



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 413

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA DAS
ASSOCIAÇÕES TTGs E LEUCOGRANODIORITOS DO
EXTREMO NORTE DO DOMÍNIO RIO MARIA PROVÍNCIA
CARAJÁS**

Dissertação apresentada por:

CHRYSTOPHE RONAIB PEIXOTO DA SILVA

Orientador: Prof. Davis Carvalho de Oliveira (UFPA)

**BELÉM-PA
2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

R768g Ronaib, Chrystophe

Geologia, petrografia e geoquímica das associações TTGs e Leucogranodioritos do extremo norte do Domínio Rio Maria, Província Carajás / Chrystophe Ronaib; Orientador: Davis Carvalho de Oliveira – 2013

xiv, 76 f.: il.

Dissertação (Mestrado em geoquímica e petrologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2013.

1. Geologia estratigráfica – Arqueano. 2. Tonalito. 3. Geoquímica - Pará. 4. Água Azul do Norte (Pa). 5. Carajás, Serra dos (Pa). I. Oliveira, Davis Carvalho de, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22^a ed.: 551.712098115



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

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA DAS
ASSOCIAÇÕES TTGs E LEUCOGRANODIORITOS DO
EXTREMO NORTE DO DOMÍNIO RIO MARIA PROVÍNCIA
CARAJÁS**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

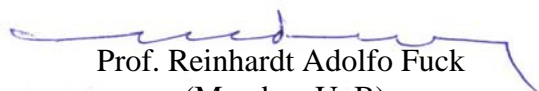
CHRYSTOPHE RONAIB PEIXOTO DA SILVA

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

Data de Aprovação: 18 / 06 / 2013

Banca Examinadora:


Prof. Davis Carvalho de Oliveira
(Orientador-UFPA)


Prof. Reinhardt Adolfo Fuck
(Membro-UnB)


Prof. José de Arimatéia Costa de Almeida
(Membro-UFPA)

*Ora aquele que é poderoso para nos dar
muito mais além daquilo que pedimos ou pensamos,
segundo o poder que em nós opera. (Ef 3.20)*

AGRADECIMENTOS

Para que este trabalho fosse realizado, várias pessoas tiveram seu grau de importância, a estes meus sinceros agradecimentos:

- A Deus, Supremo criador dos céus e da terra por ter me fortalecido e guiado durante os momentos difíceis.
- A minha família, em especial meus pais por acreditarem em mim e pelo incentivo dado durante os estudos.
- Ao meu grande Amor “Nanda” minha fiel companheira, por sempre estar ao meu lado me apoiando e me encorajando em todas as adversidades.
- A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa durante a realização deste trabalho.
- Aos professores, geólogos e estudantes do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG): Prof. Roberto Dall’Agnol, Prof. Claudio N. Lamarão, Prof. Régis, Ari, Alice, Bhrenno, Daniel, Mayara, Patrick, Pablo, e Ph, pelos momentos de descontração e em especial aos amigos Eleilson, Fabriciana e Max pelas tantas discussões e ajudas importantíssimas para a conclusão deste trabalho.
- À Universidade Federal do Pará pela infra-estrutura e ao Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica por ter me proporcionado essa experiência de trabalhar com grandes profissionais.
- Ao professor e orientador Davis Carvalho pelo esforço e apoio dado a mim para que eu pudesse realizar este trabalho e inúmeras discussões e sugestões durante a elaboração do mesmo.

A todas as pessoas aqui citadas ou não, que de certa forma colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, mas acima de tudo contribuíram para o meu crescimento como pessoa e profissional, o meu muito **OBRIGADO**.

RESUMO

O mapeamento geológico realizado à sudeste de Água Azul do Norte/PA, porção norte do Domínio Rio Maria, aliado aos dados petrográficos e geoquímicos permitiram a individualização de associações TTGs e leucogranodioritos. Nesta região, os trabalhos de mapeamento foram realizados apenas em escala regional o que possibilitou a extrapolação da área de ocorrência de rochas similares ao Tonalito Caracol e Trondhjemitito Mogno. Os TTGs estudados foram individualizados em duas unidades com base no conteúdo de minerais máficos, concentrações de epidoto magmático e no grau de saussuritização (descalcificação) do plagioclásio em: (1) Epidoto-Biotita Tonalito e; (2) Biotita Trondhjemitito. Em geral, são rochas que apresentam foliação definida pelo bandamento composicional, localmente pode ser perturbada por dobras e bandas de cisalhamento. Suas características geoquímicas são compatíveis com os TTGs arqueanos do grupo de alto Al_2O_3 , sendo ainda relativamente pobres em elementos ferromagnesianos, com padrões ETRP moderado a fortemente fracionados e anomalias de Eu discretas. As diferenças nas razões La/Yb e anomalia de Eu, possibilitou a discriminação de três grupos distintos de rochas: Os TTGs pertencentes ao grupo de alto La/Yb e Sr/Y são similares às rochas do Trondhjemitito Mogno, descritos no Domínio Rio Maria. Estas rochas incluem a maioria das amostras da unidade Biotita Trondhjemitito. No caso dos TTGs com médio a baixo La/Yb e Sr/Y quando comparadas com as rochas do Domínio Rio Maria possuem forte correlação com o Tonalito Caracol. Estes grupos são compostos principalmente pela unidade Epidoto-Biotita Tonalito, incluindo também amostras isoladas do Biotita Trondhjemitito. Com base nos critérios utilizados acima, os leucogranodioritos da área foram divididos em dois grupos: Biotita Granodiorito e Leucogranodiorito. As rochas do Biotita Granodiorito possuem ampla ocorrência espacial na porção oeste da área, relações de campo mostram que são intrusivas nos granitoides TTGs. Os dados geoquímicos apontam que o Biotita Granodiorito possui padrões de ETR fortemente fracionados, com alta razão La/Yb (33 – 186) e anomalia de Eu positiva ($1,11 < Eu/Eu^* < 3,26$), enquanto os leucogranodioritos mostram padrões levemente fracionados, com moderadas razões La/Yb (24,7 – 34,7) e anomalia de Eu ausente ($Eu/Eu^* = 1,03$). Os diagramas de Harker para elementos maiores e traços não favorecem uma ligação genética por processo de cristalização fracionada entre o Biotita Granodiorito e as associações TTGs, uma vez que apresentam *trends* de evolução distintos, indicando portanto que as condições de sua gênese e diferenciação foram bem diferentes, tampouco por fusão parcial de uma fonte TTG, pelo fato de não apresentar significativa anomalia negativa de Eu, bem como por exibir

padrões similares de fracionamento de ETR em relação aos TTGs, atestando que essas rochas provavelmente não foram oriundas de magmas precursores desses TTGs.

Palavras chave: Geologia estratigráfica – Arqueano, Tonalito, Geoquímica, Água Azul do Norte (Pa), Carajás.

ABSTRACT

The geological mapping carried out in the southeastern portion of Água Azul do Norte / PA, northern part of the Rio Maria domain, ally to the petrographic and geochemical data allowed the individualization of TTGs associations and leucogranodiorites. In this region, mapping was performed only on regional scale which allowed the extrapolation of the area of occurrence of rocks similar to Caracol Tonalite and Mogno Trondhjemite. The TTGs studied were individual in two units based on the contents of mafic minerals, concentration of magmatic epidote and degree of saussuritization of the plagioclase in: (1) Epidote-Biotite Tonalite and, (2) Biotite-Trondhjemite. In general, rocks which have a foliation defined by compositional banding which locally can be disturbed by folds and shear bands. Their geochemical characteristics are consistent with Archean TTG group of high Al_2O_3 and are still relatively poor in ferromagnesian elements, with HREE pattern moderately to strongly fractionated and Eu discrete anomalies. The differences in the ratios La/Yb and Eu anomalies, allowed to discriminate three distinct groups of rocks: The TTGs belonging to the group of high La/Yb, Sr/Y are similar to rocks Mogno Trondhjemite described in Rio Maria Domain. These rocks include the most samples of the unit Biotite Trondhjemite. In the case of TTGs with medium to low La/Yb, Sr/Y compared with the rocks of the Rio Maria area are strongly correlated with the Tonalite Caracol. These groups are composed mainly by unit Epidote-Biotite Tonalite, including also isolated samples the Biotite Trondhjemite. On the basis of geological, petrographic and geochemical data leucogranodiorites of the study area were divided into two groups: Biotite Granodiorite and Leucogranodiorite. The rocks of the Biotite Granodiorite have wide spatial occurrence in the western portion of the area. Field relationships show that these rocks are intrusive in granitoids TTGs. The available geochemical indicate that the Biotite Granodiorite have as well fractionated REE patterns, with high ratio La/Yb (33-186) and Eu anomalies quite pronounced, being strongly positive ($1,11 < Eu/Eu^* < 3,26$). Whereas leucogranodiorites show slightly fractionated patterns, with moderate ratios La/Yb (24.7 to 34.7) and Eu anomalies absent ($Eu / Eu^* = 1.03$). The Harker diagrams for major and trace elements do not favor a genetic link by fractional crystallization processes between the Biotite Granodiorite and TTG associations, considering present distinct evolution trends, thus indicating that the conditions of their genesis and differentiation were quite different, either by partial melting of a TTG source by the fact of the leucogranites not to present significant negative Eu anomaly, as well as for to show similar patterns of REE

fractionation in relation to TTG suites, attesting that these rocks were probably not derived from precursor magmas of the TTG suites.

