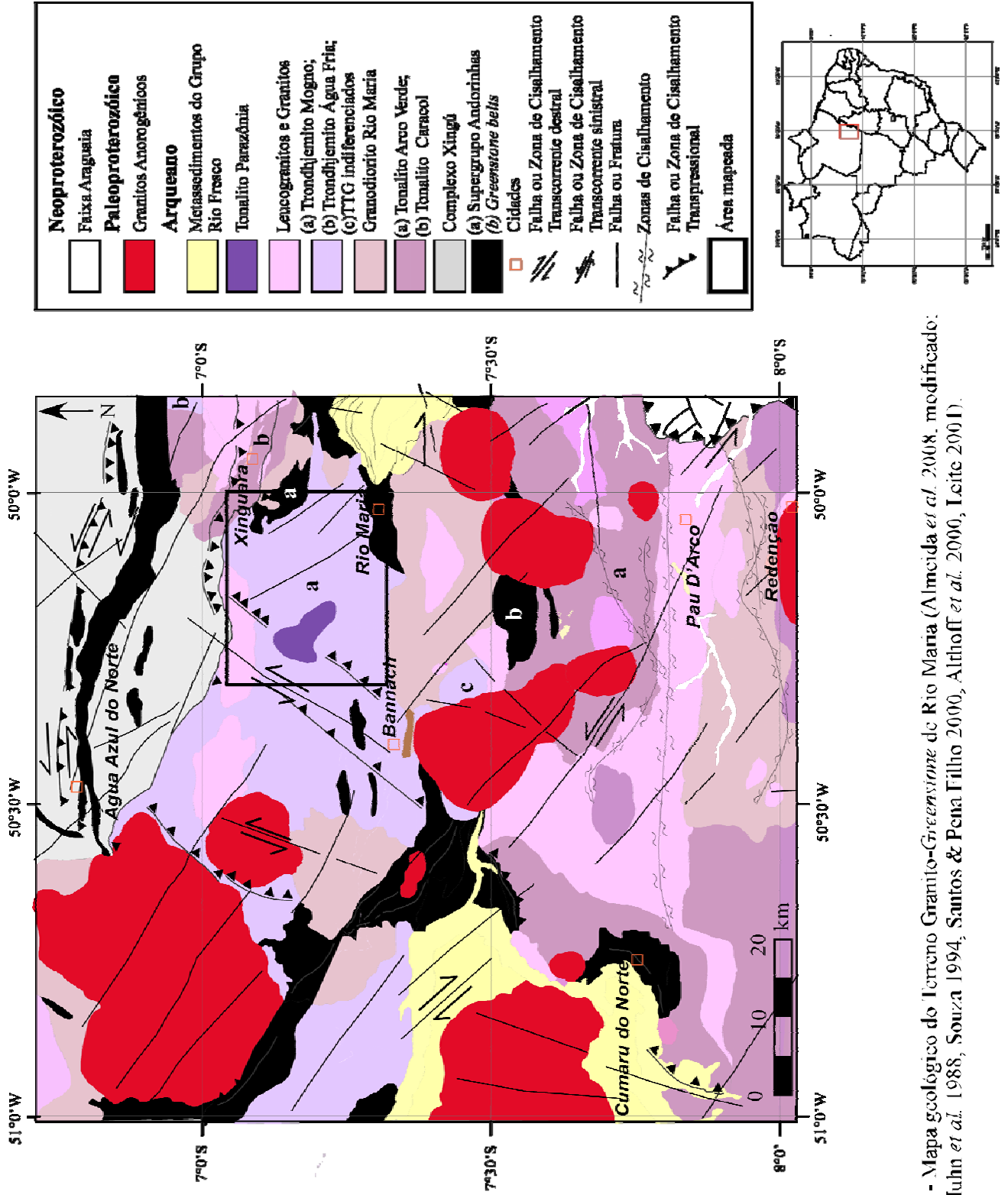


Figura 1 - Mapa geológico do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (Almeida *et al.* 2008, modificado). Fontes: Iuhn *et al.* 1988, Souza 1994, Santos & Pena Filho 2000, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001).

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, no qual estão inseridas as ocorrências de biotita-granodiorito e quartzo-diorito, está localizado no sudeste do Cráton Amazônico nos domínios da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira 2004) ou Carajás (Santos 2003).

Uma síntese sobre a geologia do TGGRM foi apresentada em Guimarães *et al.* (submetido) não se justificando repeti-la aqui. A geologia e estratigrafia do terreno podem ser visualizadas no mapa geológico da Figura 1. Alguns aspectos que concernem ao presente trabalho e merecem destaque são: a ampla ocorrência no TGGRM de associações TTG, de rochas sanukitóides (Granodiorito Rio Maria e rochas associadas) e de granitos cálcico-alcálicos (Dall’Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008). Afora o Granodiorito Rio Maria, rochas granodioríticas não se encontram representadas em mapas geológicos em escala regional. Até muito recentemente, o Trondhjemito Mogno era visto como uma unidade de ampla distribuição espacial e grande homogeneidade, relacionada com a segunda geração de TTGs do TGGRM (idade próxima de 2,87 Ga). Estes últimos pressupostos não foram confirmados, conforme demonstrado por Guimarães *et al.* (submetido).

Além dos granitóides mencionados, foi distinguido no TGGRM o Tonalito Parazônia (Huhn *et al.* 1988, Docegeo 1988) que forneceu uma idade de 2858 Ma (U-Pb em titanita; Pimentel & Machado 1994) e seria intrusivo no Trondhjemito Mogno.

GEOLOGIA DA ÁREA

Foi feito mapeamento na escala de 1:100.000 do principal domínio de ocorrência do Trondhjemito Mogno (Guimarães em prep.). Este domínio também foi escolhido para mapeamento por abranger a área de ocorrência do Tonalito Parazônia, cuja caracterização, delimitação e posicionamento estratigráfico necessitavam aprimoramento e reavaliação.

A área é caracterizada por um relevo planeplanizado e, apesar de encontrar-se inteiramente desmatada e apresentar número expressivo de afloramentos, só raramente são observadas relações de campo entre os diversos litotipos. Nos supostos domínios do Trondhjemito Mogno, as feições estruturais evidenciaram variações expressivas na direção das foliações, que estão ora orientadas segundo as direções E-W a NW-SE, coincidentes com as dominantes no TGGRM, ora segundo NE-SW a N-S. Este último trend é francamente dominante

no domínio centro-oeste da admitida área de ocorrência do Trondhjemito Mogno. O contraste estrutural, somado com dados petrográficos, geoquímicos e, sobretudo, com datações geocronológicas efetuadas por Almeida (em preparação), permitiu distinguir duas associações TTG na área antes atribuída ao Trondhjemito Mogno (Guimarães *et al.* submetido). A primeira é mais antiga e ocorre nas porções leste e oeste da área mapeada (Figura 2), tendo sido mantida a designação de Trondhjemito Mogno para a mesma, apesar de sua idade ($2,959 \pm ?$ Ga) ser bem superior a anteriormente assumida. A segunda foi denominada de Tonalito Mariazinha e seria um pouco mais jovem ($2,925 \pm ?$ Ga) do que o Trondhjemito Mogno. Estas duas associações TTG não seriam, portanto, vinculadas à segunda geração de TTGs do TGGRM, contrariamente ao admitido até então (Dall'Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008).

No mapa geológico podem ser visualizadas a distribuição das diferentes unidades e a coluna estratigráfica definida neste trabalho (Figura 2). Uma descrição das diferentes unidades, incluindo detalhamento sobre o Trondhjemito Mogno e Tonalito Parazônia, pode ser encontrada em Guimarães *et al.* (submetido), sendo enfatizados no presente trabalho apenas os aspectos que dizem respeito aos dois granitóides que são o foco do mesmo.

Na área leste de exposição do Tonalito Parazônia (Huhn *et al.* 1988, Santos & Pena Filho 2000) foram identificadas rochas predominantemente quartzo-dioríticas, denominadas neste trabalho de Quartzo-diorito Parazônia, por estar melhor exposto na Fazenda Parazônia. Além disso, foram identificados três *stocks* formados essencialmente por biotita-granodiorito (Figura 2).

Granodiorito Grotão: este granitóide ocorre de forma localizada nas porções oeste e sudoeste da área mapeada (Figura 2), em afloramentos por vezes de grande expressão (Figura 3a), de aspecto homogêneo e, no geral, com uma foliação NE-SW. Engloba enclaves de rochas de composições tonalíticas ou trondhjemíticas (Figura 3b), deduzindo-se que seja intrusivo no Tonalito Mariazinha, e é cortado por veios de leucogranitos e epidoto. Este granodiorito é inteiramente distinto dos TTGs e das rochas sanukitóides, sendo proposta para ele, no presente trabalho, a denominação de Granodiorito Grotão. Datações geocronológicas desta unidade estão sendo efetuadas (Almeida em prep.). Sua área tipo se situa no interflúvio entre as nascentes do Rio Maria e do Ribeirão Caracol (Figura 2).

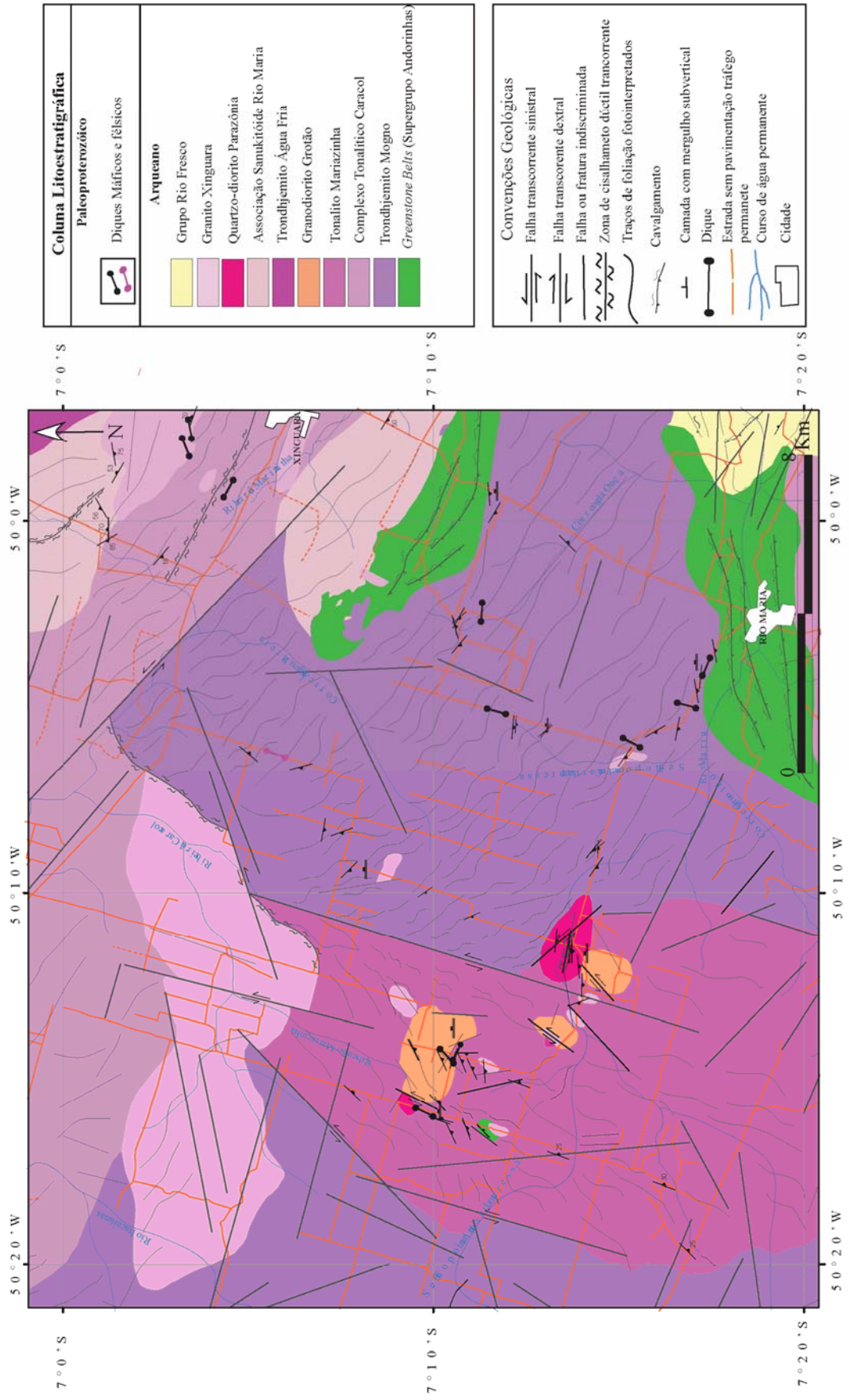


Figura 2- Mapa geológico da área estudada.

Quartzo-diorito Parazônia: este granitóide forma um pequeno *stock* no centro da área (Figura 2), com pouca expressão na topografia, aflorando em blocos e matacões, por vezes com área de exposição expressiva (Fazenda Parazônia) (Figura 4a). Embora as relações de campo não sejam inteiramente conclusivas, admite-se que seja intrusivo no Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha, hipótese esta confirmada pela idade de 2876 ± 2 Ma obtida em quartzo-diorito desta unidade (Almeida em prep.). Constatou-se a presença de faixa de cisalhamento de dimensões métricas e direção E-W afetando este granitóide, sendo que as foliações seguem esta mesma direção. O Quartzo-diorito Parazônia possui veios de leucogranitos associados e as relações de campo indicam que ambos coexistiram no estado líquido, sugerindo contemporaneidade entre eles (Figura 4b). Ambos são cortados por vênulas de epidoto. Na região, rochas semelhantes a essas foram mapeadas a leste de Bannach (Oliveira *et al.* 2006, 2009) e a sul de Xinguara (Souza 1994, Dall’Agnol *et al.* 1999).



Figura 3 - (a) vista geral do afloramento de grande expressão do Granodiorito Grotão; (b) enclave anguloso de rocha ttg englobado pelo Granodiorito Grotão.