Keywords: Stratigraphic geology – Archean, Tonalite, Geochemistry, Água Azul do Norte (Pa), Carajás.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1 - Mapa de Localização da área de trabalho	2
Figura 2 - Mapa geológico e localização da Província Carajás no cráton Amazônico.....	8
Figura 3 - Mapa geológico da porção norte do Domínio Rio Maria.	11
Figura 4 - Mapa de pontos da área estudada.	15

CAPÍTULO 2

Figura 1 – Mapa geológico proposto para área de trabalho.	22
Figura 2 – Aspecto de campo dos TTGs estudados.....	23
Figura 3 – Aspecto de campo do Leucogranodioritos estudados.....	24
Figura 4 – Diagrama Q-A-P e Q-(A+P)-M das rochas estudadas	29
Figura 5 – Aspecto texturais microscópicos dos Leucogranodioritos estudados	31
Figura 6 – Aspecto texturais microscópicos dos TTGs estudados	32
Figura 7 – Ordem de cristalização dos minerais.....	34
Figura 8 – Diagrama de Harker para os óxidos de elementos maiores e menores das amostras dos TTGs e leucogranodioritos estudados e dos TTGs de Rio Maria, leucogranodioritos da Suíte Guarantã, Granodiorito Grotão, Leucogranitos potássicos do Domínio Rio Maria, além dos leucogranodioritos Nova Canadá e Velha Canadá do Subdomínio de Transição	39
Figura 9 – Diagrama de Harker para os elementos traço das amostras dos TTGs e leucogranodioritos estudados e dos TTGs, Leucogranodioritos-granitos, Leucogranitos potássicos do Domínio Rio Maria, além dos leucogranodioritos Nova Canadá e Velha Canadá do Subdomínio de Transição	40
Figura 10 – Padrões de ETR para as amostras das associações TTGs estudadas comparado às médias de ETR dos TTGs do Domínio Rio Maria	42
Figura 11 – Padrões de ETR para as amostras dos leucogranodioritos estudados comparado às médias de ETR dos leucogranodioritos da Suíte Guarantã, Granodiorito Grotão, além do leucogranodiorito Nova Canadá do subdomínio de Transição.....	43
Figura 12 – Caracterização geoquímica mostrando a distribuição das amostras das associações TTGs e leucogranodioritos estudados juntamente com os campos dos TTGs de Rio Maria, Suíte Guarantã, leucogranitos potássicos, granodiorito grotão, assim como os leucogranodioritos do Subdomínio de Transição.	44

Figura 13 – Diagramas geoquímicos ternários mostrando a distribuição das amostras das associações TTGs e leucogranodioritos estudados juntamente com os campos dos TTGs de Rio Maria, Suíte Garantã, leucogranitos potássicos, granodiorito grotão, assim como os leucogranodioritos do Subdomínio de Transição.	45
Figura 14 – Diagrama La/Yb vs Yb e Sr/Y vs Y usados para discriminar os diferentes grupos de TTGs e leucogranodioritos estudados.	48

LISTA DE TABELAS**CAPÍTULO 1**

Tabela 1- Dados geocronológicos de unidades pertencentes ao Domínio Rio Maria7

CAPÍTULO 2

Tabela 1- Composições modais de amostras das associações TTG estudadas. 27

Tabela 2- Composições modais dos leucogranodioritos estudados..... 28

Tabela 3- Composições químicas dos TTGs estudados..... 37

Tabela 4- Composições químicas dos leucogranodioritos estudados..... 38

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	IV
AGRADECIMENTOS	V
EPÍGRAFE	VI
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	XII
LISTA DE TABELA	XIII
1- INTRODUÇÃO	1
1.1- APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA AREA	1
1.2- CONTEXTO GEOLOGICO REGIONAL	3
Dominio Rio Maria	3
1.3- REVISÃO BIBLIOGRAFICA DOS GRANITOIDES DO EXTREMO NORTE DO DOMINIO RIO MARIA	8
1.4- APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	10
1.5- OBJETIVOS	12
1.6- MATERIAIS E MÉTODOS	13
1.6.1- Pesquisa bibliográfica	13
1.6.2- Mapeamento geológico	13
1.6.3- Petrografia	13
1.6.4- Geoquímica.....	13
2- GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS ASSOCIAÇÕES TTGs E LEUCOGRANODIORITOS DO EXTREMO NORTE DO DOMINIO RIO MARIA ..	16
RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	17
INTRODUÇÃO.....	17
GEOLOGIA REGIONAL.....	18
CARACTERIZAÇÃO.....	20
Aspectos Gerais	20
Petrografia	25
Geoquímica.....	34

COMPARAÇÕES	45
CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS	51
3- CONCLUSÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS	60
ANEXOS.....	71

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A Província Carajás (PC), situada na porção sudeste do Cráton Amazônico, é caracterizada por apresentar uma grande variedade de recursos minerais, fazendo com que a mesma venha sendo alvo de estudos tanto por parte das instituições de pesquisa quanto por empresas de exploração mineral nas últimas décadas. A PC é dividida nos domínios Rio Maria e Carajás (Vasquez *et al.* 2008), sendo este último recentemente subdividido em Subdomínio de Transição e Bacia Carajás (Dall'Agnol *et al.* 2006, Feio *et al.* 2012). A área de estudo está localizada na porção sudeste do município de Água Azul do Norte (Figura 1), no extremo norte do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM - equivalente ao Domínio Rio Maria) e próximo ao limite deste terreno com o Subdomínio de Transição (porção sul do Domínio Carajás). Nesta área afloram diversos granitoides da série TTG (Trondhjemitó Mogno e Tonalito Caracol; Leite *et al.* 2004, Guimarães *et al.* 2010, Almeida *et al.* 2011) e, de maneira subordinada, seqüências metavulcano-sedimentares, além de granitoides ainda indiferenciados (Almeida *et al.* 2011).

Trabalhos recentes envolvendo mapeamento geológico em escala de detalhe (1:45.000) da porção SE de Água Azul do Norte (Silva, 2011), permitiram a individualização de granitoides tipo TTG e de uma extensa área formada por leucogranodioritos, que era até então considerada como domínio de ocorrência do Tonalito Caracol (Leite *et al.* 2004; Almeida *et al.* 2011). Tais informações revelaram que a área a ser pesquisada ainda necessita de estudos mais aprofundados sobre diversos aspectos. Sendo assim, a presente proposta de trabalho visa aprofundar o conhecimento da geologia e os aspectos petrográficos e geoquímicos dos granitoides arqueanos expostos na área mencionada acima, contribuindo assim para o avanço na compreensão da evolução geológica regional. Em virtude da proximidade da área de trabalho com o limite inferido para os domínios tectônicos citados anteriormente, uma melhor compreensão da geologia local é fundamental para definir o contexto geológico e tectônico em que estas rochas estão inseridas, já que há evidências de ocorrências de rochas afins tanto a norte, no Subdomínio de Transição, quanto a sul, no Domínio Rio Maria. Portanto, os resultados a serem obtidos têm implicações diretas no entendimento da evolução geológica e do magmatismo arqueano da Província Carajás.

Esta dissertação foi estruturada na forma de artigo científico, onde o mesmo é constituído por um capítulo introdutório (Capítulo 1) que aborda o contexto geológico

regional e suas problemáticas, além dos tópicos referente aos objetivos e os materiais e métodos usados durante a pesquisa. Os resultados principais são apresentados e discutidos na forma de um único manuscrito de artigo científico (Capítulos 2), que aborda a caracterização geológica, petrográfica e geoquímica das associações TTGs e leucogranodioritos do extremo norte do Domínio Rio Maria, sendo que o mesmo deverá ser submetido ao Boletim de Ciências Naturais do Museu Paraense Emílio Goeldi, onde fará parte de um volume especial sobre a geologia das rochas arqueanas da PC. No capítulo 3, são apresentadas as conclusões deste trabalho. Segue abaixo o título do manuscrito do artigo.

CAPÍTULO 2 – ARTIGO ÚNICO – GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS ASSOCIAÇÕES TTGs E LEUCOGRANODIORITOS DO EXTREMO NORTE DO DOMÍNIO RIO MARIA – PROVÍNCIA CARAJÁS.

O mapeamento geológico em escala de detalhe permitiu a individualização de duas grandes unidades geológicas: Associações TTGs e Leucogranodioritos. Este artigo visa à caracterização geológica, petrográfica e geoquímica destas rochas, bem como efetuar comparações destas rochas com as que ocorrem tanto no Domínio Rio Maria como no Subdomínio de Transição, a fim de definir o posicionamento geológico e ambiente tectônico dessas rochas na Província Carajás.

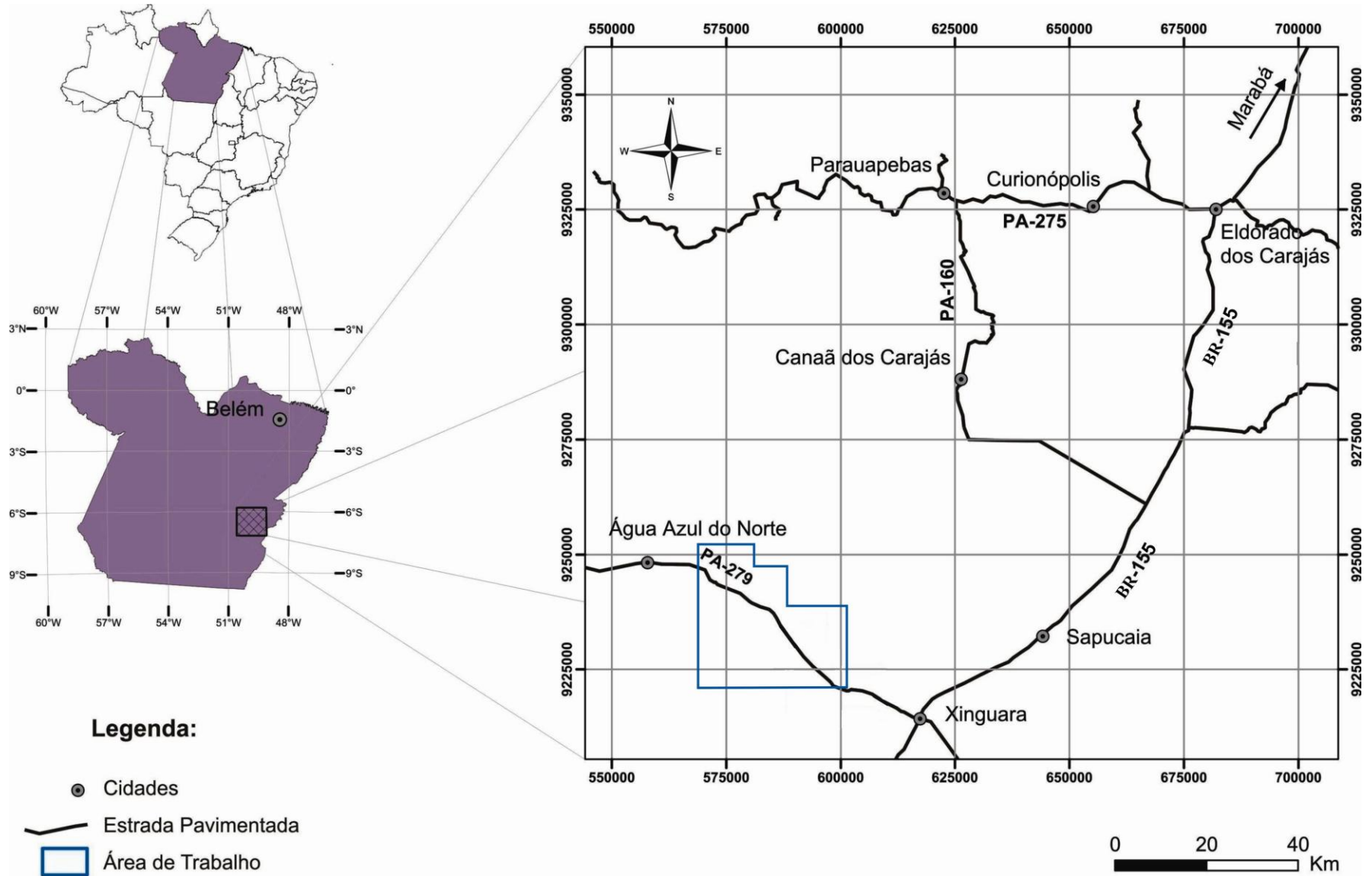


Figura 1 - Mapa de localização da área de trabalho.