PETROGRAFIA

Granodiorito Grotão

COMPOSIÇÕES MODAIS E CLASSIFICAÇÃO

Foram realizadas seis análises modais em amostras representativas do Granodiorito Grotão, sendo que todas apresentaram composição granodiorítica (Figura 5, Tabela 1). A composição mineralógica média desta rocha é representada essencialmente por quartzo (27%), plagioclásio (49,5%) e feldspato potássico (12,6%), tendo biotita e epidoto como principais fases máficas. As composições modais (Tabela 2), quando plotadas no diagrama Q-A-P (Streckeisen

1976), incidem no campo dos granodioritos (Figura 5). O conteúdo médio de minerais máficos é de 6,8%, revelando que se trata de leucogranodioritos.

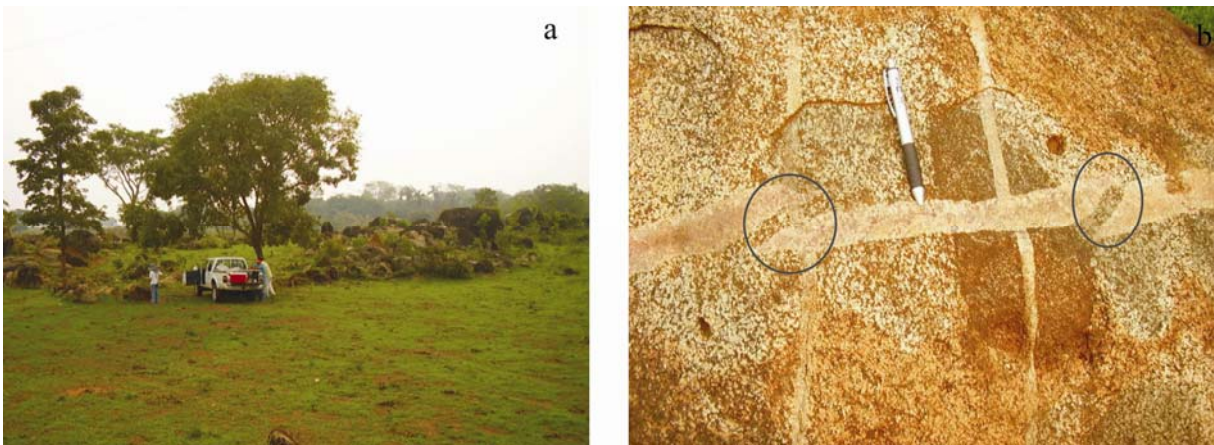


Figura 4 - (a) visão geral da principal exposição do Quartzo-diorito Parazônia junto à entrada de pasto da fazenda homônima; (b) Quartzo-diorito Parazônia englogando enclave máfico decimétrico cortado por duas gerações de veios leucograníticos, que, por sua vez, apresentam fraturas preenchidas por rocha semelhante ao quartzo-diorito (destacadas por círculos), sugerindo contemporaneidade entre o quartzo-diorito e os leucogranitos.

ASPECTOS TEXTURAIS

O Granodiorito Grotão apresenta textura granular hipidiomórfica fina, com graus variáveis de deformação e recristalização, mas, de modo geral, não muito pronunciada.

O Plagioclásio apresenta cristais equigranulares, hipidiomórficos e, subordinadamente, idiomórficos, que formam localmente agregados, com forte alteração e zoneamento do tipo normal. Sua alteração é para sericita e epidoto, podendo algumas vezes se desenvolverem grandes lamelas de muscovita. Apresenta inclusões de apatita e, localmente, biotita.

O Quartzo forma cristais equigranulares finos ou raramente médios (<2mm), hipidiomórficos, sem orientação preferencial. Os contatos entre os grãos são retilíneos a curvos e alguns cristais apresentam forte extinção ondulante. Os agregados de quartzo exibem grãos com contatos poligonais, resultantes de recristalização e da formação de sub-grãos e novos grãos.

O Feldspato Potássico ocorre em pequenas proporções e seus cristais são hipidiomórficos, com tamanho geralmente <1 mm. Apresentam escassas lamelas sódicas e inclusões de biotita, plagioclásio, epidoto e titanita. Nas bordas de alguns cristais, observam-se intercrescimentos

mirmequíticos. Alguns cristais de feldspato potássico exibem forma idiomórfica e, provavelmente, se desenvolveram tardiamente, preenchendo cavidades.

A Biotita ocorre predominantemente em lamelas hipidiomórficas de granulação fina, que formam agregados, e seu pleocroísmo varia de amarelo pálido a verde acastanhado. Os cristais de biotita estão associados aos de plagioclásio e com finos cristais idiomórficos de titanita e epidoto e, por vezes, acham-se inclusos em cristais de feldspato alcalino e quartzo. É substituída parcialmente por clorita que se posiciona preferencialmente ao longo dos seus planos de clivagem.

Tabela 1- Composições modais de amostras representativas do Granodiorito Grotão

Amostra/Mineral	Granodiorito Grotão					
	FMR-45	FMR-49	FMR-59	FMR-60	FMR-69A	FMR-105
Plagioclásio	47,20	55,90	48,30	49,10	50,30	46,10
Quartzo	26,80	22,20	25,50	32,00	27,60	27,00
Feldspato Potássico	15,80	8,90	11,40	11,70	10,70	17,30
Biotita	6,50	4,70	6,20	0,20	4,40	5,80
Epidoto (p)	0,90	1,20	0,60	Tr	0,60	0,80
Epidoto (s)	1,00	5,10	5,30	3,20	4,30	1,80
Allanita	Tr	Tr	0,10	Tr	0,10	Tr
Apatita	0,20	0,10	0,10	Tr	0,10	0,30
Opacos	0,20	0,20	0,20	0,10	0,20	Tr
Titanita	0,50	1,00	1,30	0,10	0,60	0,50
Clorita	0,10	Tr	0,20	2,80	0,20	Tr
Zircão	Tr	0,10	Tr	Tr	0,10	Tr
Muscovita	0,40	0,20	0,20	0,20	0,30	0,20
A+P	63,00	64,80	59,70	60,80	61,00	63,40
Máficos (M [?])	8,60	7,10	8,50	3,10	6,10	7,40
Plagioclásio*	52,56	64,25	56,69	52,91	56,77	51,00
Quartzo*	29,84	25,52	29,93	34,48	31,15	29,87
Feldspato Potássico*	17,59	10,23	13,38	12,61	12,08	19,14

Abreviações: A – Feldspato-potássico; P – Plagioclásio; * recalculado a 100%; p - primário; s - secundário

O Epidoto ocorre como cristais idiomórficos finos ou em agregados de minerais máficos, associado com a biotita. Foram distinguidos os seguintes tipos texturais de epidoto na rocha:

Epidoto I - cristais idiomórficos que ocorrem associados com a biotita, mostrando contatos retilíneos entre si, sugerindo equilíbrio entre essas duas fases.

Epidoto II - cristais finos hipidiomórficos a xenomórficos que ocorrem dispersos na rocha em quantidades consideráveis;

Epidoto III- cristais finos, produto de alteração do plagioclásio;

A titanita É uma fase acessória bastante característica desta rocha. Ela desenvolve cristais idiomórficos a hipidiomórficos, finos, por vezes se apresentando em seções losangulares, associados com agregados de biotita e epidoto e, localmente, incluso em plagioclásio ou bordejando cristais de opacos.

Os opacos ocorrem como cristais finos, idiomórficos, dispersos na rocha.

A allanita forma cristais subédricos, bordejados por epidoto e apatita.

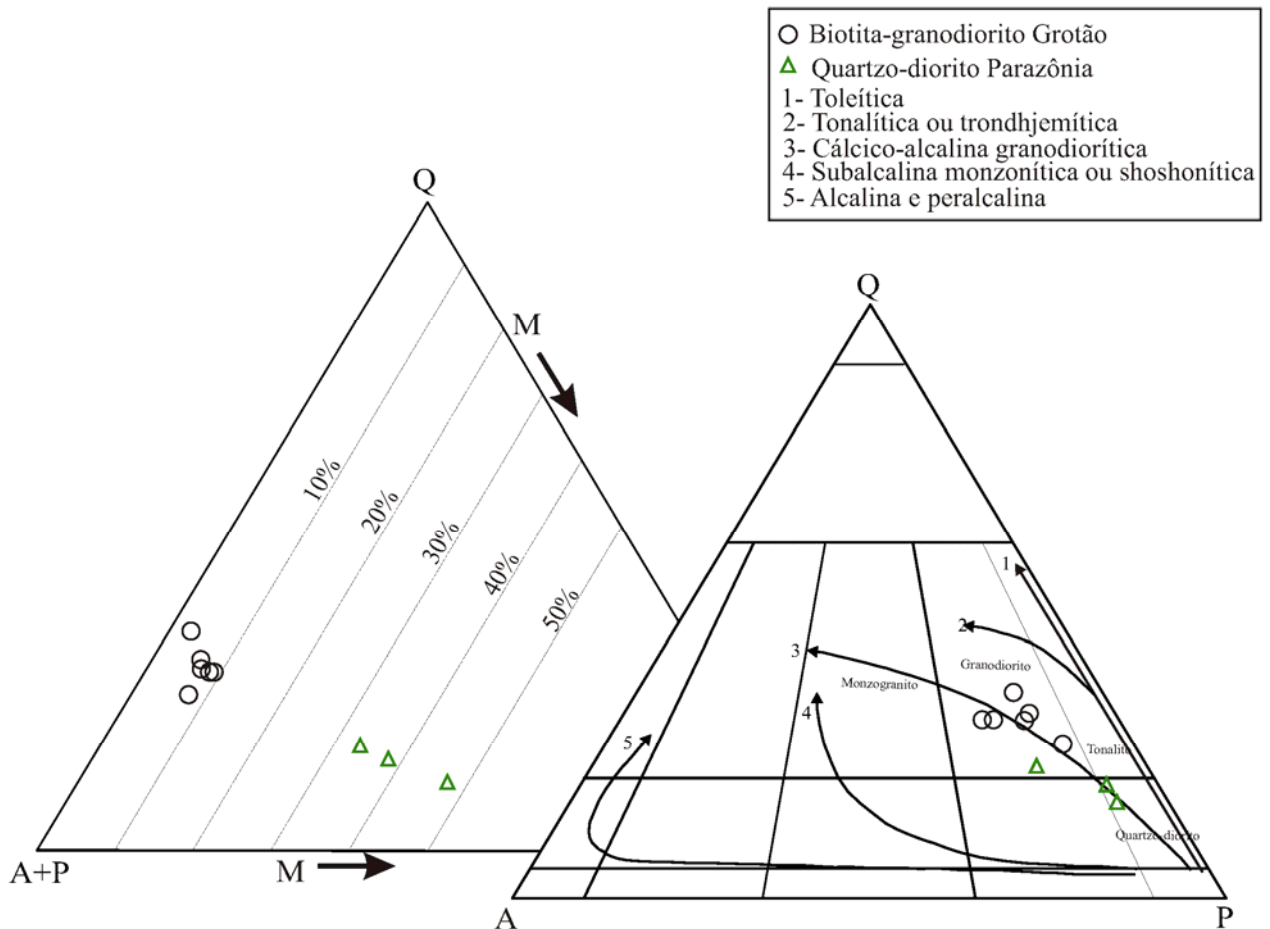


Figura 5- Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen 1976) para as rochas estudadas.

1 a 5 são trends evolutivos de séries granitóides (Lameyre & Bowden 1982, Bowden *et al.* 1984).

Quartzo-diorito Parazônia

COMPOSIÇÕES MODAIS E CLASSIFICAÇÃO

Foram realizadas três análises modais em amostras desta unidade que apresentaram composições que variam de quartzo-diorítica a granodiorítica (Figura 5; Tabela 2). Apesar de plotarem em campos distintos, essas rochas mostram grande afinidade mineralógica e se alinham segundo o trend das séries cálcico-alcálicas granodioríticas (Lameyre & Bowden 1982). Os conteúdos modais de minerais máficos nessas rochas são muito elevados com média de 40,4%. O diagrama Q-(A+P)-M (Figura 5) ressalta as elevadas proporções modais de minerais máficos nessa rocha. Apesar dos conteúdos relativamente baixos de feldspato potássico (Tabela 2), isto faz com que as amostras incidam na porção superior do campo dos quartzo-dioritos e adentrem naquele dos granodioritos. Outro aspecto importante é a presença de hornblenda como principal mineral ferromagnésiano, característica esta não observada nas associações TTG do TGRRM, porém típica das associações sanukitóides daquele terreno (Oliveira *et al.* 2006, 2009). Além do anfibólio, estas rochas contêm proporções expressivas de biotita e epidoto, interpretado como de origem magmático, o que reforça ainda mais a analogia destacada acima.

Tabela 2- Composições modais de amostras representativas do Quartzo-diorito Parazônia.

Quartzo-diorito Parazônia			
Amostra/Mineral	FMR-19A	FMR-64A	FMR-68
Plagioclásio	38,00	38,10	47,90
Quartzo	13,10	9,70	10,00
Feldspato Potássico	9,70	3,70	4,30
Anfibólio	24,10	33,10	26,20
Biotita	6,50	7,20	6,00
Epidoto (p)	6,50	5,00	2,60
Epidoto (s)	0,3	0,3	0,6
Alanita	Tr	Tr	0,1
Apatita	0,4	0,3	0,1
Opacos	0,2	0,5	0,4
Titanita	0,8	1,2	0,4
Clorita	Tr	0,5	0,9
Zircão	0,1	Tr	Tr
A+P	35,60	41,80	50,20
Máficos	37,90	47,00	36,20
Plagioclásio*	62,50	73,98	77,01
Quartzo*	21,55	18,83	16,08
Feldspato Potássico*	15,95	7,18	6,91

Abreviações: A – Feldspato-potássico; P – Plagioclásio;

*recalculados a 100%; p – primário; s – secundário.

ASPECTOS TEXTURAIS

O Quartzo-diorito Parazônia apresenta textura granular hipidiomórfica média a grossa, modificada em diferentes intensidades pela deformação que varia desde discreta, afetando apenas o quartzo, até intensa, gerando texturas miloníticas, com forte recristalização do quartzo e parcial dos feldspatos.