1.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Cráton Amazônico configura-se como uma das principais unidades tectônicas da Plataforma Sul Americana e, segundo Tassinari & Macambira (2004), pode ser dividido em seis províncias geocronológicas (Figura 2a): Amazônia Central (>2.2 Ga.), Maroni-Itacaiúnas (2.2-1.95 Ga.), Ventuari-Tapajós (1.95-1.88 Ga.), Rio-Negro-Juruema (1.8-1.55 Ga.), Rondoniana-San Ignácio (1.55-1.3 Ga) e Sunsás (1.3-1.0 Ga).

A Província Carajás (Figura 2b) está localizada na porção sudeste do Cráton Amazônico e, segundo Tassinari & Macambira (2004), estaria compreendida na Província Amazônia Central. Santos (2003) sugeriu a divisão da Província Carajás em dois blocos distintos, denominados de Rio Maria e Carajás. Esta proposta tem sido fortalecida ao longo do tempo por Dall'Agnol *et al.* (2006) e Vasquez *et al.* (2008), onde foi assumida a existência dos dois domínios tectônicos na Província Carajás, um mais antigo a sul denominado de Domínio Rio Maria de idade mesoarqueana correspondente ao TGGRM, e outro a norte, com evolução no final do Neoarqueano denominado Domínio Carajás.

Segundo Dall'Agnol *et al.* (2006), a Província Carajás pode ser dividida tectonicamente em dois domínios principais e um transicional entre estes: (1) Domínio Rio Maria, a sul, (2) Bacia Carajás, a norte. Entre esses dois terrenos, haveria um terreno denominado informalmente de Subdomínio de Transição, compreendido no atual Domínio Carajás (Feio *et al.* 2012).

Domínio Rio Maria

O Domínio Rio Maria (Figura 2b) é formado por *greenstone belts* (Supergrupo Andorinhas) e por cinco principais grupos de granitoides arqueanos: **1-** Série TTG mais antiga representada pelo Tonalito Arco Verde; Trondhjemitó Mogno; Tonalito Caracol e Tonalito Mariazinha, todos oriundos da fusão de metabasaltos, previamente transformados em granada-anfibolitos (Leite 2001). **2-** Suíte Sanukitóide Rio Maria, constituídos por granitoides predominantemente granodioríticos com alto Mg, além de rochas intermediárias e máficas associadas; **3-** Suíte Guarantã e granitos similares, compostos por leucogranodioritos e leucomonzogranitos cálcico-alcálicos enriquecidos em Ba e Sr; **4-** Série TTG mais jovem definido pelo Trondhjemitó Água Fria; e **5-** leucogranitos potássicos de afinidade cálcio-alcálica, representados pelos granitos Xinguara e Mata Surrão. As diversas unidades mencionadas possuem idades arqueanas (2,97 a 2,86 Ga; Macambira & Lafon 1995; Pimentel & Machado 1994; Dall'Agnol *et al.* 1997; Leite *et al.* 1999; Leite 2001; Leite *et al.* 2004,

Dall’Agnol *et al.* 2006; Oliveira *et al.* 2009; Guimarães *et al.* 2010 e Almeida *et al.* 2010 e Almeida *et al.* 2011).

(a) *Greenstone Belts* (Supergrupo Andorinhas).

Ocorrem distribuídos em todo o domínio, como faixas orientadas nas direções E-W, NW-SE e NE-SW. Esta associação agrupa as rochas supracrustais dos grupos Babaçu, Lagoa Seca, Serra do Inajá, Gradaús, Sapucaia e Tucumã, incluídos dentro do Supergrupo Andorinhas (DOCEGEO 1988), formado na base pelo grupo Babaçu e na parte superior pelo grupo Lagoa Seca. Os *Greenstone Belts* ocorrem como estruturas sinformais estreitas e alongadas orientadas segundo o trend E-W, circundadas por rochas gnáissicas ou cortadas por granitoides arqueanos (Huhn *et al.* 1988; DOCEGEO 1988, Souza *et al.* 1990).

(b) Granitoides TTGs Antigos (2,98 a 2,92 Ga)

Os granitoides da série TTG antiga do Domínio Rio Maria são representados pelo Tonalito Arco Verde (Macambira & Lancelot 1996, Althoff 1996, Althoff *et al.* 1995, 2000), Trondhjemitó Mogno (Cordeiro & Saueressig 1980, Huhn *et al.* 1988 e DOCEGEO 1988), Tonalito Caracol (Leite 2001, Leite *et al.* 2004) e Tonalito Mariazinha (Guimarães 2009, Almeida *et al.* 2011). Esses granitoides apresentam características petrográficas e químicas semelhantes, no entanto, a diferenciação entre eles é baseada fundamentalmente nas suas idades de cristalização (Tabela 1).

O Tonalito Arco Verde mostrou idades U-Pb em zircão e Pb-Pb por evaporação em zircão de 2,98 Ga a 2,93 Ga (Macambira & Lafon 1995, Rolando & Macambira 2003), o Trondhjemitó Mogno possui idades ($2.96 \pm 0,02$ Ga, método Pb/Pb em zircão e por LA-MC-ICPMS em zircão, Almeida *et al.* 2011) enquanto que o Tonalito Caracol possui idade de 2,94 a 2,92 Ga (Pb-Pb evaporação em zircão, Leite *et al.* 2004), já o Tonalito Mariazinha em termos geocronológicos apresenta idades em torno de $2.92 \pm 0,02$ Ga Pb/Pb em zircão e LA-MC-ICPMS em zircão) sendo interpretadas como representativas da idade de cristalização da unidade (Almeida *et al.* 2011). Em virtude de serem alvo da presente pesquisa, algumas dessas rochas serão descritas em maior detalhe nos próximos tópicos.

(c) Suíte Sanukitóide tipo Granodiorito Rio Maria e rochas afins (~2.87 Ga)

Oliveira *et al.* (2009) denominaram de Suíte Sanukitóide as variedades petrográficas que constituem o Granodiorito Rio Maria, além daquelas de composição diorítica, anteriormente identificadas como Tonalito Parazônia (DOCEGEO 1988, Huhn *et al.* 1988, Santos & Pena Filho, 2000) e atualmente denominadas Quartzó-Diorito Parazônia

(Guimarães 2009). Estas são intrusivas nos *greenstone-belts* do Supergrupo Andorinhas, nos tonalitos Arco Verde, Mariazinha e Caracol, e no Trondhjemitó Mogno, enquanto que os leucogranitos potássicos de afinidade cálcio-alcálica, o Trondhjemitó Água Fria e aqueles de idade paleoproterozóica da Suíte Jamon são intrusivos na Suíte Sanukitóide Rio Maria (Oliveira *et al.* 2009).

(d) Leucogranodioritos-granitos (Suíte Garantã) (~2.87 Ga)

Os trabalhos realizados por Dias (2009) e Almeida *et al.* (2008) na área da Folha Marajoara, porção centro-sul do Domínio Rio Maria, permitiram o reconhecimento de três grupos de granitos arqueanos. A Suíte Garantã é formada por três corpos graníticos (Granito Garantã, Granodiorito Azulona e Granodiorito Trairão) intrusivos no Tonalito Arco Verde, todos similares entre si em termos geológicos, petrográficos e geoquímicos. São epidoto-biotita monzogranitos a granodioritos, com foliação mineral discreta e textura porfírica.

(e) Granitoides TTGs Jovens (~2.86 Ga)

O Trondhjemitó Água Fria representa a geração mais jovem de TTG descrito no Domínio Rio Maria (Tabela 1). Este é definido por Leite (2001), como um corpo alongado segundo NW-SE, aflorante na região nordeste à cidade de Xinguara, intrusivo na porção sul do grupo Sapucaia e no Tonalito Caracol a oeste, cortado pelo Granito Xinguara ao sul, e em contato com as rochas metamórficas da Formação Couto Magalhães a leste. É constituído predominantemente de trondhjemitos com subordinados granodioritos, foliados e com bandamento composicional regular a levemente ondulado. Contêm localmente enclaves do Tonalito Caracol, além de diques e veios leucograníticos correlacionáveis ao Granito Xinguara (Leite 2001). Segundo Leite (2001), estes granitoides comportam-se como constituintes das séries cálcio-alcálicas trondhjemiticas de baixo potássio (Lameyre e Bowden 1982) ou cálcio-alcálicas tonalítica-trondhjemiticas (Bowden *et al.* 1984).

(e) Leucogranitos potássicos de afinidade cálcio-alcálica (~2.86 Ga)

O Granito Xinguara, situado nos domínios do município de Xinguara, foi definido por Leite (1995) como um corpo macroscopicamente com grande homogeneidade textural e composicional, sendo formado essencialmente por leucomonzogranitos metaluminosos a ligeiramente peraluminosos com altos teores de sílica e álcalis e elevadas razões K_2O/Na_2O , baixos teores de MgO e moderados de CaO, havendo ainda, granitos pegmatóides e leucosienogranitos subordinados. Leite (2001) chama atenção ao grande número de enclaves existentes no Granito Xinguara, de natureza tonalítica-trondhjemitica, granodiorítica, quartzo

diorítica e quartzo monzodiorítica, correlacionáveis ao Tonalito Caracol e ao Granodiorito Rio Maria, assim como enclaves micáceos e metabásicos, estes correlacionáveis aos *greenstone belts*. O granito Mata Surrão de idade Pb-Pb em rocha total de 2.87 Ga (Gibbs *et al.* 1986), localizado na porção sul da região de Redenção, constitui-se uma assembléia heterogênea de fácies monzograníticas (Dall'Agnol *et al.* 2006). Tais unidades são recobertas pelos sedimentos do Grupo Rio Fresco (DOCEGEO 1988), representados por rochas sedimentares clásticas de natureza plataformal.

(f) Granitos Anorogênicos paleoproterozóicos tipo A (~1.88 Ga)

No Paleoproterozóico ocorreram intrusões de granitos anorogênicos tipo A com composição sienogranítica a monzogranítica (Silva *et al.* 1974, Hirata *et al.* 1982, DOCEGEO 1988, Gonzalez *et al.* 1988, Dall'Agnol *et al.* 1994,). Datações (U-Pb em zircão e Pb-Pb rocha total) apontam idades em torno de 1,88 Ga (Wirth *et al.* 1986; Machado *et al.* 1991; Barbosa *et al.* 1995). Essas rochas foram inclusas na Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1999b, 2006, Oliveira, 2006) que agrupa os granitos Musa (Gastal, 1987), Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1999a), Marajoara (Rocha Jr. 2004), Manda Saia (Leite 2001), Bannach (Almeida, 2005, Almeida *et al.* 2006) e Redenção (Oliveira, 2001, 2006, Oliveira *et al.* 2008), além de diques félsicos a máficos.