O plagioclásio forma cristais idiomórficos a hipidiomórficos, de granulação grossa a média (<7 mm), os quais apresentam contatos retilíneos com os cristais de anfibólio e ondulados com os de quartzo. Exibe intensa alteração para sericita e epidoto, mascarando suas feições originais. Aparentemente mostra zoneamento do tipo normal e engloba inclusões de anfibólio e apatita. A orientação deste mineral varia de acordo com a deformação da rocha, sendo mais acentuada nas rochas mais intensamente deformadas, nas quais assume forma ocelar e se orienta segundo a foliação milonítica.

O anfibólio apresenta cristais finos a médios (<3mm), idiomórficos a hipidiomórficos, com pleocroísmo acentuado de amarelo pálido a verde escuro, localmente maclados e zonados, e com moderada orientação. Está sempre associado com biotita, titanita e epidoto e, por vezes, mostra finas bordas mais pálidas, provavelmente de actinolita. Há cristais de anfibólio quase totalmente substituídos por biotita e englobando inclusões de apatita.

O quartzo apresenta cristais xenomórficos, finos, geralmente com extinção ondulante moderada a forte e sem direção preferencial bem definida. Alguns grãos estão bastante fraturados.

O feldspato potássico ocorre como cristais xenomórficos, tardios, tendendo a assumir disposição intersticial, com inclusões de anfibólio, plagioclásio e biotita.

A biotita apresenta-se como agregados de cristais finos a médios, hipidiomórficos, sempre associados com anfibólio, epidoto idiomórfico e titanita. Mostra moderada orientação preferencial e alteração local para clorita.

O epidoto ocorre em três principais variedades texturais:

Epidoto I - cristais idiomórficos, prismáticos curtos, às vezes zonados, que costumam se associar com biotita e anfibólio, que podem englobá-lo parcialmente e com os quais mostra contatos retilíneos, sugerindo equilíbrio entre essas fases;

Epidoto II - cristais hipidiomórficos associados com cristais de allanita, geralmente, bordejando-os ou englobando-os em seu núcleo;

Epidoto III - cristais muito finos, xenomórficos, produto de saussuritização do plagioclásio.

A titanita desenvolve cristais finos, hipidiomórficos, em agregados com os minerais máficos ou bordejando minerais opacos. O zircão se apresenta em cristais finos, hipidiomórficos, com hábito prismático e, por vezes, inclusos em plagioclásio. Os opacos formam cristais hipidiomórficos, de granulação fina, bordejados por titanita. A apatita ocorre em finos cristais idiomórficos e como inclusão na biotita.

GEOQUÍMICA

Foram realizadas análises químicas em cinco amostras do Granodiorito Grotão (Tabela 3) e em três do Quartzo-diorito Parazônia (Tabela 4). As análises químicas foram realizadas pela empresa ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTDA., sendo os elementos maiores e menores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) analisados por fluorescência de raios-X, ao passo que os elementos-traço (Rb, Sr, Ba, Ga, Y, Zr, Nb, Th, Ni, Ta), incluindo os elementos terras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu), foram analisados por ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry).

ELEMENTOS MAIORES E MENORES

O Granodiorito Grotão apresenta pequena variação nos conteúdos de sílica ($67,57\% < \text{SiO}_2 < 71,67\%$) e conteúdos médios de Al_2O_3 superiores a 15%. No Quartzo-diorito Parazônia os conteúdos de sílica variam entre 54,39 e 56,95% e revelam que, quimicamente, as rochas desta unidade são intermediárias. O conteúdo médio de óxidos ferromagnesianos nas rochas desta unidade é muito alto com valor médio de 13,99%, muito superior ao registrado no Granodiorito Grotão (3,14%), o que reflete a elevada proporção modal de minerais máficos no Quartzo-diorito e sua relativa escassez no Granodiorito Grotão. A alumina tem valor médio de 15,35% no Quartzo-diorito. Os valores médios da razão $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ são muito próximos nas duas unidades (0,59 e 0,53, para o Granodiorito Grotão e Quartzo-diorito Parazônia, respectivamente). O conteúdo médio de CaO é de 2,61% no Granodiorito Grotão, subindo no Quartzo-diorito Parazônia para 6,94%, o que é consistente com o elevado conteúdo modal de anfibólio observado nesta unidade (Tabela 2).

Tabela 3 - Composições químicas do Granodiorito Grotão e granitóides arqueanos do TGGRM.

Unidade	Granodiorito Grotão					Granodiorito ¹					Leucomonzogranitos do tipo 1 ²																
	FMR-49	FMR-59	FMR-69A	FMR-105	FMR-45	175	334	331	235	327	AL-134	AL-263	AL-15	AL-148	AL-42	AL-266	AL-218A	AL-152	AL-89	AL-138A	AL-159	AL-32B	AL-97	AL-107	AL-24	AL-56B	
SiO ₂	67,57	67,89	69,61	71,02	71,67	71,40	71,75	73,90	74,10	76,40	71,70	71,90	72,60	72,90	72,90	72,90	73,20	73,40	73,80	74,10	74,10	74,30	74,40	74,80	74,80	75,30	
TiO ₂	0,56	0,50	0,42	0,25	0,28	0,42	0,20	0,20	0,27	0,13	0,20	0,25	0,21	0,15	0,15	0,10	0,16	0,21	0,12	0,06	0,12	0,04	0,10	0,11	0,11	0,08	
Al ₂ O ₃	15,64	15,85	15,88	15,64	15,52	15,61	16,89	14,44	15,09	14,20	13,90	15,40	13,30	13,90	15,10	14,50	13,90	13,90	14,00	13,90	13,30	13,90	14,20	12,70	12,70	12,80	
Fe ₂ O ₃ (total)	3,20	2,82	2,06	1,88	1,66	2,47	1,41	1,40	1,86	1,18	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	
MnO	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,02	<0,01	0,03	0,04	<0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	
MgO	1,15	1,06	0,71	0,59	0,47	0,83	0,64	0,59	0,74	0,55	0,45	0,74	0,42	0,39	0,71	0,23	0,36	0,60	0,39	0,05	0,24	0,05	0,17	0,12	0,12	0,10	
CaO	3,27	3,04	2,54	2,57	1,65	1,62	1,65	1,34	1,66	1,19	1,44	1,80	1,30	1,50	1,30	1,96	2,23	1,30	0,86	1,33	1,29	0,93	0,93	0,93	0,93	0,99	
Na ₂ O	4,72	4,43	4,91	4,82	5,05	4,32	4,65	4,31	4,12	4,00	3,72	4,20	3,38	3,70	3,70	3,96	4,20	4,10	3,99	3,66	3,83	3,60	3,60	3,60	3,60	3,56	
K ₂ O	2,54	3,18	2,75	2,54	3,09	3,95	3,07	3,76	3,85	3,61	5,22	3,90	5,54	4,80	4,60	4,60	4,29	3,00	4,50	5,03	4,91	5,06	5,10	5,24	5,24	5,01	
P ₂ O ₅	0,18	0,15	0,14	0,09	0,10	0,15	0,06	0,06	0,09	0,04	0,18	0,08	0,20	0,17	0,06	0,05	0,16	0,17	0,05	0,14	0,15	0,15	0,03	0,14	0,14	0,14	
PF	0,90	0,80	0,70	0,40	0,30	0,86	0,48	0,56	0,58	0,68	0,61	0,48	0,61	0,69	0,23	0,46	0,45	0,40	0,39	0,78	0,92	0,34	0,22	0,40	0,40	0,32	
Total	99,76	99,75	99,73	99,82	99,81	101,65	100,82	100,58	102,39	102,02	98,90	100,21	99,05	99,70	100,41	99,33	99,92	99,59	100,13	100,38	100,20	100,43	100,21	99,51	99,51	99,77	
Ba	1088	1020	1324	851	1103	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1047	1216	1514	1170	1194	1024	1125	589	851	755	916	981	434	920	920	484	
Sr	598,5	416,5	622,9	538,9	670,0	478	449	327	452	293	206	385	290	319	323	363	314	326	243	250	217	265	184	289	289	174	
Rb	78,30	116,70	75,50	57,40	109,80	167	140	145	122	139	153	141	180	193	190	126	109	181	188	177	139	185	152	152	181		
Zr	145,70	139,10	140,80	118,30	156,60	205	118	101	145	64	192	191	330	186	150	363	100	140	206	110	152	86	153	184	184	106	
Y	4,10	7,50	13,40	5,70	3,90	15	15	2	6	17	8	9	34	4	9	16	4	3	21	5	1	13	6	6	7		
Nb	5,30	8,30	4,00	3,20	2,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<4	<5	12	8	<5	<5	8	8	8	<4	<4	<4	<5	8	8	<4	
Ga	19,60	20,50	21,10	19,30	21,40	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	13	30	13	13	24	22	14	13	13	11	<10	25	<10	<10	<10	12	
Th	7,20	12,10	11,40	4,20	7,10	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	38	<5	105	59	<5	<10	<5	78	78	61	51	<5	<5	78	78	43	
Ni	7,00	8,60	4,30	3,60	4,70	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
La	27,40	31,90	62,70	16,50	28,20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10,07	n.d.	36,99	47,47	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	51,36	36,16
Ce	58,70	62,80	109,40	26,30	58,50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18,66	n.d.	89,23	97,23	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	110,40	59,12
Pr	6,70	6,97	13,63	3,58	5,64	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Nd	24,70	27,00	55,50	14,90	20,90	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5,51	n.d.	30,07	43,20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	45,75	25,00
Sm	3,83	3,74	8,20	2,32	2,31	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,02	n.d.	6,32	5,80	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6,81	4,83
Eu	0,96	0,83	2,09	0,63	0,63	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,22	n.d.	0,60	0,44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,49	0,45
Gd	2,70	2,91	6,60	1,86	1,53	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,69	n.d.	2,47	1,77	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,22	1,99
Tb	0,29	0,37	0,66	0,22	0,12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dy	1,32	1,83	2,81	1,18	0,50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,30	n.d.	1,29	0,76	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,25	1,65
Ho	0,16	0,30	0,37	0,18	0,08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	0,25	0,15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,19	0,34
Er	0,37	0,72	0,79	0,50	0,19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,11	n.d.	0,64	0,45	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,38	1,02
Tm	0,05	0,10	0,10	0,07	0,02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Yb	0,32	0,60	0,50	0,38	0,18	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,11	n.d.	0,55	0,43	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,24	1,09
Lu	0,03	0,08	0,06	0,07	0,02	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,04	n.d.	0,11	0,08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,04	0,14
ΣETRL	121,33	132,41	249,43	63,60	115,55	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
(La/Yb) _n	57,08	35,44	83,60	28,95	104,44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	64,73	n.d.	45,06	74,53	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	144,41	16,14
(La/Sm) _n	4,40	5,25	4,70	4,38	7,51	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	6,25	n.d.	3,68	5,15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4,74	3,41
(Dy/Yb) _n	2,66	1,96	3,61	1,99	1,78	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Eu/Eu*	0,92	0,77	0,87	0,93	1,03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,76	n.d.	0,39	0,33	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,28	0,38
Rb/Sr	0,13	0,28	0,12	0,11	0,16	0,35	0,31	0,44	0,33	0,42	0,67	0,40	0,49	0,56	0,60	0,52	0,40	0,33	0,74	0,75	0,82	0,52	1,01	0,53	0,53	1,04	
Sr/Ba	0,55	0,41	0,47	0,63	0,61	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,20	0,32	0,19	0,27	0,27	0,35	0,28	0,55	0,29	0,33	0,24	0,27	0,42	0,31	0,31	0,36	
K/Na	0,35	0,37	0,47	0,35	0,40	0,60	0,44	0,58	0,62	0,60	0,93	0,61	1,08	0,82	0,82	0,86	0,71	0,47	0,72	0,83	0,88	0,87	0,93	0,96	0,96	0,93	
#Mg	0,41	0,42	0,40	0,38	0,36	39,46	46,75	44,93	43,52	47,41	37,43	58,47	90,11	52,48	35,55	34,17	38,63	46,98	45,07	7,30	25,72	9,15	24,33	16,44	16,44	14,40	

#Mg= % MgO mol/(% MgO mol + % FeOmol); K/Na - razão molecular; n.d.- Não determinado; ¹ Medeiros (1987); ² Leite et al. (1999).

Tabela 4 – Composições químicas do Quartzo-diorito Parazônia e granitóides arqueanos do TGGRM.