Tabela 1- Dados geocronológicos de unidades pertencentes ao TGGRM. Modificado de Almeida *et al.* (2011).

Unidades Estratigráficas	Rocha	Método	Material Analisado	Idade (Ma)
Leucogranitos Potássicos				
Granito Xinguara	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2865±1 (5)
Granito Mata Surrão	Leucogranito	Pb-Pb	Rocha Total	2872±10 (11)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2875±11 (3)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2881±2 (3)
Grupo Leucogranodiorito-granito				
Suíte Guarantã	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2868±5 (10)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2864±8 (13)
	Leucogranito	Pb-Pb	Zircão	2870±5 (9)
Séries TTGs Jovens				
Trondhjemitó Água Fria	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2864±21 (5)
Suíte Sanukitoide Rio Maria				
Granodiorito Rio Maria e rochas relacionadas	Granodiorito	U-Pb	Zircão	2874+9/-10 (2)
	Granodiorito	U-Pb	Zircão, Titanita	2872±5 (1)
	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2878±4 (7)
	Diorito	Pb-Pb	Zircão	2880±4 (3)
	Granodiorito	Pb-Pb	Zircão	2877±6 (3)
Tonalito Parazônia	Quartzo-diorito	Pb-Pb	Zircão	2876±2 (6)
	Tonalito	U-Pb	Titanita	2858 (1)
Séries TTGs Antigos				
Tonalito Caracol (Tonalito Mariazinha)	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948±5 (5)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2936±3 (5)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2924±2 (12) a
Trondhjemitó Mogno	Trondhjemitó	U-Pb	Titanita	2871±7 (1)
	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2857±13 (8)
	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2900±21 (8)
	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2962±8 (12)
	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2968±2 (12)
	Trondhjemitó	Pb-Pb	Zircão	2959±2 (12)
Tonalito Arco Verde	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2964±4 (4)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2948±7 (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2981±8 (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2988±5 (3)
	Tonalito	Pb-Pb	Zircão	2952±2 (12)
	Tonalito	U-Pb	Zircão	2948±4 (12)
Greenstone Belts				
Supergrupo Andorinhas	Rocha Metavulcânica félsica	U-Pb	Zircão	2904+29/-22 (2)
	Metagrauvaca	U-Pb	Zircão	2971±18 (2)
	Rocha Metavulcânica félsica	U-Pb	Zircão	2972±5 (1)

Fontes: (1) Pimentel & Machado (1994), (2) Macambira & Lancelot (1996), (3) Rolando & Macambira (2003), (4) Vasquez *et al.* (2008), (5) Leite *et al.* (2004), (6) Guimarães *et al.* 2010, (7) Dall'Agnol *et al.* (1999), (8) Macambira *et al.* (2000), (9) Althoff *et al.* (2000), (10) Almeida *et al.* (2008), (11) Lafon *et al.* (1994), (12) Almeida *et al.* (2011), (13) Almeida *et al.* (2013).

a → Essa rocha é correlacionada ao Tonalito Mariazinha.

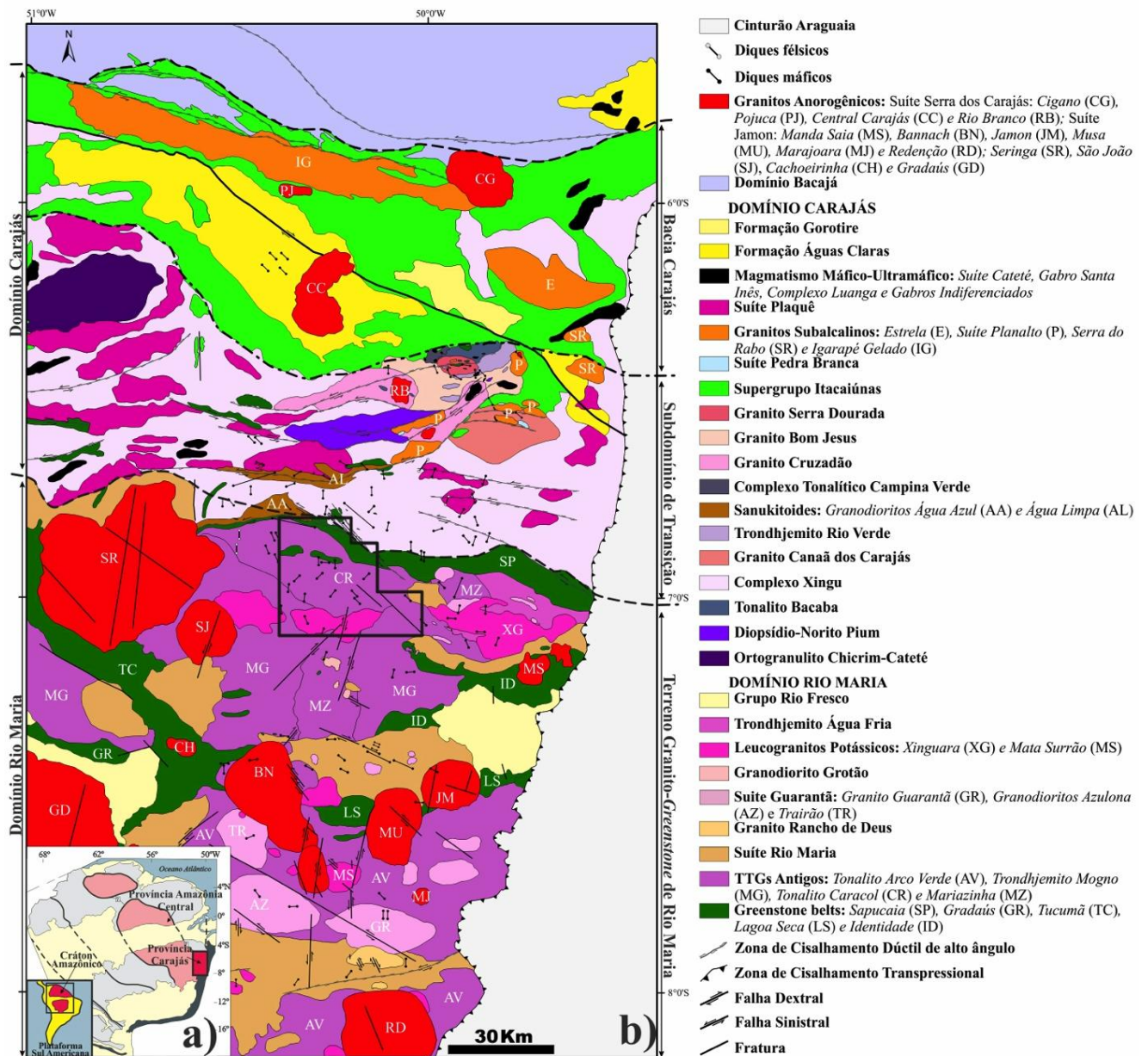


Figura 2 - Mapas geológicos regionais. A) Províncias geocronológicas do Cráton Amazônico (Tassinari & Macambira, 2004). B) Mapa geológico da Província Carajás. Modificado de Almeida *et al.* (2011), Feio *et al.* 2012 e Gabriel (2012).

1.3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DOS GRANITOIDES NO EXTREMO NORTE DO DOMÍNIO RIO MARIA.

A área proposta para o desenvolvimento deste trabalho está localizada a sul do *Greenstone Sapucaia*, no limite entre o Domínio Rio Maria e o Subdomínio de Transição (Dall’Agnol *et al.* 2006; Feio *et al.* 2012). Nesta região, os trabalhos de mapeamento tinham sido realizados apenas em escala regional (Vasquez *et al.* 2008, Almeida *et al.* 2011) o que possibilitou a extrapolação da área de ocorrência de rochas similares ao Tonalito Caracol de

idade 2,94 Ga (Leite *et al.* 2004) e Trondhjemito Mogno de idade 2,96 Ga (Almeida *et al.* 2011) (Figura 3).

Os granitoides tipo TTG, enquadrados informalmente por Leite & Dall’Agnol (1997) nos tonalito-trondhjemitos gnáissicos do Complexo Xingu, foram melhor definidos por (Leite 2001; Leite *et al.* 2004) e formalmente denominados de Tonalito Caracol. Esta unidade é definida por granitoides de composição predominantemente tonalítica e subordinadamente trondhjemítica e contem enclaves de microtonalitos e de rochas tipo *greenstone belts*. Segundo Leite (2001), em termos estruturais, o que mais se ressalta nestas rochas é uma foliação marcada por bandamento composicional, a qual localmente pode ser perturbada por dobras, bandas e zonas de cisalhamento. A foliação ocorre em duas direções predominantes, N-S com mergulhos subverticais, na porção noroeste, e NW-SE com mergulhos de 40° a subverticais quase sempre para SW, na porção sul.

A assinatura geoquímica destes granitoides é típica das séries trondhjemíticas arqueanas, com *trend* cálcio-alcálico, caráter metaluminoso a peraluminoso, e baixo potássio. Granitoides desta unidade forneceram idades de 2,94 a 2,92 Ga (Leite *et al.*, 2004), interpretadas como representativas de sucessivas intrusões, ou então, como idades mínimas de cristalização, muito próximas à idade de cristalização, em decorrência de possíveis efeitos de metamictização dos cristais analisados.

O Trondhjemito Mogno, conforme descrito por Cordeiro & Saueressig (1980), Huhn *et al.* 1988 e DOCEGEO (1988), consiste em um dos principais corpos relacionados ao magmatismo TTG do Domínio Rio Maria, de idade 2,87 Ga (U-Pb em titanita; Pimentel & Machado 1994) e posteriormente Almeida *et al.* 2011 obtiveram novas idades (Tabela 1) para essa unidade (2.96 Ga) que diferem das obtidas anteriormente. O Trondhjemito Mogno ocorre principalmente na porção norte do Domínio Rio Maria e é composto essencialmente por trondhjemitos, e subordinadamente tonalitos e granodioritos. Evidências de campo destacam seu caráter intrusivo nos *greenstone belts* e no Granodiorito Rio Maria, servindo de base para seu posicionamento estratigráfico, sendo mantido em trabalhos posteriores (Souza 1994, Althoff *et al.* 2000, Souza *et al.* 2001, Leite *et al.* 2004, Dall’Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008). Em termos estruturais são isotrópicos, ou apresentam foliação pouco penetrativa, ou ainda foliação bem definida pelo bandamento composicional (Neves & Vale 1999). Em termos litoquímicos representam rochas metaluminosas, transicionais entre as séries tonalítica e cálcio-alcálica, pobres em potássio, e com baixo grau de diferenciação (Santos & Pena Filho 2000). De acordo com o mapeamento realizado em escala regional pela CPRM foi identificado uma trama planar de direção NE-SW, discordante da estruturação geral para o

Trondhjemito Mogno, que levou Neves & Vale (1999) e Santos & Pena Filho (2000) a considerarem-no como embasamento do Terreno Granito-*Greenstone*.

Em trabalhos recentes (Guimarães *et al.* 2010, Almeida *et al.* 2011) alguns granitoides do Domínio Rio Maria foram reavaliados na porção centro-oeste da área de ocorrência do Trondhjemito Mogno, onde Guimarães (2009) individualizou uma associação TTG arqueana distinta, denominada Tonalito Mariazinha com foliação predominantemente alinhada segundo um *trend* N-S, divergente da estruturação local que apresenta direção NW-SE e E-W. Além disso, os novos dados geocronológicos para o Trondhjemito Mogno (2,96 Ga, Almeida *et al.* 2011) e Tonalito Mariazinha (2,92 Ga; Almeida *et al.* 2011) atestam que essas unidades não fazem parte da segunda geração de TTGs, pois possuem idades mais antigas que 2,87 Ga.

1.4 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Ao longo dos anos, diversos estudos têm sido feitos para a região compreendida entre os municípios de Xinguara e Água Azul do Norte, sendo os de maior detalhe realizados na região de Xinguara (Leite 2001, Leite *et al.* 2004). Entretanto, na porção sudeste do município de Água Azul do Norte, estes foram apenas em escala regional (Vasquez *et al.* 2008, Almeida *et al.* 2011) o que possibilitou a extrapolação da área de ocorrência do Tonalito Caracol e Trondhjemito Mogno para esta região.

Recentemente, atividades de campo vinculadas a trabalhos de conclusão de curso da Faculdade de Geologia do Campus de Marabá (Silva 2011, Sirqueira 2011), mostraram ocorrência expressiva de leucogranodioritos que até então não haviam sido mapeados, ou mesmo descritos, o que evidenciava a necessidade de melhor caracterização das rochas ali encontradas. Aliado a isto, estima-se ainda que a área de ocorrência do Trondhjemito Mogno tenha sido subestimada em relação àquela do Tonalito Caracol. Tendo em vista o caráter regional da maioria dos trabalhos realizados anteriormente para a área e a carência de informações sobre as rochas da série TTG e leucogranitos presentes na porção norte do Domínio Rio Maria, torna-se necessário um estudo detalhado sobre a geologia local, de forma a identificar as características petrográficas dos diversos litotipos, bem como suas assinaturas geoquímicas, contribuindo dessa forma para o avanço na compreensão do magmatismo arqueano da área, e conseqüentemente da evolução geológica e tectônica da PC. Para tal entendimento, tendo em vista a localização dessas rochas próximo ao limite entre o Domínio Rio Maria e o Subdomínio de Transição, torna-se ainda necessário, estudos comparativos entre os diversos litotipos identificados na área, com aqueles já descritos tanto no Domínio Rio Maria quanto no Domínio Carajás.

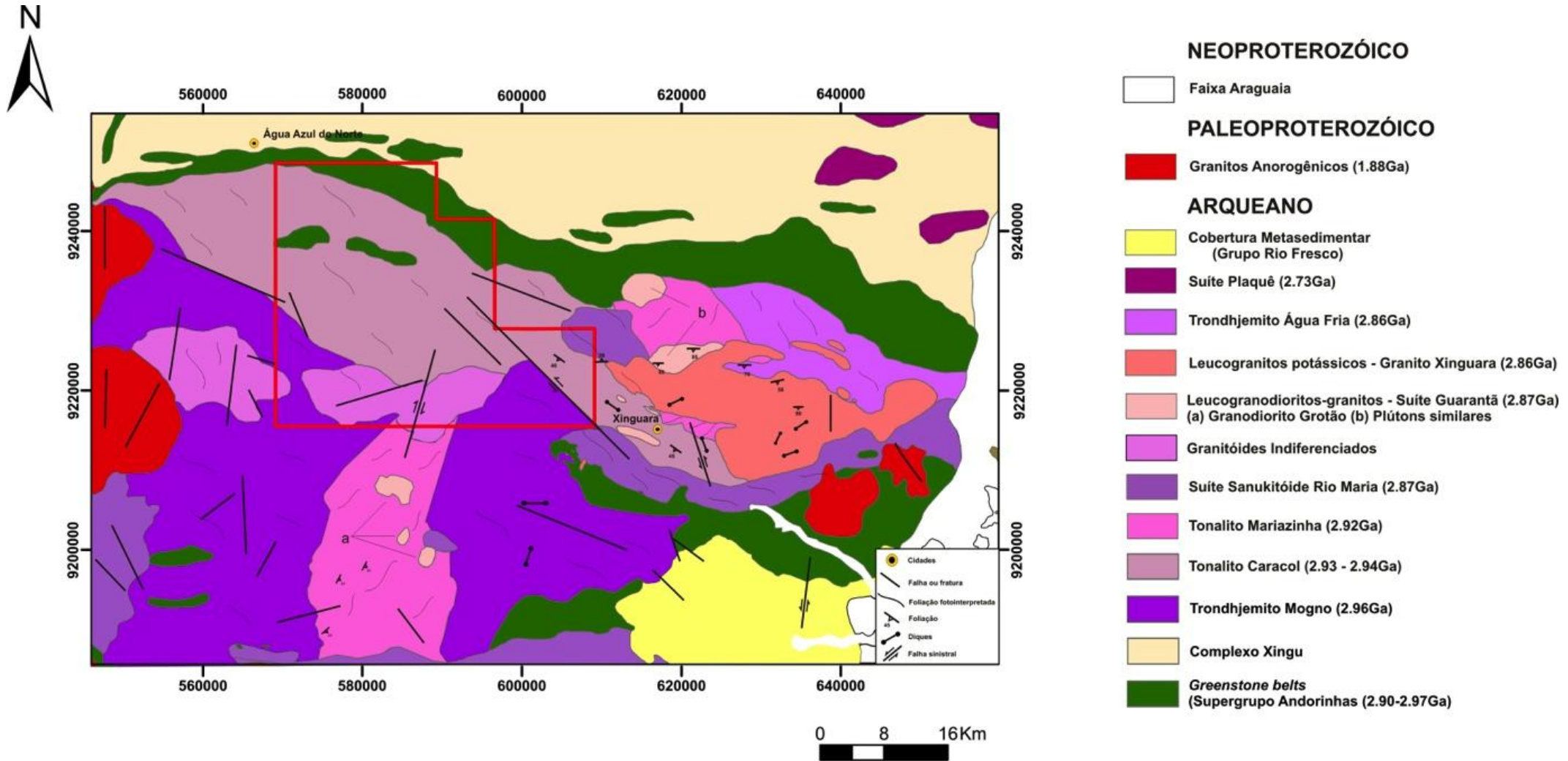


Figura 3 - Mapa geológico da porção norte do domínio Rio Maria mostrando a localização da área estudada (Almeida *et al.* 2011).

Este trabalho poderá contribuir para que alguns questionamentos específicos ligados à evolução da Província Carajás possam ser respondidos: As rochas que ocorrem na área são equivalentes em termos de assinatura geoquímica com algumas daquelas presentes no Domínio Rio Maria ou constituem associações magmáticas distintas, similares às descritas no Bloco Carajás? Tanto o Domínio Rio Maria de idade mesoarqueana, quanto Carajás, que constitui um domínio tectônico neoarqueano mais jovem, evoluíram de maneira independente? Qual a real localização do limite entre estes dois terrenos?

1.5 - OBJETIVOS

Levando-se em conta o estágio atual do conhecimento das rochas granitoides da porção norte do Domínio Rio Maria, o objetivo geral deste trabalho visa refinar os estudos petrográficos dos principais litotipos já individualizados, bem como caracterizar geoquimicamente os principais tipos granitoides, a fim de definir suas séries magmáticas e ambientes de formação, permitindo assim, melhor definição dos limites das unidades mapeadas. Para tanto, deverão ser atingidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Classificar os principais litotipos mapeados, definindo suas variedades petrográficas, além de discutir as transformações tardi a pós-magmáticas e feições deformacionais presentes nas mesmas;
- b) Identificar relações de contato entre as unidades e o arranjo espacial das suas estruturas planares e lineares, redefinindo, caso necessário, as unidades anteriormente individualizadas;
- c) Identificar as principais séries e/ou tipologias magmáticas destes mesmos granitoides, além de buscar compreensão preliminar da sua evolução petrogenética;
- d) Comparar as características geológicas, petrográficas e geoquímicas das rochas estudadas com as que ocorrem no Domínio Rio Maria e Subdomínio de Transição;
- e) Propor uma coluna estratigráfica para as unidades arqueanas com base nos dados de campo, estruturais e petrográficos adquiridos;
- f) Contribuir para o entendimento da evolução geológica do Domínio Rio Maria e da Província Carajás;
- g) Elaborar mapa geológico, em ambiente SIG, na escala 1:45.000 das principais unidades estratigráficas individualizadas e integrar com mapas geológicos de áreas adjacentes.

1.6 - MATERIAIS E MÉTODOS

1.6.1 Pesquisa Bibliográfica

As etapas iniciais desse trabalho envolveram levantamento bibliográfico referente à geologia da região com foco nos granitoides arqueanos descritas no Domínio Rio Maria e Carajás, além de análises de uma série de livros e artigos com temas relacionados à geologia, petrologia, gênese e evolução de rochas granitoides, e temas relacionados à geologia e tectônica de terrenos arqueanos.

1.6.2 Mapeamento Geológico

Foram analisados trabalhos de cartografia geológica, e realizado mapeamento na escala 1:45.000 da área, acompanhado de coleta sistemática de amostras para estudos petrográficos e geoquímicos (Figura 4). Previamente, foram feitos exames analógico e digital de imagens de satélite (Landsat 7 e TM), mosaicos de radar (SRTM) e de cartas aeroradiométricas e aeromagnetométricas. Na etapa de campo foram descritos e examinados cerca de 160 afloramentos os quais enfatizaram seus aspectos litológicos e estruturais, bem como suas relações de contato. Para a localização dos pontos amostrados foi utilizado aparelho GPS (Global Position System) com precisão de aproximadamente 3 m.