Unidade	Quartzo-diorito Parazônia			Rochas Sanukitóides Intermediárias ¹						Quartzo-diorito ²	
	Amostras	FMR-68	FMR-64A	FMR-19A	ADR-4A	ADR-4B	ADR-5	MFR-102	MFR-100D	ADR-7	Z-509B
Elementos											
SiO ₂	54,39	54,55	56,95	58,47	60,51	61,75	62,15	63,29	63,61	63,61	55,17
TiO ₂	0,77	0,85	0,67	0,47	0,44	0,43	0,39	0,38	0,37	0,37	0,78
Al ₂ O ₃	15,87	15,03	15,14	14,02	14,03	13,96	14,50	14,97	14,94	14,94	14,13
Fe ₂ O ₃ (total)	8,80	9,28	7,89	6,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,05
MnO	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,12
MgO	5,29	5,41	4,99	5,81	5,37	4,62	4,11	2,89	2,86	2,86	5,77
CaO	7,01	7,32	6,49	5,88	4,73	4,84	4,65	4,18	4,03	4,03	7,66
Na ₂ O	3,81	3,55	3,73	3,77	4,04	3,98	4,21	4,36	4,40	4,40	3,42
K ₂ O	1,93	1,83	2,07	2,21	2,16	2,31	2,24	2,57	2,66	2,66	1,79
P ₂ O ₅	0,31	0,36	0,24	0,17	0,18	0,16	0,14	0,15	0,13	0,13	0,38
PF	1,40	1,40	1,40	1,90	1,90	1,90	2,00	2,00	1,80	1,80	1,16
Total	99,69	99,69	99,67	99,19	99,25	99,35	99,36	99,32	99,32	99,39	99,43
Ba	863	685	837	812	701	847	830	1008	1090	1090	739
Sr	663,90	662,10	666,10	745	618	724	828	872	905	905	477
Rb	68,1	52,7	69,1	73	72	72	74	87	82	82	67
Zr	136,20	87,70	114,50	94	94	101	94	95	103	103	79
Y	19,70	17,70	13,60	11	10	11	10	10	12	12	17
Nb	6,60	6,50	5,30	6	5	6	5	6	7	7	6
Ga	19,60	18,70	20,30	18	18	19	20	20	20	20	24
Th	4,50	4,10	3,10	3	2	5	5	6	5	5	5
Ni	46,00	39,70	40,90	79	89	81	72	43	57	57	119
La	32,60	26,60	23,80	23,70	23,30	25,10	25,20	42,20	33,80	33,80	24,30
Ce	64,00	57,10	52,70	51,10	50,30	51,40	47,60	68,30	58,60	58,60	54,50
Pr	9,03	8,24	6,92	5,35	5,35	5,30	5,35	7,37	7,35	7,35	n.d.
Nd	38,90	33,50	28,10	21,40	21,40	19,30	20,80	26,10	29,20	29,20	26,60
Sm	5,85	6,15	4,71	3,60	3,40	3,30	3,60	4,10	4,30	4,30	5,90
Eu	1,70	1,64	1,28	1,02	0,95	0,98	0,99	1,05	1,23	1,23	1,60
Gd	5,39	5,43	4,12	2,78	2,49	2,58	2,42	2,82	3,19	3,19	5,00
Tb	0,72	0,71	0,57	0,45	0,37	0,37	0,40	0,35	0,48	0,48	n.d.
Dy	3,72	3,63	2,90	2,25	1,84	1,98	1,75	1,67	2,20	2,20	3,30
Ho	0,71	0,67	0,54	0,38	0,34	0,33	0,34	0,31	0,42	0,42	n.d.
Er	2,04	1,63	1,41	1,03	0,97	0,88	0,95	0,78	1,13	1,13	1,80
Tm	0,27	0,24	0,22	0,13	0,10	0,10	0,10	0,11	0,13	0,13	n.d.
Yb	1,73	1,58	1,40	0,93	0,83	0,81	0,90	0,69	1,00	1,00	1,40
Lu	0,24	0,23	0,20	0,15	0,14	0,12	0,13	0,12	0,15	0,15	0,30
ΣETRL	150,38	131,59	116,23	114,27	111,78	112,55	110,53	155,97	143,18	143,18	124,70
(La/Yb) _n	12,56	11,22	11,33	17,20	18,95	20,92	18,90	41,28	22,81	22,81	11,72
(La/Sm) _n	3,43	2,66	3,11	4,14	4,31	4,79	4,41	6,48	4,95	4,95	2,59
(Dy/Yb) _n	1,38	1,47	1,33	1,57	1,44	1,59	1,26	1,57	1,43	1,43	1,53
Eu/Eu*	0,93	0,87	0,89	0,99	1,00	1,03	1,03	0,94	1,02	1,02	0,90
Rb/Sr	0,10	0,08	0,10	0,10	0,12	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,14
Sr/Ba	0,77	0,97	0,80	0,92	0,88	0,85	1,00	0,86	0,83	0,83	0,65
K/Na	0,33	0,34	0,37	0,39	0,35	0,38	0,35	0,39	0,40	0,40	0,35
#Mg	0,54	0,53	0,55	0,62	0,63	0,62	0,61	0,55	0,54	0,54	0,55

#Mg= % MgO mol/(% MgO mol + % FeO_{tot}mol); K/Na - razão molecular; n.d.- Não determinado; ¹ Oliveira et al. (2009); ² Dall'Agnol et al. (1999).

Em diagramas de Harker (Figura 6), o conjunto de amostras de cada um dos granitóides se agrupa e tende sempre a se alinhar, observando-se igualmente um amplo intervalo entre ambos, em função do acentuado contraste em seus conteúdos de sílica.

No Granodiorito Grotão, observa-se decréscimo dos conteúdos de CaO, MgO, Fe₂O₃, TiO₂ e P₂O₅ paralelamente ao aumento de SiO₂ (Figura 6b, c, d, e, f). Já Al₂O₃ e K₂O mostram valores praticamente constantes, independentemente do conteúdo de sílica (Figura 6h), enquanto que o Na₂O apresenta correlação positiva em relação à sílica (Figura 6g).

No Quartzo-diorito Parazônia, embora o número limitado de amostras limite qualquer conclusão, é perceptível uma correlação negativa entre CaO, MgO, Fe₂O₃, TiO₂ e P₂O₅ com a sílica (Figuras 6b, c, d, e, f), enquanto que Al₂O₃, Na₂O e K₂O não definem trends claros em relação à sílica (Figuras 6a, g, h). Merecem destaque os altos valores de MgO nas rochas dessa unidade, que resultam em valores de #Mg elevados ($0,53 < \#Mg < 0,55$; Tabela 3). Entretanto, se forem considerados os teores de sílica, as amostras do Granodiorito Grotão também apresentam valores de Mg# muito altos (0,42 a 0,36; Tabela 3).

As rochas analisadas do Granodiorito Grotão plotam nos campos dos trondhjemitos e granodioritos no diagrama normativo Ab-An-Or (Figura 7a). Seguem o trend de séries cálcico-alcalinas em diagramas AFM (Figura 7b), situam-se na porção superior do campo dos trondhjemitos arqueanos no diagrama K-Na-Ca (Figura 7c) e possuem caráter metaluminoso a peraluminoso (Figura 7d).

Já as amostras do Quartzo-diorito Parazônia plotam no campo dos tonalitos no diagrama normativo Ab-An-Or (Figura 7a), em função do seu elevado conteúdo de anortita normativa. Nos diagramas AFM e K-Na-Ca (Figuras 7b, c), tendem a se dispor ou a se alinhar conforme as séries cálcico-alcalinas. No diagrama Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) vs. Al₂O₃/(Na₂O + K₂O), baseado no índice de Shand, onde os óxidos são expressos em proporção moleculares, observa-se que as três amostras posicionam-se francamente no campo metaluminoso, separando-se nitidamente daquelas do Granodiorito Grotão (Figura 7d).

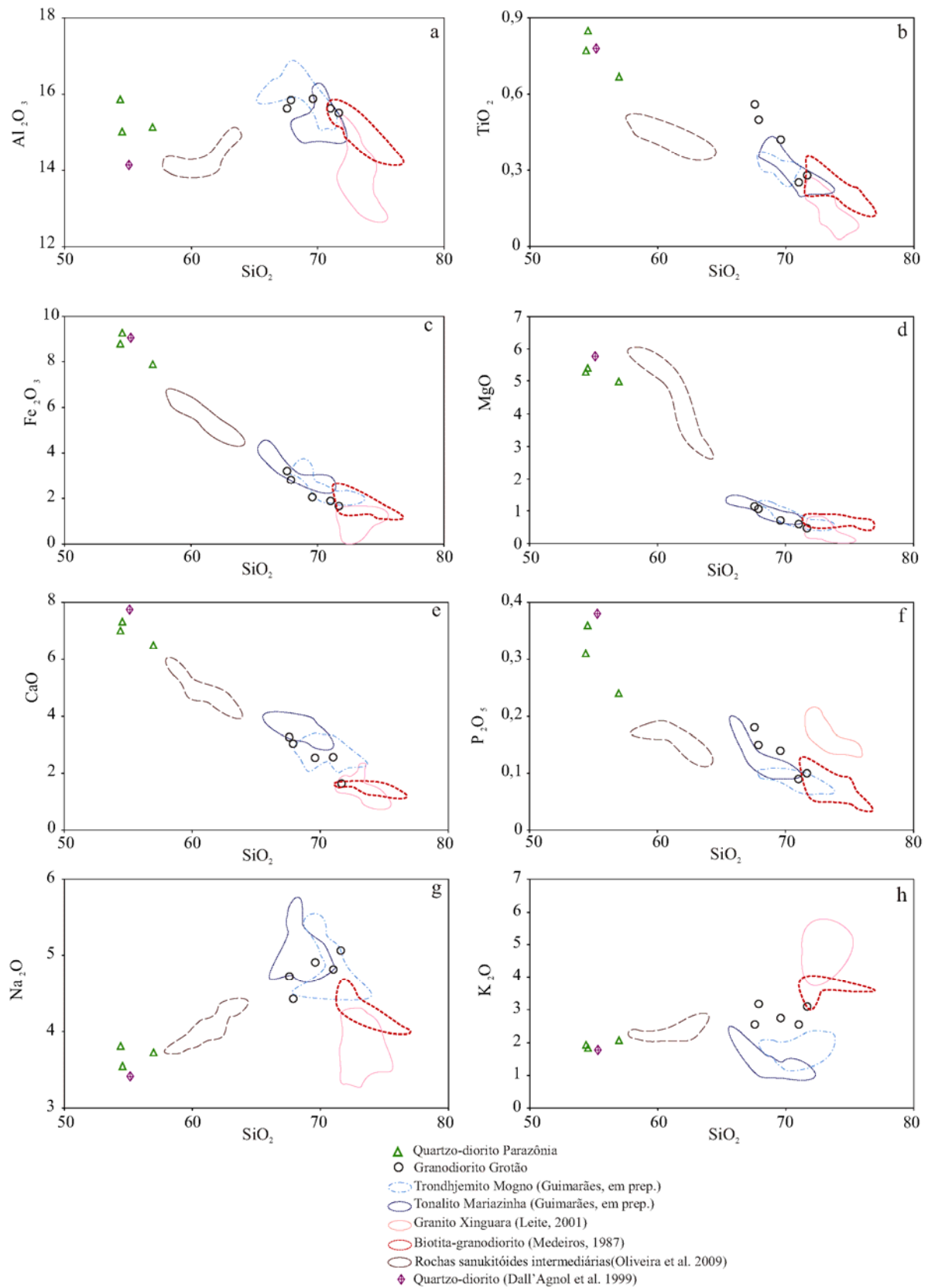


Figura 6- Diagramas de Harker para os óxidos de elementos maiores e menores das amostras dos granitóides estudados. Óxidos em % em peso. Os campos apresentados são de granitóides arqueanos do TGGRM selecionados para comparação.

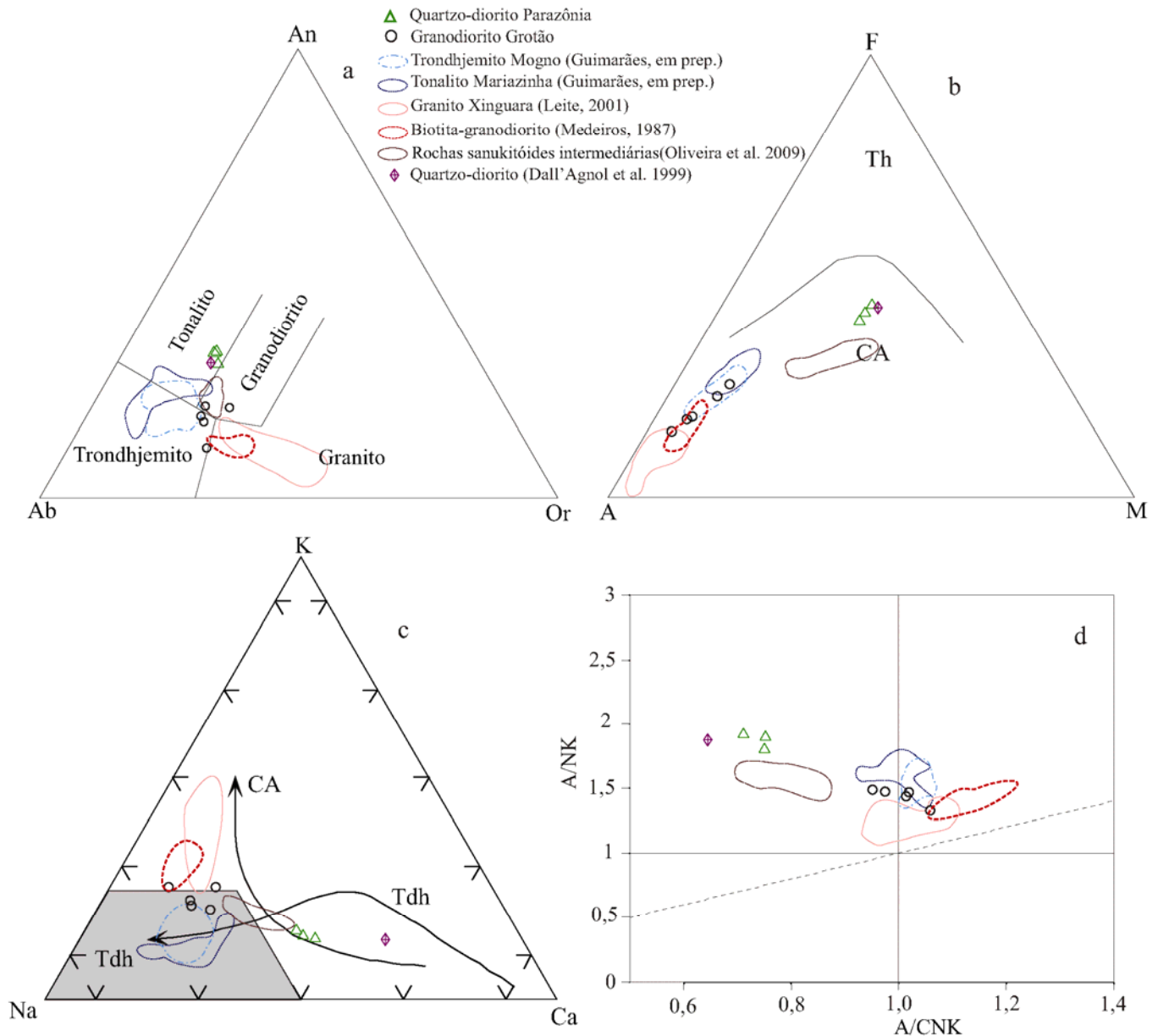


Figura 7- Caracterização geoquímica das rochas estudadas: a) Diagrama Ab-An-Or normativo (O'Connor 1965, com campos de Barker 1979); b) Diagrama AFM (A= $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$; F= $\text{FeO}+0,9*\text{Fe}_2\text{O}_3$; M= MgO). Os campos são de Irvine & Baragar (1971). Th= Toleitos, CA= cálcio-alcalino; c) Diagrama K-Na-Ca, Tdh = trend trondhjemítico de Barker & Arth (1976) e CA= trend cálcio-alcalino; Tdh = campo dos TTGs arqueanos (Martin 1994); d) Diagrama $[\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})]\text{mol}$ vs. $[\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})]\text{mol}$.