1.6.3 Petrografia

Nesta etapa foram realizadas análises macroscópicas das amostras e estudos em um microscópio petrográfico para fazer o reconhecimento e descrição sistemática dos diversos minerais presentes nas rochas estudadas (Kerr 1959, Deer *et al.* 1992), além de caracterizar as diversas texturas relacionadas à formação/cristalização de rochas magmáticas, bem como aquelas de origem tectônica e de processos tardi a pós-magmáticos (Bard 1980; Mackenzie *et al.* 1982; Hibbard, 1995; Passchier & Trouw 1996). Foram realizadas 59 análises modais de amostras representativas das diferentes variedades identificadas de granitoides, sendo determinada por método estatístico (Chayes 1956, Hutchison 1974) com o auxílio de contador automático de pontos da marca *Swift* (≤ 2.000 pontos por amostra). A classificação das amostras dos diferentes litotipos mapeados foi determinada conforme estabelecido pela IUGS (Streckeisen 1976, Le Maitre 2002).

1.6.4 Geoquímica

Foram realizadas análises químicas de elementos maiores, menores e traços em 33 amostras representativas do diversos granitoides estudados, sendo que 15 dessas análises foram destinadas ao Epidoto-Biotita Tonalito, 6 à variedade Biotita Trondhjemitico, 10 ao

Biotita Granodiorito e 2 às rochas leucogranodioríticas (Tabelas 3 e 4). As amostras a serem analisadas foram trituradas, pulverizadas, homogeneizadas e quarteadas na Oficina de Preparação de Amostras (OPA), pertencente ao Instituto de Geociências da UFPA. As análises foram realizadas no Laboratório ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTDA, sendo utilizados os pacotes analíticos 4A e 4B. Os métodos empregados e os limites de detecção podem ser encontrados no site do laboratório (www.acmelab.com). 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) foram analisados por ICP-ES, enquanto que os elementos traço (Rb, Ba, Sr, Zr, Nb, Y, U, Th, Ga, Hf, Ta, Zn, Cu, Ni), incluindo os 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). Os resultados obtidos foram tratados em diagramas específicos para rochas plutônicas, tal como o diagrama de terras raras, afim de definir a assinatura geoquímica destas rochas, além de discernir alguns aspectos petrogenéticos e realizar comparações entre as diferentes séries magmáticas. Os elementos terras raras foram utilizados para a discussão de processos petrogenéticos tais como fusão parcial de fontes crustais e/ou mantélicas, além de cristalização fracionada e/ou misturas de magmas. Os dados obtidos permitiram discriminar e classificar com maior segurança as rochas, bem como compará-los com aqueles obtidos em outros granitoides arqueanos. Para tanto, foram utilizados diagramas de variação do tipo Harker (1965), assim como outros diagramas binários e ainda aqueles que utilizam padrões de elementos terras raras que têm como finalidade analisar as fases minerais envolvidas na cristalização e definir a assinatura geoquímica. A caracterização geoquímica destas rochas teve como base os princípios gerais discutidos em Rollinson (1993) e se baseou na avaliação dos seguintes elementos:

- I. Elementos maiores e menores: diagramas de variação e definição das principais características geoquímicas (La Roche *et al.* 1980, Shand 1950, Martin 1987, Martin *et al.* 1997, Martin 1999); avaliação preliminar das séries magmáticas e tipologia.
- II. Elementos traço: tipologia e assinatura dos granitos (Chappell 1996, Barros *et al.* 1997, Dall’Agnol *et al.* 1997, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001); avaliação de possíveis processos magmáticos; comportamento dos elementos litófilos durante o processo de diferenciação (Rb, Sr, Ba; cf. Dall’Agnol *et al.* 1999c).
- III. Elementos Terras Raras: possíveis fases fracionadas durante a geração do magma ou de seu processo de cristalização (Dall’Agnol *et al.* 1999a).

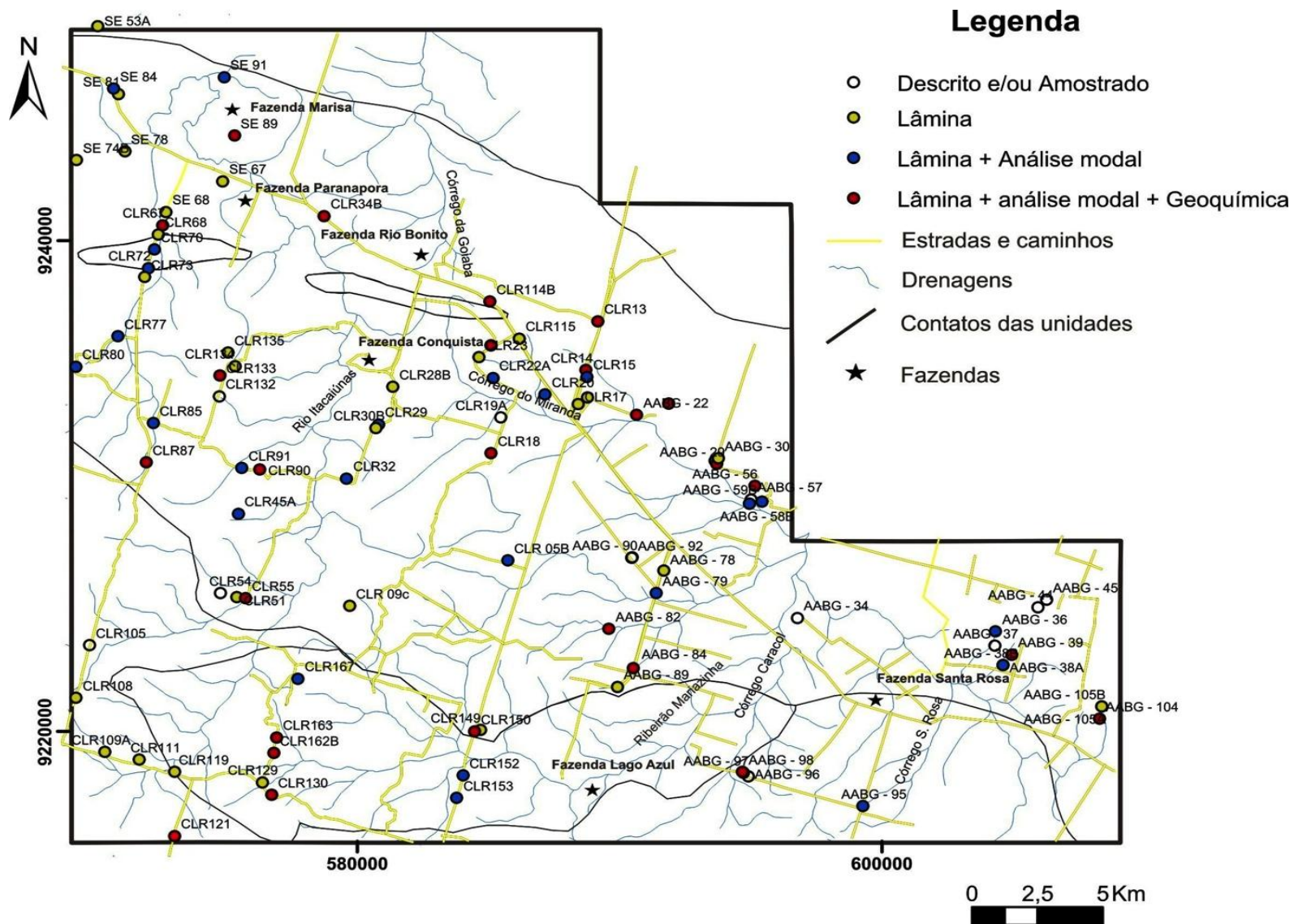


Figura 4 - Mapa de pontos da área estudada

CAPITULO 2

GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS ASSOCIAÇÕES TTGs e LEUCOGRANODIORITOS DO EXTREMO NORTE DO DOMINIO RIO MARIA - PROVÍNCIA CARAJÁS

Chrystophe Ronaib ^{1,2}(chrys_geo@hotmail.com), Davis Carvalho de Oliveira ^{1,2}(davis@ufpa.br).

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

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

RESUMO

O mapeamento geológico em escala de detalhe da porção SE de Água Azul do Norte, possibilitou a individualização de associações TTGs e leucogranodioritos. Os granitoides TTGs foram distinguidos em duas principais unidades, uma predominantemente tonalítica-trondhjemítica para a qual foi mantida a designação de Tonalito Caracol, e outra, trondhjemítica descrito anteriormente como Trondhjemito Mogno. O comportamento geoquímico destas rochas denota que estes fazem parte do grupo de alto Al_2O_3 , geralmente com alto conteúdo de Na_2O e baixo de K_2O , exibindo variações no conteúdo de ETR pesados. Diferem pelos conteúdos mais elevados de Al_2O_3 , Sr, e das razões La/Yb e Sr/Y do Biotita Trondhjemito, quando comparados com o Epidoto-Biotita Tonalito. Os leucogranodioritos foram divididos em dois grupos: Biotita Granodiorito e Leucogranodiorito, sendo que o primeiro ocorre de maneira expressiva na porção oeste da área, enquanto que o último ocorre como dois pequenos corpos na porção centro-sul da área. Ambos são intrusivos nas unidades TTGs e distinguem-se pelo grau de saussuritização do plagioclásio, que é mais intenso nas variedades leucogranodioríticas, e pelo grau de deformação que é mais intenso no Biotita Granodiorito. Este último exibe enriquecimento relativo em Al_2O_3 , CaO e Na_2O , marcante anomalia positiva de Eu e padrão fortemente fracionado de ETRP, assim como ligeiro empobrecimento em K_2O em relação ao Leucogranodiorito. Já os conteúdos de Fe_2O_3 , MgO, TiO_2 , CaO e P_2O_5 os distinguem claramente das variedades TTGs, pelo significativo enriquecimento dos referidos óxidos nestas últimas, além do empobrecimento em K_2O e Na_2O nas mesmas. Relações de campo e os dados geoquímicos mostram que as rochas granodioríticas não podem ser produto de diferenciação dos TTG, sendo considerada neste trabalho como unidades distintas.

Palavras chave: Domínio Rio Maria, TTGs, Leucogranodioritos, Carajás, Arqueano, Água Azul do Norte.