ELEMENTOS TRAÇOS

O comportamento dos elementos-traço varia conforme os processos envolvidos na formação dos magmas e na sua diferenciação, sendo, portanto, importante para as interpretações dos processos de origem dos magmas e sua evolução (Wedepohl 1970, Hanson 1978). A distribuição destes elementos é controlada fundamentalmente pelas fases minerais fracionadas durante a gênese e cristalização do magma. Como o número de amostras analisados das duas unidades é pequeno e elas não mostram grande variação de sílica, em muitos casos os elementos traços revelam pouca variação com o incremento de sílica, não sendo possível definir seu comportamento compatível ou incompatível.

No Granodiorito Grotão, o Sr apresenta comportamento incompatível com seus valores aumentando paralelamente a sílica (Figura 8b), ao passo que com Rb e Yb ocorre o inverso (Figura 8a, e). Quanto ao Quartzo-diorito Parazônia, Yb e Y (Figura 8e, f) apresentam correlação negativa com a sílica, enquanto que Rb e Ba sugerem uma provável correlação positiva (Figura 8a, c).

COMPORTAMENTO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS

Os conteúdos de elementos terras raras das amostras das duas unidades constam da Tabela 3 e foram normalizados em relação ao condrito (Nakamura 1974) para definir os respectivos padrões de ETR (Figura 9). O Granodiorito Grotão revela padrões bastante similares em todas as amostras estudadas (Figura 8a), caracterizados pelo enriquecimento acentuado em elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos elementos terras raras pesados (ETRP), com forte a moderado fracionamento dos elementos terras raras pesados ($29 < [La/Yb]_N < 104$), e anomalias de Eu ausentes ou discretas ($0,77 < Eu/Eu^* < 1,03$; Tabela 3). O fracionamento de minerais tais como anfibólio, piroxênio e, talvez, granada, poderia explicar o empobrecimento em elementos terras raras pesados.

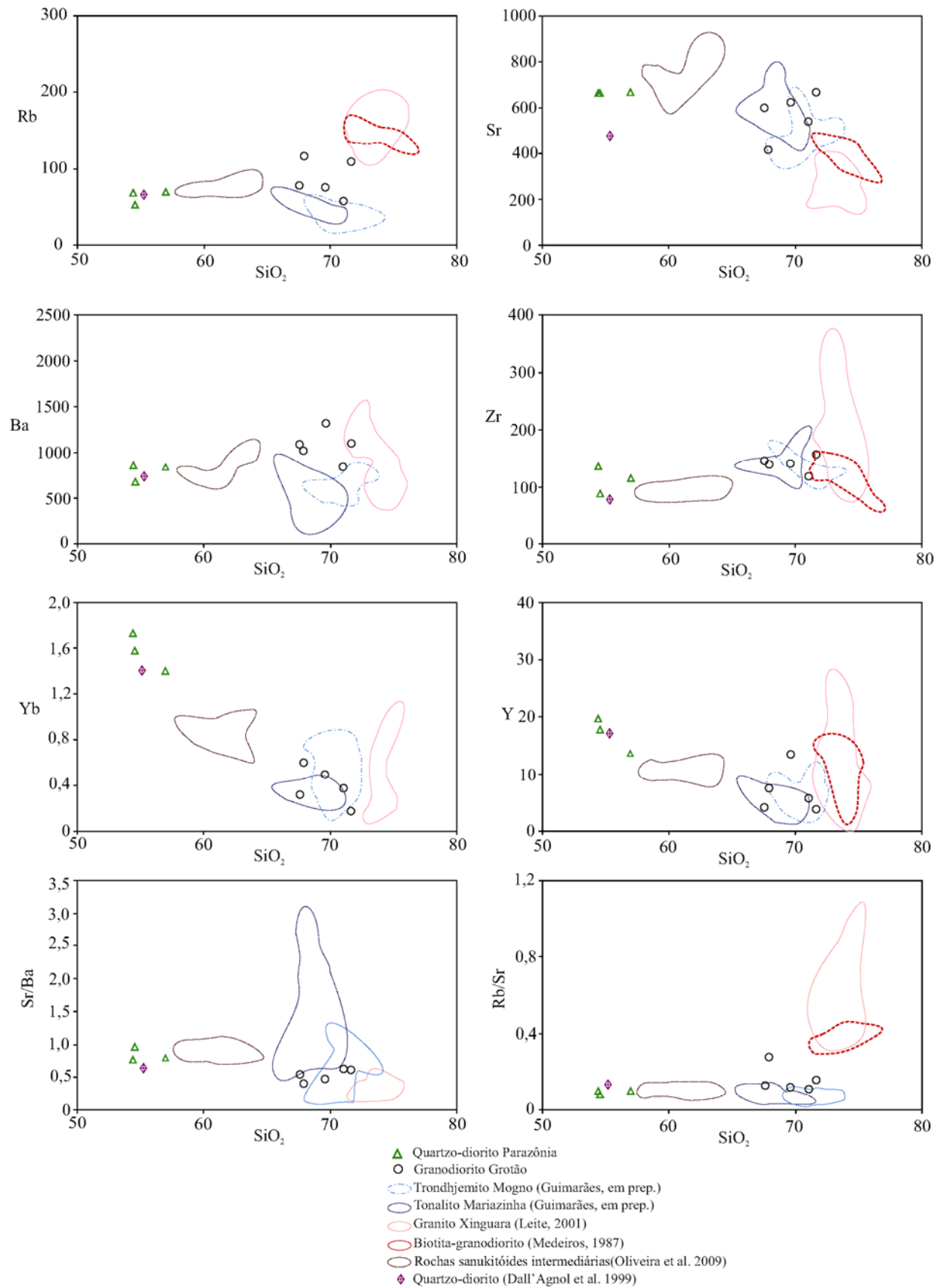


Figura 8- Diagramas de Harker para os elementos traço das amostras rochas estudados. SiO₂ em % em peso e elementos traço em ppm.

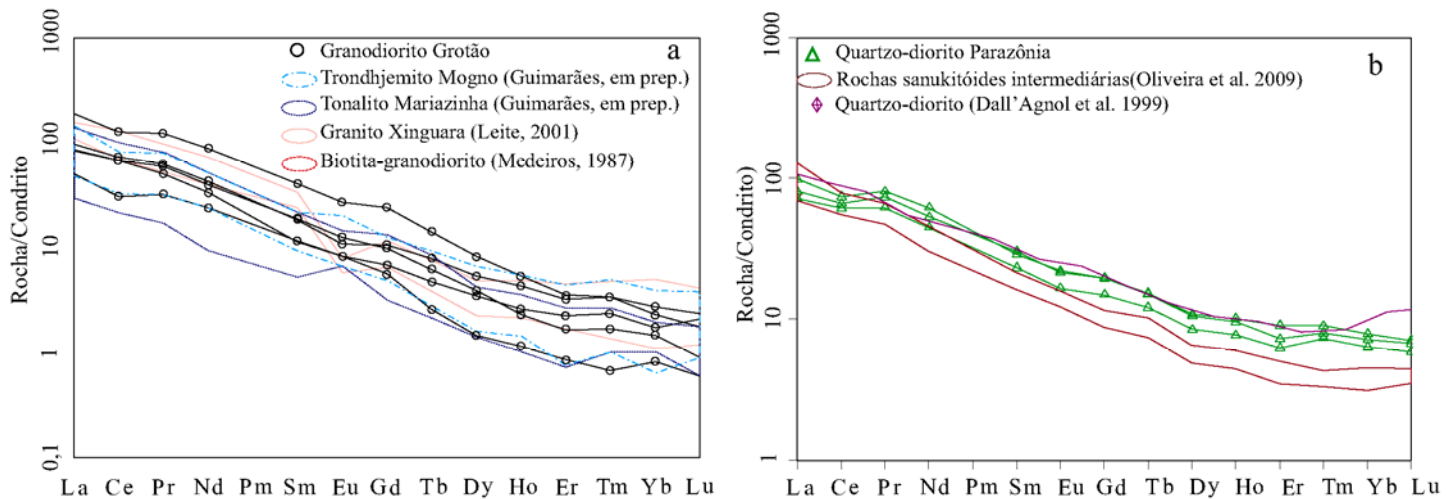


Figura 9- a) Padrões de elementos terras raras para as amostras do Granodiorito Grotão; b) Padrões de elementos terras raras para as amostras do Quartzo-diorito Parazônia. São apresentados nas figuras padrões de elementos terras raras de granitóides arqueanos do TGGRM semelhantes aos estudados para comparação. Dados normalizados em relação ao condrito de Nakamura (1974).

No Quartzo-diorito Parazônia os padrões de elementos terras raras também apresentam enriquecimento dos elementos terras raras leves em relação aos pesados (Figura 9b), porém as baixas razões $(La/Yb)_N$, variando de 11,2 a 12,6 (Tabela 3), demonstram que o fracionamento de ETRP foi bem menos acentuado que no caso do Granodiorito Grotão. Tal como no caso deste último, as anomalias negativas de Eu são muito discretas ($0,87 < Eu/Eu^* < 0,93$). As razões $(La/Yb)_N$ e a ausência de concavidades nos padrões das amostras indicam que o anfíbólio não foi fracionado intensamente durante a formação do magma ou sua diferenciação. Isto permitiu a retenção na rocha de uma maior proporção de ETRP.

COMPARAÇÕES COM OUTROS GRANITÓIDES ARQUEANOS DO TERRENO GRANITO-GREENSTONE DE RIO MARIA

Granodiorito Grotão

Rochas similares ao Granodiorito Grotão foram descritas a sul da cidade de Rio Maria, nas proximidades da área-tipo do Granodiorito Rio Maria (Medeiros 1987). São rochas constituídas principalmente por plagioclásio, quartzo, feldspato potássico e biotita, esta em grande

parte substituída por clorita. As principais características distintivas desta rocha em relação ao granodiorito típico da associação Sanukitóide Rio Maria, com o qual se encontram associadas, são a textura granular fina a média, ausência de anfibólio, presença de muscovita e baixos teores de máficos (Medeiros & Dall'Agnol 1988, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001, Oliveira *et al.* 2006, Oliveira *et al.* 2009). Essas características petrográficas, que separam o biotita-granodiorito (Medeiros 1987) do Granodiorito Rio Maria, são pertinentes também para o Granodiorito Grotão e sugerem analogias entre os dois biotita-granodioritos mencionados.

A comparação geoquímica entre estes dois biotita-granodioritos mostra que os estudados neste trabalho apresentam menor conteúdo de sílica. Além disso, nos diagramas binários de Harker (Figura 6), as amostras do Granodiorito Grotão tendem a apresentar valores ligeiramente superiores de Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO e P_2O_5 . No entanto, se alinham razoavelmente segundo o trend definido pelas amostras do biotita-granodiorito estudado por Medeiros (1987). No caso de CaO , Na_2O e K_2O (Figuras 6e, g, h) os dois conjuntos de amostras revelam trends distintos, sendo que as amostras do Granodiorito Grotão apresentam maiores proporções de Na_2O e são mais pobres em K_2O . Comparado com os Trondhjemitos Mogno e Tonalito Mariazinha (Guimarães *et al.* submetido), constata-se que o Granodiorito Grotão apresenta conteúdos similares de sílica, havendo superposição parcial nos diagramas de Harker (Figura 6). Entretanto, distingue-se dos granitóides TTG mencionados por ser mais rico em TiO_2 , P_2O_5 e K_2O e mais pobre em CaO .

No diagrama ternário Ab-An-Or (Figura 7a), as amostras do Granodiorito Grotão plotam nos campos dos trondhjemitos e granodioritos, enquanto que as amostras de Medeiros (1987) incidem totalmente na área destinada aos granitos, mostrando seu maior conteúdo de Or normativo. De modo análogo, o Granodiorito Grotão é enriquecido no componente Or em relação ao Trondhjemitos Mogno e ao Tonalito Mariazinha, não se superpondo aos campos destes TTG naquele diagrama. No diagrama AFM, todos os granitóides mencionados seguem o trend cálcico-alcalino (Figura 7b), enquanto que no diagrama K-Na-Ca, o biotita-granodiorito de Medeiros (1987) se separa francamente do Granodiorito Grotão por ser mais enriquecido em K. Esta separação também se verifica no diagrama ACNK vs. ANK (Figura 7d), onde o Granodiorito Grotão se situa na transição entre os campos metaluminoso e peraluminoso, de modo análogo ao observado nos TTGs, enquanto que o biotita-granodiorito (Medeiros 1987) exibe caráter fortemente peraluminoso. Isto fica evidente igualmente no diagrama A/CNK vs. K/Na (Figura

10a), onde o contraste nas razões K/Na separa claramente o Granodiorito Grotão dos demais granitóides. Já o diagrama #Mg vs. K/Na (Figura 10b) mostra que o Granodiorito Grotão possui número de magnésio mais baixo do que o biotita-granodiorito.