ABSTRACT

The geological mapping in detail scale of the southeast portion of Água Azul do Norte allowed the individualization of TTGs associations and leucogranodiorites. The TTG granitoids were distinguished into two main units, a dominant tonalitic-trondhjemitic which retained the designation of Tonalite Caracol, and another, trondhjemitic, previously described as Trondhjemitite Mogno. The geochemical behavior of these rocks indicates that these are part of the high Al_2O_3 group, usually with high content of Na_2O and low of K_2O , displaying variations in the LREE/HREE ratios. They differ by higher content of Al_2O_3 , Sr, and La/Yb and Sr/Y ratios found in the Biotite Trondhjemitite compared with Epidote-Biotite tonalite. The leucogranodiorites were divided in two groups: Biotite Granodiorite and Leucogranodiorite the first occurs more significantly in the western portion of the area, while the latter forms two small bodies in the central-southern area. Both are intrusive in the TTG units and distinguished by the degree of saussuritization of plagioclase, which is more intense in leucogranodiorite varieties, and by the degree of deformation that is more intense in the Biotite Granodiorite. The latter exhibits a relative enrichment in Al_2O_3 , CaO and Na_2O , a marked positive Eu anomaly and highly fractionated HREE as well as a slight depletion in K_2O compared to the Leucogranodiorite. The contents of Fe_2O_3 , MgO, TiO_2 , CaO and P_2O_5 , clearly distinguish the varieties of TTG suites, with significant enrichment of these oxides in the latter, as well as the depletion of K_2O and Na_2O . Field relationships and geochemical data show that the granodioritic rocks can not be the product of differentiation of TTG, considered in this work as independent units.

Keywords: Rio Maria Domain, TTGs, Leucogranodiorites, Carajás, Archean, Água Azul do Norte

INTRODUÇÃO

Os granitoides arqueanos são formados por três grandes associações: suítes TTGs, *sanukitoides* e leucogranitos. As associações TTGs são os principais componentes de terrenos arqueanos e correspondem ao embasamento gnáissico da crosta continental arqueana preservada. Estes apresentam vastas ocorrências na porção sul da Província Carajas (Hunh *et al.* 1988, Santos & Pena Filho 2000, Dall’Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008, Almeida *et al.* 2011), onde possuem normalmente dimensões batolíticas, porém ocorrem também na forma de *stocks* e plutons (Leite 2001, Guimarães *et al.* 2010). Suítes de granodioritos-granitos também possuem distribuição expressiva, representando cerca de 20% das rochas expostas nos crátons arqueanos (Condie 1993). Estas ocorrem como plútons sin- a pós-

tectônicos, comumente intrusivos em *greenstone belts* e granitoides TTG (Sylvester 1994, Leite *et al.* 2004). Recentemente foi introduzido na literatura um grupo especial de granitoides arqueanos cuja composição é dominada por granitos e granodioritos que apresentam características geoquímicas similares aquelas das típicas suítes TTGs, sendo denominado por Champion & Smithies (2003) como “TTGs transicionais”. Essas rochas são caracterizadas pelo forte fracionamento de elementos terras raras pesados e ausência de anomalia negativa de Európio, porém, quando comparadas com os TTG *stricto sensu*, exibem alto conteúdo de LILE e forte enriquecimento em K₂O e Rb com a diferenciação magmática. Esses granitoides são comuns em muitos terrenos arqueanos e sua colocação se deu tanto contemporaneamente (Por exemplo, suítes granito-granodiorito da Província Wyoming; Frost *et al.* 2006) como posteriormente (granitos potássicos do Craton Dharwar, Jayananda *et al.* 2006; granitos do Craton Pilbara, Champion & Smithies 2007; e leucogranitoides do Complexo Kianta do Cráton Fennoscandiano, Mikkola *et al.* 2011) em relação aquelas das típicas suítes TTGs. Rochas representativas desse tipo de magmatismo têm sido identificadas tanto no Domínio Rio Maria quanto no Subdomínio de Transição da Província Carajás (Almeida *et al.* 2010, Santos & Oliveira 2012).

Estudos realizados recentemente no extremo norte do Domínio Rio Maria mostraram que, além de granitoides TTGs, existe uma ocorrência expressiva de leucogranodioritos na área, e que até então não haviam sido mapeados, ou mesmo descritos, o que mostrou a necessidade de uma melhor caracterização das rochas ali encontradas. O presente trabalho visa à caracterização geológica, petrográfica e geoquímica destes granitoides, bem como a comparação dessas rochas com aquelas afins já estudadas tanto no Domínio Rio Maria quanto no Subdomínio de Transição, contribuindo dessa forma para um melhor entendimento da evolução geológica na região.

GEOLOGIA REGIONAL

A porção SE do município de Água Azul do Norte está inserida no extremo norte do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM, Figura 1b), próximo ao limite sul do Domínio de Transição, que fora definido informalmente por Dall’Agnol *et al.* (1997) como sendo o segmento entre o TGGRM e a Bacia Carajás. Vasquez *et al.* (2008), ao revisarem a geologia do estado do Pará, dividiram a Província Carajás em domínio Carajás e Rio Maria, levando Feio (2011) a redefinir o Domínio de Transição como Subdomínio de Transição, correspondente à porção sul do Domínio Carajás. Estes terrenos são limitados a leste pelas sequências supracrustais do Cinturão Araguaia e a oeste pelas rochas vulcânicas do

Supergrupo Uatumã. O conhecimento sobre a geologia e evolução do Domínio Rio Maria e Subdomínio de Transição, principalmente as áreas que abrangem os municípios de Bannach/Rio Maria e Água Azul do Norte/Canaã dos Carajás, vem sendo aprimorado nesta última década com estudos mais detalhados sobre a petrologia, geocronologia, metalogênese e geologia estrutural das diversas unidades aflorantes nestas regiões, contribuindo dessa forma para o melhor entendimento dos aspectos evolutivos.

O Domínio Rio Maria é formado por: 1) *greenstone belts* do Supergrupo Andorinhas, com idades que variam de 2,98 a 2,90 Ga (Macambira, 1992; Pimentel & Machado, 1994). 2) TTG mais antigos (2,98 a 2,92 Ga), representados pelo Tonalito Arco Verde, Tonalito Caracol, Trondhjemitó Mogno e Tonalito Mariazinha (Huhn *et al.* 1988, Souza 1994, Macambira & Lafon, 1995, Rolando & Macambira, 2003, Leite *et al.* 2004, Almeida *et al.* 2008, 2011). 3) sanukitoides que abrangem o Granodiorito Rio Maria e rochas associadas de idade 2,87 Ga (Medeiros & Dall'Agnol, 1988, Souza 1994, Althoff *et al.* 2000, Leite 2001; Oliveira *et al.* 2010); 4) Suíte Guarantã que engloba leucogranodioritos-granitos formados pelas intrusões do Granito Guarantã e dos Granodioritos Azulona e Trairão de 2,87 Ga (Dias, 2009, Almeida *et al.* 2010); 5) leucogranitos de afinidade cálcio-alcálica com idade 2,86 Ga, tipo Mata Surrão (Duarte 1992) e Xinguara (Leite *et al.* 1999, 2004); 6) TTGs mais jovens (2,86 Ga) representados pelo Trondhjemitó Água Fria (Leite *et al.* 2004); 7) rochas sedimentares do Grupo Rio Fresco; 8) granitos anorogênicos da Suíte Jamon de 1,88 Ga (Dall'Agnol *et al.* 2005; Oliveira 2006; Almeida *et al.* 2006) e diques félsicos a máficos (Silva Jr. *et al.* 1999) contemporâneos aos granitos anorogênicos.

O Subdomínio de Transição é formado por: 1) metavulcânicas máficas afins dos *greenstone belts*; 2) rochas de alto grau metamórfico do Ortogranulito Chicrim-Cateté (Vasquez *et al.* 2008) e rochas gabroicas da série charnockítica do Diopsídio-Norito Pium (Ricci & Carvalho 2006; Santos *et al.* 2012) que segundo Santos *et al.* (2012) apresentam idade Pb-Pb em zircão de 2,75 Ga, considerada como de cristalização do Diopsídio-Norito Pium, fazendo com que sua origem metamórfica seja atualmente um assunto controverso; 3) granitoides mesoarqueanos de idades entre 2,96 e 2,83 Ga que por ordem de formação são representados pelo Tonalito Bacaba (Moreto *et al.* 2011), Granito Canaã dos Carajás, Trondhjemitó Rio Verde, Complexo Tonalítico Campina Verde e Granitos Cruzadão, Bom Jesus, Serra Dourada (Feio *et al.* 2012), Boa Sorte (Rodrigues *et al.* 2010), Tonalito São Carlos e Trondhjemitó Colorado (Silva 2013), além dos ortognaisses e granitoides do Complexo Xingu de 2,97 a 2,85 Ga (Silva *et al.* 1974, Machado *et al.* 1991, Avelar *et al.* 1999); 4) *sanukitoides* mesoarqueanos de 2,88 Ga que incluem os granodioritos Água Azul e

Água Limpa (Gabriel 2012); 5) granitoides neoarqueanos de 2,75 a 2,73 Ga das suítes Plaquê (Araújo *et al.* 1988, Avelar *et al.* 1999), Planalto (Huhn *et al.* 1999 Gomes 2003, Oliveira *et al.* 2010, Feio *et al.* 2012) e Pedra Branca (Sardinha *et al.* 2004, Gomes & Dall'Agnol 2007, Feio *et al.* 2012), além de granitoides da série charnockítica (Gabriel *et al.* 2010, Feio *et al.* 2012); 6) complexos máfico-ultramáficos da Suíte Cateté (Macambira & Vale 1997, Lafon *et al.* 2000); 7) granito paleoproterozoico Rio Branco (Dall'Agnol *et al.* 2005, Santos 2010) e enxames de diques de máficos.

CARACTERIZAÇÃO DOS GRANITOIDES ARQUEANOS DA PORÇÃO NORTE DO DOMINIO RIO MARIA

ASPECTOS GERAIS

O mapeamento geológico realizado na região sudeste de Água Azul do Norte permitiu a individualização de associações tipo TTGs e unidades leucogranodioríticas. Os dados obtidos durante mapeamento geológico como relações de campo e dados estruturais, assim como aqueles geradas a partir dos estudos petrográficos e geoquímicos, permitiram a elaboração do mapa geológico da área (Figura 1c).

As associações TTGs foram separadas em duas grandes unidades: uma predominantemente tonalítica-trondhjemitica, que ocorre sob a forma de blocos *in situ* na porção nordeste da área de trabalho (Figura 2a), configurando faixa alongada de direção NW-SE para a qual foi mantida a designação de Tonalito Caracol, e outra, trondhjemitica que ocorre na porção sul da área e foi descrita anteriormente como Trondhjemitito Mogno. Estas associações foram separadas inicialmente com base nas proporções de minerais máficos, além de diferenças nas concentrações de epidoto magmático, no grau de saussuritização do plagioclásio e níveis de recristalização que afetam principalmente os cristais de plagioclásio e quartzo nesta rocha. Além disso, tais unidades caracterizam-se pelo desenvolvimento de estruturação planar de direção NW-SE a E-W, sendo que nas rochas do Tonalito Caracol a foliação é penetrativa (Figura 2b) definida principalmente pelo bandamento composicional (Figura 2c), podendo ser localmente perturbada por dobras e bandas de cisalhamento onde desenvolvem feições miloníticas próximo às zonas de contato, com ocorrência frequente de fenoclastos euédricos de plagioclásio imersos em matriz fina (Figura 2d) e *enclaves* máficos. As rochas formadoras do Trondhjemitito Mogno apresentam-se moderadamente deformadas, com desenvolvimento de fraca foliação (Figura 2e,f), marcada pela orientação de cristais de biotita, quartzo e feldspatos, sendo raras aquelas definidas pelo bandamento composicional. Esta associação é frequentemente cortada por veios de leucogranitos e vênulas de epidoto.