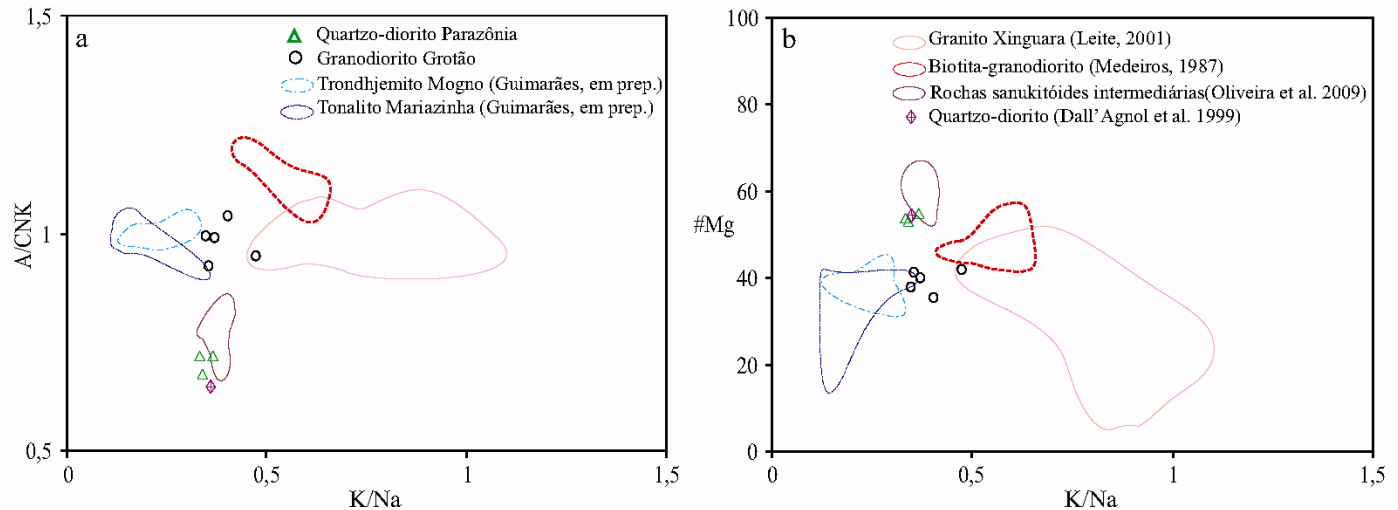


Figura 10- Comparação geoquímica entre os granitóides estudados e outros granitóides arqueanos do TGGRM: a) Diagrama A/CNK vs. K/Na; b) Diagrama #Mg vs. K/Na. A/CNK, K/Na, #Mg razões moleculares.

Em relação aos elementos traços, o biotita-granodiorito Grotão, quando comparado com o estudado por Medeiros (1987), mostra comportamento muito distinto em termos de Rb e Sr (Figura 7a, b), o que se reflete também na razão Rb/Sr (Figura h). Quando comparado com associações TTG (Guimarães *et al.* Submetido), o Granodiorito Grotão revela enriquecimento relativo em Rb e Ba, e razões Sr/Ba mais baixas e Rb/Sr mais elevadas (Figura 7a, c, g, h), enquanto que os teores de Sr, Zr, Yb e Y são muito similares (Figura 7b, d, e, f).

As feições geoquímicas apresentadas são dificilmente conciliáveis com a hipótese que o Granodiorito Grotão tenha se formado a partir dos TTGs mencionados ou de outros similares por diferenciação magmática. Considera-se, portanto, altamente improvável a hipótese de que o Granodiorito Grotão seja a fração granodiorítica mais evoluída de associações TTG. Ele não mostra tampouco afinidade com as rochas da associação sanukitóide, não podendo derivar do Granodiorito Rio Maria ou rochas afins por cristalização fracionada. Restaria a hipótese de o Granodiorito Grotão ser cogenético ao biotita-granodiorito descrito por Medeiros (1987). Entretanto, apesar de existirem algumas semelhanças entre estas rochas, o seu comportamento geoquímico revela igualmente diferenças importantes que não eliminam sua derivação a partir de

líquidos magmáticos afins, mas não permitem pensar numa origem a partir de um mesmo magma.

Quartzo-Diorito Parazônia

O Quarto-diorito Parazônia será comparado com as amostras de rochas intermediárias, que fazem parte da associação Sanukitóide de Rio Maria. Rochas intermediárias monzodioríticas a quartzo-dioríticas ocorrem associadas ao Granodiorito Rio Maria próximo à cidade de Bannach (Oliveira *et al.* 2006, 2009) e também a sul de Xinguara (Souza 1994, Dall’Agnol *et al.* 1999). Em termos de classificação modal, o Quartzo-diorito Parazônia varia de quartzo-diorito a granodiorito, mas a distribuição das amostras analisadas no diagrama QAP (Figura 5) é coincidente com a das rochas sanukitóides intermediárias de outras áreas (Oliveira *et al.* 2009).

Em termos geoquímicos, o Quartzo-diorito Parazônia é mais pobre em sílica que as rochas intermediárias de Bannach (Oliveira *et al.* 2009), mas apresenta conteúdo similar ao observado no quartzo-diorito aflorante a sul de Xinguara (Dall’Agnol *et al.* 1999). Em alguns diagramas de Harker (Figuras 6c, e, f, g, h; 8a, b, c, g, h), os dois conjuntos de rochas tendem a seguir um mesmo trend, porém em outros (Figuras 6a, b, d; 8d, f) há contrastes composicionais expressivos entre eles.

No diagrama ternário Ab-An-Or (Figura 7a), as rochas estudadas por Oliveira *et al.* (2009) plotam predominantemente no campo dos granodioritos, enquanto que o Quartzo-diorito Parazônia plota no campo dos tonalitos, devido ao seu elevado conteúdo de anortita normativa, reflexo das altas proporções modais de hornblenda e epidoto nesta rocha. Nos diagramas AFM (Figura 7b) e K-Na-Ca (Figura 7c), essas rochas se comportam de modo análogo, sendo ambas afins da série calcico-alcálica. No diagrama ACNK vs ANK (figura 7d), é notável o caráter fortemente metaluminoso das rochas da associação sanukitóide. As razões K/Na também são similares nas diversas rochas intermediárias (Figura 10 a, b), porém as de Bannach apresentam um número de magnésio (Mg#), mais elevado que o Quartzo-diorito Parazônia.

Os padrões de elementos terras raras são bastante semelhantes nestas associações (Figura 9), apresentando um enriquecimento relativo em elementos terras raras leves e moderado fracionamento nos elementos terras raras pesados (ETRP). O Quartzo-diorito Parazônia apresenta um menor fracionamento de ETRP e não exibe a concavidade indicadora de fracionamento de

anfíbólio, sugerindo menor influência do fracionamento deste mineral durante sua evolução (Figura 9b).

Conclui-se que o Quartzo-diorito Parazônia possui grande afinidade geoquímica com as associações sanukitóides do TGGRM, porém, tal como demonstrado por Oliveira *et al.* (2006, 2009) em relação ao Granodiorito Rio Maria, difere das demais rochas intermediárias desta associação em determinados aspectos. Isto sugere que tais rochas foram geradas por processos semelhantes e a partir de fontes análogas, mas diferem no detalhe de uma região para outra do TGGRM.

REAVALIAÇÃO DO TONALITO PARAZÔNIA

Segundo Vasques *et al.* (2008), o Tonalito Parazônia faria parte de um segundo evento de acreção crustal no TGGRM, marcado por magmatismo de afinidade trondhjemítica, entre 2,87–2,86 Ga (Tonalito Parazônia, trondhjemitos Mogno e Água Fria). Entretanto, Guimarães *et al.* (submetido) demonstraram que o Trondhjemito Mogno e o Tonalito Mariazinha, encaixantes do Quartzo-diorito Parazônia (figura 2), são mais antigos e não pertencem à segunda geração de TTG do TGGRM. Por outro lado, Almeida (em preparação) obteve para o Quartzo-diorito Parazônia uma idade de 2876 ± 2 Ma (Pb-Pb em zircão), bastante próxima daquela anteriormente fornecida pelo método U-Pb em titanita (2858 Ma; Pimentel & Machado 1994). Portanto, os dados geocronológicos demonstram que o Quartzo-diorito Parazônia não é contemporâneo das associações TTG presentes em sua área de ocorrência.

Os estudos de campo evidenciaram, por sua vez, que a área de ocorrência das rochas denominadas de Tonalito Parazônia (Huhn *et al.* 1988, Santos & Pena Filho 2000) é na realidade bem mais restrita. Finalmente, dados petrográficos e geoquímicos apresentados no presente trabalho revelam que o mesmo possui composição modal quartzo-diorítica e é uma rocha intermediária, muito rica em máficos, entre os quais predominam hornblenda, biotita e epidoto, a qual possui afinidade geoquímica com as associações sanukitóides do TGGRM e não com TTGs. Portanto, está se propondo no presente trabalho, uma redefinição do Tonalito Parazônia, que passa a se denominar Quartzo-diorito Parazônia e é vinculado às associações sanukitóides do TGGRM.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como base os dados de campo, petrográficos, geoquímicos e geocronológicos apresentados e discutidos neste trabalho, chegou-se às seguintes conclusões:

(1) Na área mapeada foi possível a individualização de uma nova unidade, denominada de Granodiorito Grotão, e foi proposta a redefinição do Tonalito Parazônia que passa a ser denominado de Quartzo-diorito Parazônia. Estes dois granitóides não apresentam nenhuma ligação genética entre si, nem tampouco com o Trondhjemito Mogno e o Tonalito Mariazinha, granitóides TTG arqueanos nela presentes;

(2) O Granodiorito Grotão é um leucogranodiorito constituído principalmente por plagioclásio, quartzo e feldspato potássico, tendo a biotita e epidoto como principais minerais ferromagnesianos. Apresenta caráter metaluminoso a peraluminoso e mostra comportamento geoquímico distinto dos granitóides TTG do TGGRM e do Granito Xinguará (Leite 2001, Leite *et al.* 2004). No diagrama K-Na-Ca, Granodiorito Grotão foge do trend trondhjemítico pois mostra enriquecimento em K em relação aos granitóides TTG, porém com conteúdos menores de K que o Granito Xinguará e o biotita-granodiorito estudado por Medeiros (1987);

(3) O Quartzo-diorito Parazônia possui idade Pb-Pb em zircão de 2876 ± 2 (Almeida, em prep.), sendo constituído essencialmente por plagioclásio, quartzo e anfibólio, acompanhados por feldspato potássico, biotita e epidoto. Apresentam conteúdos modais elevados de minerais máficos e no diagrama QAP plotam nos campos dos quartzo-dioritos a granodioritos; geoquimicamente são rochas intermediárias, fortemente metaluminosas, que seguem o trend cálcico-alcálico. Nos clássicos diagramas de discriminação de granitóides arqueanos tendem a seguir o mesmo trend que as rochas da associação sanukitóide do TGGRM (Dall'Agnol *et al.* 1999, Oliveira *et al.* 2006, 2009);

(4) A comparação entre o Granodiorito Grotão e associações TTG do TGGRM (Guimarães, submetido) e com o Granito Xinguará (Leite 2001; Leite *et al.* 2004) revelam que essas rochas apresentam características distintas e que não possuem relação genética. Por outro lado, comparado com o biotita-granodiorito estudado por Medeiros (1987) observa-se uma maior afinidade, embora persistam diferenças expressivas entre os dois granitóides;

(5) O Quartzo-diorito Parazônia é muito similar às rochas intermediárias sanukitóides do TGGRM (Oliveira *et al.* 2006, 2009), tanto em termos petrográficos, quanto em termos geoquímicos, Porém, embora pertença à mesma série magmática, o Quartzo-diorito Parazônia

apresenta também algumas diferenças significativas em relação às rochas intermediárias de Bannach, entre elas o menor teor de sílica e menor valor de Mg #.

(6) Os estudos desenvolvidos a mais de duas décadas no Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria vem permitindo aprofundar cada vez mais o conhecimento sobre os granitóides arqueanos que formam aquele terreno. Isto tem contribuído para esclarecer os processos que ocasionaram a origem e a evolução magmática dos mesmos, e, numa escala mais ampla, das associações arqueanas de modo geral.

Agradecimentos

Aos pesquisadores do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG-IG-UFPA) pelo apoio nas diversas etapas deste trabalho; ao Instituto de Geociências (IG-UFPA) pelo suporte técnico; à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado (F. V. Guimarães); ao CNPq por concessão de bolsas de doutorado (M. A. Oliveira e J. A. C. Almeida) e de produtividade em pesquisa (R. Dall’Agnol) e por apoio financeiro (Processo nº 306348/2006-3). Este trabalho é uma contribuição para o INCT de Geociências da Amazônia (CNPq/MCT/FAPESPA – Processo nº 573733/2008-2).

Referências

- Almeida J.A.C., Oliveira M.A., Dall’Agnol, R., Althoff F.J., Borges R.M.K., 2008. Relatório de mapeamento geológico na escala 1:100.000 da Folha Marajoara (sb-22-z-c v). Programa Geobrasil, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 147p.
- Almeida J.A.C. Em preparação. Evolução geológica arqueana do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE do Cráton Amazônico. Tese de doutorado. Instituto de Geociências. UFPA.
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*, **104**, 187-206.
- Barker F. 1979. Trondhjemites: definition, environment and hypotheses of origin. *In: BARKER, F. (Ed.) Trondhjemites, dacites and related rocks*. Amsterdam, Elsevier. p. 1-12.
- Barker F. & Arth J.G. 1976. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archean bimodal trondhjemite-basalt suites. *Geology*, 4: 596-600. Université Henri Poincaré - Nancy 1, France. Nancy. 316p.
- Bowden P., Batchelor R.A., Chapell B.W., Didier J., Lameyre J. 1984. Petrological, geochemical and source criteria for the classification of granitic rocks: a discussion. *Earth and Planetary Science Letters*, **35**, 1-11.

Costa M.A.C. 2009. Petrografia e Geoquímica de Rochas Tonalítica-Trondhjemítica-Granodioríticas Da Faixa Central (Ew) Da Folha Marajoara, Sudeste Do Pará. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências. UFPA. 63p.

Dall'agnol R., Ramö O.T., Magalhães M.S., Macambir, M.J.B. 1999. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic, A-type Granites. *Lithos*. **46**: 431-462.

Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M., 2006. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian craton. *In*: Dall'Agnol, R., Rosa-Costa, L.T., Klein, E.L. (eds.). Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian craton. Abstracts volume and field trips guide. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, 99-150.

Dias S.B.D. *Em preparação*. Caracterização Geológica, Petrográfica e Geoquímica Granitos Arqueanos da Folha Marajoara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE – PA. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. UFPA.

Docegeo. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém, 1988. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, SBG. p. 11-54.

Guimarães, F.V. Dall'Agnol R., Almeida J.A.C, Oliveira M.A . Submetido. Caracterização Geológica, Petrográfica e Geoquímica do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria – Pará.

Harker A. 1965. The natural history of igneous rocks. New York. Macmillan, 384p.

Hanson G.N., 1978. The application of trace elements in the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. *Earth and Planetary Science Letters*, **38**: 26-43.

Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - Sul do Pará. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, SBG. v. 3, p. 1438-1453.

Irvine T.N., Baragar W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of the Earth Science*, **8**: 523-547.

Lameyre J. & Bowden P. 1982. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **14**: 169-186.

Leite A.A.S. 2001. Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico. Tese de Doutorado. Centro de Geociências. UFPA,. 330p.

Martin H. 1994. 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. p. 205-259.

- Medeiros H. 1987. Petrologia da Porção Leste, do Maciço Granodiorítico de Rio Maria, sudeste do Pará. Dissertação de Mestrado. Centro de Geociências. UFPA. 166p.
- Medeiros H. & Dall'Agnol R. 1988. Petrologia da porção leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 35, Belém. Anais de Congresso Brasileiro de Geologia. SBG. v 3, p.1488-1499.
- Nakamura N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, **38**:757-775.
- O'Connor J.T. 1965. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. US Geological Survey Professional Papers, 525B: 79-84.
- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J., 2006. Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Rio Maria da região de Bannach e comparações com as demais ocorrências no terreno Granito-Greenstone de Rio Maria-Pará. *Rev.Bras. Geoc.* **36** (2), 313-326.
- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences.* **27**. p. 146-160.
- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos Terrenos Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 38. Camboriú, 1988. Boletim de Resumos Expandidos. Camboriú, SBG. p. 390-391.
- SANTOS J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. *In: BIZZI, L.A. et al. (Ed.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG.* Brasília: CPRM-Serviço Geológico do Brasil. p. 169-226, il.
- Santos & Pena Filho 2000. Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Região de Xinguara, folha Xinguara (SB-22-Z-C), Estado do Pará. Texto explicativo, Brasília, DNPM/CPRM. 120p.
- Shand S.J. 1950. Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit. 4ed., London, 488p.
- Souza Z.S. 1994. Geologia e petrogênese do "Greenstone Belt" Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-"greenstone" de Rio Maria, SE do Pará. Tese de Doutorado. Centro de Geociências. UFPA. v- 1 e 2, 624p.
- Streckeisen A.L., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review*, **12**: 1-33.
- Tassinari C.C.G., & Macambira M.J.B., 2004. Evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C. D. R., Brito Neves, B. B. de. (Org.). Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida.* São Paulo: BECA, 2004, v., p. 471-486.
- Vasquez L.V., Rosa-Costa L.R., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008b. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará : Sistema de Informações Geográficas – SIG :

texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Organizadores, Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM.

Wedepohl K.H., 1970. Rubidium, Handbook of geochemistry. Berlin, Springer-Verlag, pp. 37-B - 37-N.

CAPÍTULO - 4

CONCLUSÕES FINAIS

Os resultados do mapeamento geológico e estudos petrográficos e geoquímicos apresentados e discutidos neste trabalho permitiram chegar às seguintes conclusões:

(1) O Trondhjemito Mogno, que inicialmente era tido como um corpo muito homogêneo apresentou em sua principal área de ocorrência diferenças estruturais, petrográficas, geoquímicas e geocronológicas, que levaram à sua separação em duas associações TTG distintas. A designação de Trondhjemito Mogno foi mantida para a associação dominante, com padrão estrutural NW-SE a EW, distribuída nos domínios leste e oeste da área mapeada. A nova associação identificada na porção centro-oeste da área mapeada, com foliação dominante alinhada segundo NE-SW e NS foi denominada de Tonalito Mariazinha, ficando assim reduzida a área de ocorrência do Trondhjemito Mogno e sendo definida uma nova unidade estratigráfica na região;

(2) Na área mapeada foi possível também a individualização de uma nova unidade, denominada de Granodiorito Grotão, e foi proposta a redefinição do Tonalito Parazônia que passou a ser denominado de Quartzo-diorito Parazônia;

(3) Os dados geocronológicos obtidos por Almeida (em prep.) revelaram que o Trondhjemito Mogno e o Tonalito Mariazinha não fazem parte da segunda geração de TTGs do TGGRM, pois possuem idades mais antigas que 2,87 Ga e que o Quartzo-diorito Parazônia possui idade similar àquelas fornecidas pela associação sanukitóide do TGGRM;

(4) As duas associações TTG estudadas são constituídas principalmente por quartzo e plagioclásio, tendo a biotita como principal mineral ferromagnésiano. Os minerais acessórios primários são feldspato potássico, opacos, epidoto, apatita, allanita, titanita e zircão e as principais fases secundárias clorita, sericita-muscovita e epidoto. Plotam sempre no campo dos tonalitos-trondhjemitos no diagrama QAP e sua classificação foi baseada nas variações nos conteúdos de máficos; geoquimicamente, os tonalitos e trondhjemitos pertencem ao grupo de TTG com alto Al_2O_3 , são relativamente pobres em elementos ferromagnésianos e possuem anomalias de Eu discretas. Nos clássicos diagramas de discriminação de granitóides arqueanos, situam-se sistematicamente nos campos de trondhjemitos e se alinham segundo o trend trondhjemítico. Suas características são, portanto, compatíveis com as dos típicos granitóides arqueanos da série trondhjemítica (Barker 1979, Martin 1993);

- (5) O Granodiorito Grotão é um leucogranodiorito constituído principalmente por plagioclásio, quartzo e feldspato potássico, tendo a biotita e epidoto como principais minerais ferromagnesianos. Apresenta caráter metaluminoso a peraluminoso e mostra comportamento geoquímico distinto dos granitóides TTG do TGGRM e do Granito Xinguara (Leite 2001, Leite *et al.* 2004). No diagrama K-Na-Ca, o Granodiorito Grotão foge do trend trondhjemítico pois mostra enriquecimento em K em relação aos granitóides TTG, porém com conteúdos menores de K que o Granito Xinguara e o biotita-granodiorito estudado por Medeiros (1987);
- (6) O Quartzo-diorito Parazônia é constituído essencialmente por plagioclásio, quartzo e anfibólio, acompanhados por feldspato potássico, biotita e epidoto. Apresentam conteúdos modais elevados de minerais máficos e no diagrama QAP plotam nos campos dos quartzodioritos a granodioritos; geoquimicamente são rochas intermediárias, fortemente metaluminosas, que seguem o trend cálcico-alcálico. Nos clássicos diagramas de discriminação de granitóides arqueanos tendem a seguir o mesmo trend que as rochas da associação sanukitóide do TGGRM (Althoff *et al.* 2000, Leite 2001, Oliveira *et al.* 2006, 2009);
- (7) Comparações com os TTG da região de Xinguara revelaram que o Trondhjemito Mogno possui características geoquímicas transicionais entre o Complexo Tonalítico Caracol e o Trondhjemito Água Fria, enquanto que o Tonalito Mariazinha apresenta maiores semelhanças com o Complexo Tonalítico Caracol e, particularmente, com as rochas do seu corpo noroeste (Leite 2001);
- (8) A comparação entre o Granodiorito Grotão e associações TTG do TGGRM (Guimarães, submetido) e com o Granito Xingura (Leite 2001; Leite *et al.* 2004) revelam que essas rochas apresentam características distintas e que não possuem relação genética. Por outro lado, comparado com o biotita-granodiorito estudado por Medeiros (1987) observa-se uma maior afinidade, embora persistam diferenças expressivas entre os dois granitóides;
- (9) O Quartzo-diorito Parazônia é muito similar às rochas intermediárias sanukitóides do TGGRM (Oliveira *et al.* 2006, 2009), tanto em termos petrográficos, quanto em termos geoquímicos. Porém, embora pertença à mesma série magmática, o Quartzo-diorito Parazônia apresenta também algumas diferenças significativas em relação às rochas intermediárias de Bannach, entre elas o menor teor de sílica e menor valor de Mg #.
- (10) Os estudos cada vez mais detalhados que vêm sendo realizados no Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria têm permitido aprofundar cada vez mais o conhecimento sobre os

granitóides arqueanos que formam aquele terreno e contribuído para esclarecer os processos que ocasionaram a sua origem e evolução magmática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro, NPM/DGM, 36p. (Boletim 241).
- ALMEIDA, J.A.C.; OLIVEIRA, M.A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F. J.; BORGES, R.M.K. 2008. *Relatório de mapeamento geológico na escala 1:100.000 da Folha Marajoara (sb-22-z-c v)*. Programa Geobrasil, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 147p.
- ALMEIDA, J.A.C.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, D.C. 2006. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 36: 282 - 295.
- ALTHOFF, F.J. 1996. *Etude pétrologique et structurale des granitoïdes de Marajoara (Pará, Brésil): leur rôle dans l'évolution archéenne du craton Amazonien (2,7-3,2 Ga)*. Université Henri Poincaré, Nancy I – France. 296p. (Tese de Doutorado)
- ALTHOFF, F.J.; BARBEY, P.; MACAMBIRA, M.J.B.; SCHELLER, T.; LETERRIER, J.; DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.M. 1998. La croissance du craton sud-amazonien (région de Rio Maria, Brésil). In: RÉUNION DES SCIENCES DE LA TERRE. Resumés. Brest, Société Géologique de France, p. 62.
- ALTHOFF, F.J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province, Brazil). *Precambrian Research*, 104, 187-206.
- AVELAR, V.G. 1996. *Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão, do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia Oriental*. Belém, Universidade Federal do Pará. CG. 199 p. (Dissertação de Mestrado).
- BARKER, F.; ARTH, J.G. 1976. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archaean bimodal trondhjemite-basalt suites. *Geology*, 4: 596-600.
- BARROS, C.E.M.; DALL'AGNOL, R.; BARBEY, P.; BOULLIER, A. 1997. Geochemistry of the Estrela Granite Complex, Caracas, Region, Brazil: An Example of an Archean A-Type Granitoid. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 10, n. 3-4, p. 321-330.
- CHAPPELL, B.W. 1996. Magma mixing and the production of compositional variation within granite suites: evidence from the granites of southeastern Australia. *Journal of Petrology*, 37, 449-470.
- CONDIE, K.C. & HUNTER, D.R. 1976. Trace elements geochemistry of Archean granitic rocks from Barberton region, South Africa. *Earth and Planetary Science Letters*, 29, 389-400.

- CONDIE, K.C. 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface sample and shales. *Chemical Geology*, 104: p. 1-37.
- COSTA, J.B.S.; ARAÚJO, O.J.B.; SANTOS, A.; JORGE JOÃO, X.S.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. 1995. A província mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra, 7:199-235.
- DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N.P.; RÄMO, O.T.; MOURA, C.A.V.; MACAMBIRA, M.J.B.; OLIVEIRA, D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. *Lithos*, 80: 101-129.
- DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M.A.; ALMEIDA, J.A.C.; ALTHOFF, F.J.; LEITE, A.A.S.; OLIVEIRA, D.C.; BARROS, C.E.M., 2006. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian craton. In: Dall'Agnol, R., Rosa-Costa, L.T., Klein, E.L. (eds.). Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian craton. Abstracts volume and field trips guide. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, 99-150.
- DALL'AGNOL, R.; SCAILLET, B.; PICHAVANT, M. 1999a. Evolution of A-type granite magmas: an experimental study of the Lower Proterozoic Jamon Granite, eastern Amazonian craton, Brazil. *Journal of Petrology*. 40 (11): 1673-1698.
- DALL'AGNOL, R.; RAMÖ, O.T.; MAGALHÃES, M.S.; MACAMBIRA, M.J.B. 1999b. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic, A-type Granites. *Lithos*. 46: 431-462.
- DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.; ALTHOFF, F.J.; BARROS, C.E.M.; LEITE, A.A.S.; JORGE JOÃO, X.S. 1997. General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. In: International. Symposium on Granites and Associated Mineralizations, 2. Salvador. Excursions Guide. Salvador: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais-SGRM. p.135-161.
- DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.; ALTHOFF, F.J.; MACAMBIRA, M.J.B. & LEITE, A.A.S. 1996. Geology and geochemistry of the Archean Rio Maria Granite-greenstone Terrain, Carajás province, Amazonian craton. In: Symp. Archean Terrain South American Platform. Brasília, 1996. Extended abstracts. Brasília, SBG. p. 29-30.
- DOCEGEO. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém, 1988. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, SBG. p. 11-54.
- DUARTE, K.D. 1992. *Geologia e geoquímica do Granito Mata Surrão (SW de Rio Maria – Pa): um exemplo de granito “stricto sensu” Arqueano*. Belém, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 217p. (Dissertação de Mestrado)
- GUIMARÃES, F.V. 2007. *Mapeamento Geológico e Petrografia de granitóide Tonalítico-Trondhjemitico da Região a Leste de Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria -*

PA. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Pará.

HARKER, A. 1965. The natural history of igneous rocks. New York. Macmillan, 384p.

HENDERSON, P. 1984. Rare Earth Element Geochemistry, Elsevier, Amsterdam 510 pp.

HUHN, S.R.B.; SANTOS, A.B.S.; AMARAL, A.F.; LEDSHAM, E.J.; GOUVEIA, J.L.; MARTINS, L.B.P.; MONTALVÃO, R.M.G.; COSTA, V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - Sul do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35., Belém. Anais do congresso Brasileiro de Geologia. Belém, SBG. v. 3, p. 1438-1453.

LAFON, J.M. & SCHELLER, T. 1994. Geocronologia Pb/Pb em zircão do Granodiorito Cumaru, Serra dos Gradaús, PA. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 4, Belém, 1994. Boletim de Resumos Expandidos. Belém, SBG/NO, p. 321-323.

LAFON, J.M.; RODRIGUES, E.; DUARTE, K.D. 1994. Le granite Mata Surrão: un magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjemitiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). p. 642-649.

LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P. and MARCHAL, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 R2- diagram and major-element analyses - its relationships with current nomenclature. Chem. Geol., 29: 183-210.

LE MAITRE, R.W. 2002. A classification of igneous rocks and glossary of terms. 2nd Edition, London, 193 p.

LEITE, A.A.S. 2001. *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 330p. (Tese de Doutorado)

LEITE, A.A.S.; DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, M.J.B.; ALTHOFF, F.J. 2004. 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*. 34, 447-458.

LEITE, A.A.S.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F.J. 1999. Geoquímica e aspectos petrogenéticos do granito Xinguara, Terreno granito-greenstone de Rio Maria – Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, 23(3): 429-436.

LOBACH-ZHUCHENKO, S.B.; ROLLINSON, H.; CHEKULAEV, V.P.; ARESTOVA, N.A.; KOVALENKO, A.V.; IVANIKOV, V.V.; GUSEVA, N.S.; SERGEEV, S.A.; MATUKOV, D.I.; JARVIS, K.E. 2005. The archaean sanukitoid series of the baltic shield—geological setting, geochemical characteristics and implications for their origin. *Lithos*. 79, 107– 128.

- MACAMBIRA, M.J.B. 1992. *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 Carajas, Brésil*. Montpellier, Université Montpellier II-France. 212 p. (Tese de Doutorado)
- MACAMBIRA, M.J.B.; COSTA, J.B.S.; ALTHOFF, F.J.; LAFON, J.M.; MELO, J.C.V.; SANTOS, A. 2000. 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, 31st, Rio de Janeiro, Abstract, Rio de Janeiro, CD-ROM. SBG.
- MACAMBIRA, M.J.B. & LAFON, J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; Síntese dos dados e novos desafios. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, série Ciências da Terra, Belém, (7): 263-287.
- MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.G.; KROGH, T.E.; LINDENMAYER, D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, 49: 329-354.
- MARTIN, H. 1994. 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. p. 205-259.
- MARTIN H. 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archean granitoids. *Lithos*. V 16. P. 411-429.
- MARTIN H.; PEUCAT J.J.; SABATÉ P.; CUNHA J.C. 1997. Crustal evolution in the early Archaean of South America: example of the Sete Voltas Massif, Bahia State, Brazil. *Precambrian Research*. V 82. P. 35 62.
- MARTIN, H.; SMITHIES, R.H.; RAPP, R.; MOYEN, J.-F.; CHAMPION, D. 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*, 79: 1-24p.
- MARTIN, H. 1987. Petrogenesis of Archaean trondhjemites, tonalites and granodiorites from eastern Finland: major and trace element geochemistry. *Journal of Petrology*, 28: 921-953.
- MEDEIROS, H.; DALL'AGNOL, R. 1988. Petrologia da porção leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém. Anais de Congresso Brasileiro de Geologia. SBG. v 3, p.1488-1499.
- MOYEN, J.F.; MARTIN, H.; JAYANANDA, M.; AUVRAY, B. 2003. Late-Archaean granites: a typology based on the Dharwar Craton (India). *Precambrian Research*, 2375: 1-21.
- NOCKOLDS, S.R.; ALEEN, R. 1953. The geochemistry of some igneous rock series, Part I. *Geochemical Cosmochimical Acta* 4, 105-142.
- OLIVEIRA, D.C. 2001. *Geologia, geoquímica e petrologia magnética do granito paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico*. Belém. Universidade Federal do

- Pará. Centro de Geociências. 207 p. Belém, UFPA, Centro de Geociências. (Dissertação de Mestrado)
- OLIVEIRA, D.C. 2006. *Modelos de evolução e colocação dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico*. 171 f. (Tese Doutorado) - Centro de Geociências, UFPA.
- OLIVEIRA, M.A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F.J. 2006. Petrografia e Geoquímica do Granodiorito Rio Maria da região de Bannach e comparações com as demais ocorrências no terreno Granito-Greenstone de Rio Maria-Pará. *Revista Brasileira de Geociências*. 36 (2), 313-326.
- OLIVEIRA, M.A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F.J.; LEITE, A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*. v. 27. p. 146-160.
- PIMENTEL, M.M.; MACHADO, N. 1994. Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38. Camboriú, 1988. Boletim de Resumos Expandidos. Camboriú, SBG. p. 390-391.
- ROLANDO, A.P.; MACAMBIRA, M.J.B. 2002. Geocronologia dos granitóides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do Cráton Amazônico, SSE Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 41. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. João Pessoa, 2002. SBG. p. 525.
- ROLANDO, A.P.; MACAMBIRA, M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. In: South American Symposium On Isotope Geology, 4, Salvador. Expanded Abstracts. Salvador: CD-ROM.
- ROLLISON, H.R. 1993. Using geochemical Data: Evaluation, Presentation, and Interpretation, New York: Longman Scientific and Technical. p. 56-61.
- SANTOS, J.O. S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E.; GROVES, D.I.; McNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3: 453-488.
- SANTOS A. & PENA FILHO J.I.C 2000. Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Região de Xinguara, folha Xinguara (SB-22-Z-C), Estado do Pará. Texto explicativo, Brasília, DNPM/CPRM. 120p.
- SHAND, S.J. 1950. Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit. 4ed., London, 488p.
- SOUZA, Z.S.; POTREL, H.; LAFON, J.M.; ALTHOFF, F.J.; PIMENTEL, M.M.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes of the identidade belt, na archaean greenstone belt of the rio maria region (carajas province, brazil): implications

for the archaean geodynamic evolution of the amazonian craton. *Precambrian research*, 109 (2001) 293–315.

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

STRECKEISEN, A.L. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review*, 12: 1-33.

TASSINARI, C.C.G. & MACAMBIRA, M.J.B. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22: 174-182.

VASQUEZ M.L.; ROSA-COSTA L.T.; SILVA C.M.G.; RICCI P.S.F.; BARBOSA J.P.O.; KLEIN E.L.; LOPES E.C.S.; MACAMBIRA E.M.B.; CHAVES C.L.; CARVALHO J.M.A.; OLIVEIRA J.G.F.; ANJOS G.C.; SILVA H.R. 2008. Unidades Litoestratigráficas in: *Geologia e Recursos Minerais Do Estado Do Pará*.

ANEXOS

ANEXO 1- Lista de Afloramentos

Pontos	Latitude	Longitude	Unidade
FMR-01	-7,29363	-50,05473	Trondhjemitito Mogno
FMR-02A	-7,28821	-50,06749	Trondhjemitito Mogno
FMR-03	-7,28522	-50,07420	Trondhjemitito Mogno
FMR-04	-7,28173	-50,08240	Dique máfico
FMR-05	-7,27787	-50,09100	Trondhjemitito Mogno
FMR-06	-7,26605	-50,09375	Trondhjemitito Mogno
FMR-07	-7,25595	-50,09890	Dique máfico
FMR-08A	-7,25615	-50,10093	Trondhjemitito Mogno
FMR-09A	-7,25393	-50,10480	Granito Tipo Xinguara
FMR-10	-7,25293	-50,10789	Trondhjemitito Mogno
FMR-11	-7,25037	-50,11461	Trondhjemitito Mogno
FMR-12	-7,24669	-50,12991	Dique máfico
FMR-13A	-7,24309	-50,10219	Trondhjemitito Mogno
FMR-14	-7,24189	-50,14523	Trondhjemitito Mogno
FMR-15A	-7,24046	-50,15382	Trondhjemitito Mogno
FMR-15C	-7,24046	-50,15382	Trondhjemitito Mogno
FMR-16	-7,23833	-50,15819	Trondhjemitito Mogno
FMR-17A	-7,23463	-50,16793	Quartzo-diorito Parazônia
FMR- 18	-7,23141	-50,18135	Quartzo-diorito Parazônia
FMR-19A	-7,22902	-50,19023	Quartzo-diorito Parazônia
FMR-19D	-7,22880	-50,19043	Quartzo-diorito Parazônia
FMR-19F	-7,22877	-50,19066	Quartzo-diorito Parazônia (fina)
FMR-19H	-7,22924	-50,19041	Trondhjemitito Mogno (fino)
FMR-20	-7,20241	-50,27577	Tonalito Mariazinha
FMR-21A	-7,19602	-50,27249	Granito Tipo Xinguara
FMR-22	-7,19007	-50,27151	Greenstone Belt
FMR-23	-7,18266	-50,27022	Tonalito Mariazinha
FMR-24	-7,18308	-50,26835	Tonalito Mariazinha
FMR-25	-7,16983	-50,26668	Tonalito Mariazinha
FMR-26	-7,16281	-50,26465	Dique máfico
FMR-27	-7,15338	-50,26194	Quartzo-diorito Parazônia
FMR-28	-7,13074	-50,25387	Tonalito Mariazinha
FMR-29	-7,12002	-50,25161	Tonalito Mariazinha
FMR-30A	-7,09655	-50,24570	Tonalito Mariazinha
FMR-31	-7,08821	-50,24346	Tonalito Mariazinha
FMR-32	-7,08345	-50,24208	Granito Tipo Xinguara
FMR-33A	-7,05918	-50,23596	Granito Tipo Xinguara
FMR-34A	-7,20484	-50,24841	Tonalito Mariazinha
FMR-35A	-7,19194	-50,24413	Granito Tipo Xinguara

ANEXO 1- Lista de Afloramentos (Continuação)

FMR-36A	-7,18589	-50,24237	Tonalito Mariazinha
FMR-37A	-7,17840	-50,24030	Tonalito Mariazinha
FMR-38	-7,17683	-50,23986	Dique máfico
FMR-39A	-7,17199	-50,23845	Tonalito Mariazinha
FMR-40	-7,16115	-50,23589	Tonalito Mariazinha
FMR-41	-7,16291	-50,21756	Tonalito Mariazinha
FMR-42A	-7,15569	-50,21549	Granito tipo Xinguara
FMR-43	-7,14405	-50,21224	Tonalito Mariazinha (?)
FMR-44A	-7,16224	-50,21749	Trondhjemito Mogno
FMR-45	-7,16339	-50,21995	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-46	-7,15900	-50,23432	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-47A	-7,18104	-50,23858	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-48A	-7,18289	-50,23196	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-49	-7,17543	-50,22980	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-50	-7,17479	-50,24365	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-51	-7,17268	-50,25162	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-52	-7,17038	-50,25908	Tonalito Mariazinha
FMR-53A	-7,22640	-50,23518	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-54	-7,21915	-50,23425	Quartzo-diorito Parazônia
FMR-55	-7,21630	-50,22836	Granito tipo Xinguara
FMR-57	-7,21514	-50,22723	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-58	-7,22168	-50,23497	Granito tipo Xinguara
FMR-59	-7,22663	-50,23278	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-60	-7,23076	-50,22393	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-61A	-7,23058	-50,22202	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-62A	-7,23395	-50,21416	Granito tipo Xinguara
FMR-63	-7,23520	-50,20652	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-64A	-7,23394	-50,19671	Quartzo-diorito Parazônia
FMR-65A	-7,24156	-50,19376	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-66	-7,25306	-50,19710	Biotita-granodiorito Grotão
FMR-67	-7,26407	-50,19633	Trondhjemito Mogno
FMR-68	-7,22287	-50,18933	Quartzo-diorito Parazônia
FMR-69A	-7,22158	-50,18893	Quartzo-diorito Parazônia
FMR-70	-7,20300	-50,18353	Trondhjemito Mogno
FMR-71	-7,18524	-50,17594	Trondhjemito Mogno
FMR-72	-7,22768	-50,00571	Trondhjemito Mogno
FMR-73	-7,21708	-49,99798	Trondhjemito Mogno
FMR-74	-7,20071	-49,99015	Trondhjemito Mogno
FMR-75	-7,19307	-49,98576	Trondhjemito Mogno
FMR-76A	-7,19544	-49,98788	Trondhjemito Mogno

ANEXO 1- Lista de Afloramentos (Continuação)

FMR-77	-7,19717	-49,99386	Trondhjemito Mogno
FMR-78	-7,19372	-50,00083	Trondhjemito Mogno
FMR-79	-7,18884	-50,01277	TTG Hidrotermalizado
FMR-80	-7,17779	-50,03840	TTG Hidrotermalizado
FMR-81	-7,17966	-50,04196	TTG Hidrotermalizado
FMR-82	-7,17771	-50,04538	TTG Hidrotermalizado
FMR-83A	-7,17979	-50,05360	Trondhjemito Mogno
FMR-84	-7,17442	-50,06396	Trondhjemito Mogno
FMR-85	-7,19395	-50,08565	Trondhjemito Mogno
FMR-86	-7,20502	-50,08913	Trondhjemito Mogno
FMR-87	-7,21845	-50,09257	Trondhjemito Mogno
FMR-88	-7,22790	-50,09474	Trondhjemito Mogno
FMR-89	-7,05295	-50,09193	Trondhjemito Mogno
FMR-90	-7,08394	-50,10098	Trondhjemito Mogno
FMR-91A	-7,09626	-50,10348	Trondhjemito Mogno
FMR-92	-7,10895	-50,10837	Trondhjemito Mogno
FMR-93	-7,10624	-50,11758	Trondhjemito Mogno
FMR-94	-7,10257	-50,12762	Trondhjemito Mogno
FMR-95	-7,11789	-50,13723	Trondhjemito Mogno
FMR-96	-7,12627	-50,13923	Trondhjemito Mogno
FMR-97	-7,12699	-50,14794	Trondhjemito Mogno
FMR-98	-7,13190	-50,15465	Trondhjemito Mogno
FMR-99	-7,13981	-50,15719	Trondhjemito Mogno
FMR-100	-7,14655	-50,15943	Granito tipo Xinguara
FMR-101	-7,16434	-50,16503	Trondhjemito Mogno
FMR-102	-7,18196	-50,16761	Trondhjemito Mogno
FMR-103	-7,11786	-50,18367	Trondhjemito Mogno
FMR-104	-7,11236	-50,20037	Granito tipo Xinguara
FMR-105	-7,16656	-50,24447	Trondhjemito Mogno