Os leucogranodioritos identificados na área foram divididos em dois grandes grupos: Biotita Granodiorito e Leucogranodiorito. O primeiro ocorre de maneira expressiva na porção oeste da área, onde aflora na forma de extensos lajedos (Figura 3a), enquanto que o último é bem mais restrito e ocorre como dois pequenos *stocks* isolados na porção centro-sul da área (Figura 1c). Ambos são formados por rochas hololeucocráticas de textura equigranular média (Figura 3b) a fina (Figura 3c) e ocorrências de tipos porfiríticos com presença de fenocristais euédricos de plagioclásio próximo às zonas de contato com as demais unidades (Figura 3d). As principais diferenças texturais entre tais unidades dizem respeito ao grau de saussuritização do plagioclásio e ao nível de deformação que é mais intenso nas variedades leucogranodioríticas (Figura 5d). Além disso, estas rochas caracterizam-se por apresentar uma foliação ausente à incipiente de orientação preferencial WNW-ESE, concordantes com as principais estruturas registradas no Domínio Rio Maria, enquanto que nas rochas do Biotita Granodiorito a foliação é penetrativa e exibe pronunciada foliação milonítica evidenciada pela presença de cristais ocelares de feldspatos bordejados pela biotita, sobretudo próximo às zonas de cisalhamento. Tectonitos tipo S são observados em milonitos que apresentam fraca foliação, ressaltados principalmente pelo achatamento dos cristais de quartzo (Figura 3e). As relações de campo mostram que o Biotita Granodiorito é intrusivo nos granitoides TTGs da área (Figura 3f), indicando que seu período de formação é posterior àquele definido para os granitoides tipo TTG de Rio Maria (2,92- 2,96 Ga; Almeida *et al.* 2011).

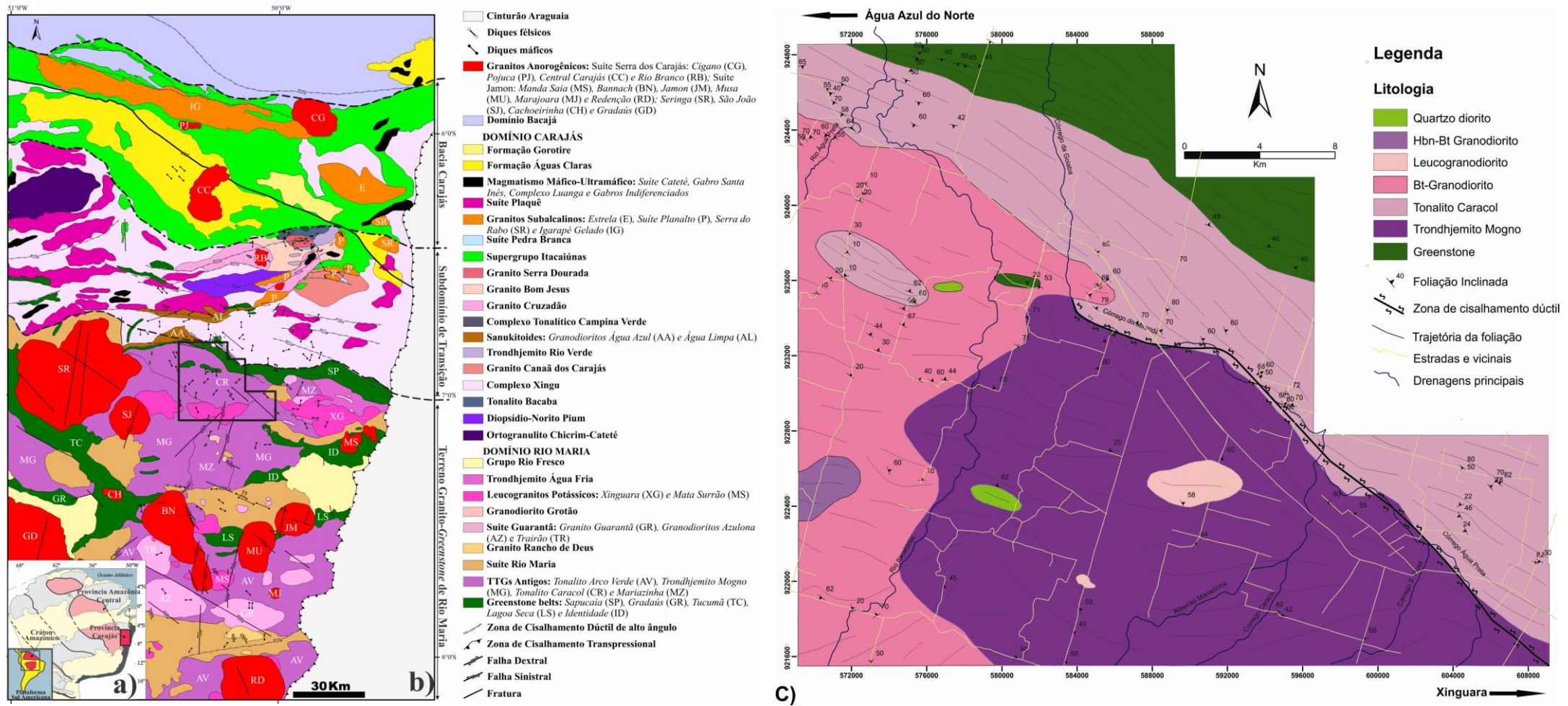


Figura 1— a) Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico. modificado de Tassinari & Macambira (1999); b) Mapa geológico da Província Carajás. modificado de Vasquez *et al.* 2008, Almeida et al. 2011, Feio *et al.* 2012 e Gabriel (2012); c) Mapa geológico da porção sudeste de Água Azul do Norte.

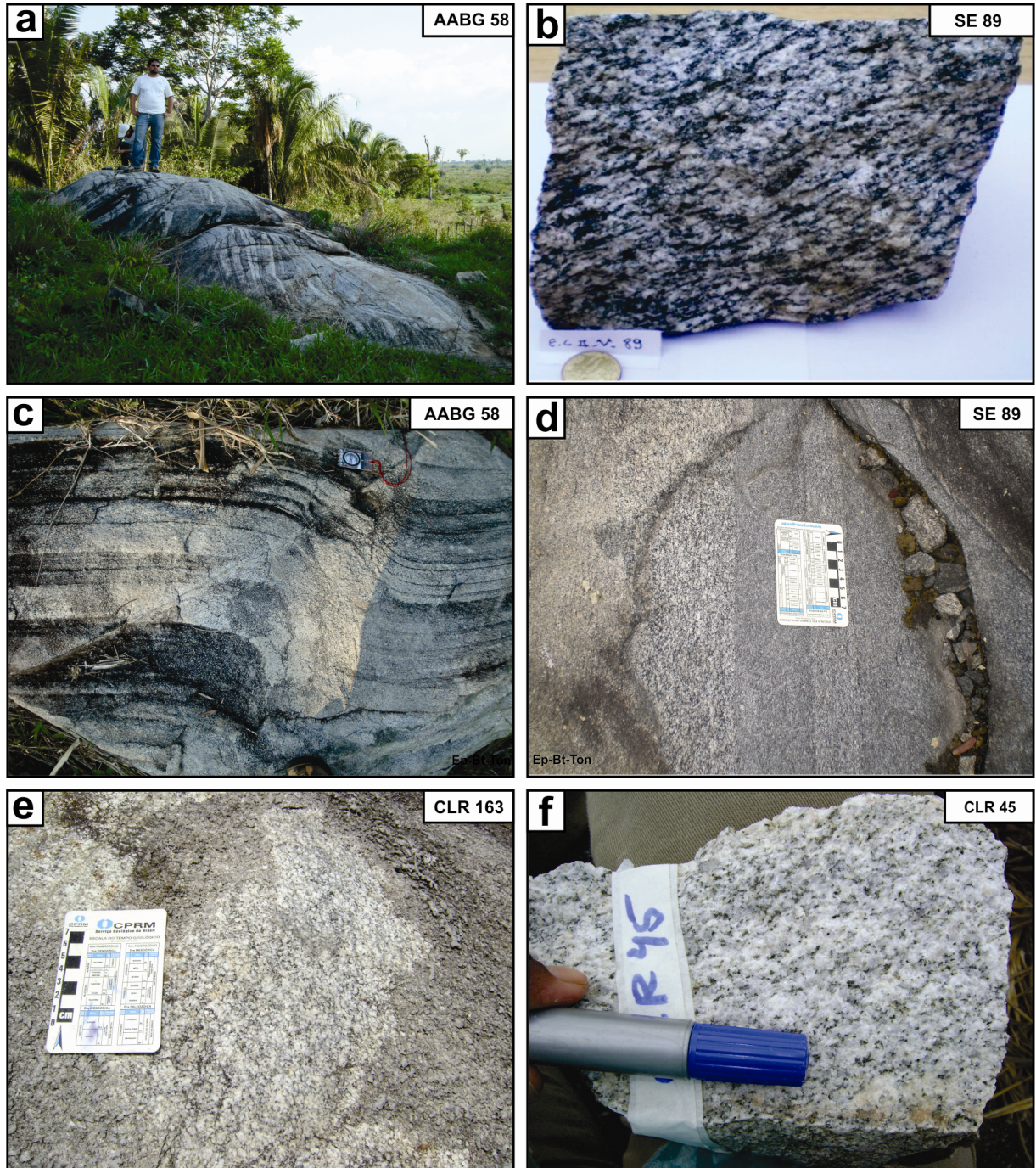


Figura 2 - Forma de ocorrência e aspectos texturais das associações TTGs: (a) modo de ocorrência do Tonalito Caracol sob forma de blocos *in situ*. Notar bandamento composicional, feição marcante nessa unidade; (b) aspecto textural macroscópico, mostrando foliação bem definida pela orientação dos minerais máficos; (c) bandamento composicional suavemente dobrado; (d); bandamento composicional marcado pela alternância de minerais máficos e félsicos; (e) e (f) aspecto textural macroscópico da unidade Trondhjemito Mogno, mostrando rochas de coloração cinza esbranquiçada com tons esverdeados devido principalmente aos cristais de plagioclásio saussuritizado.

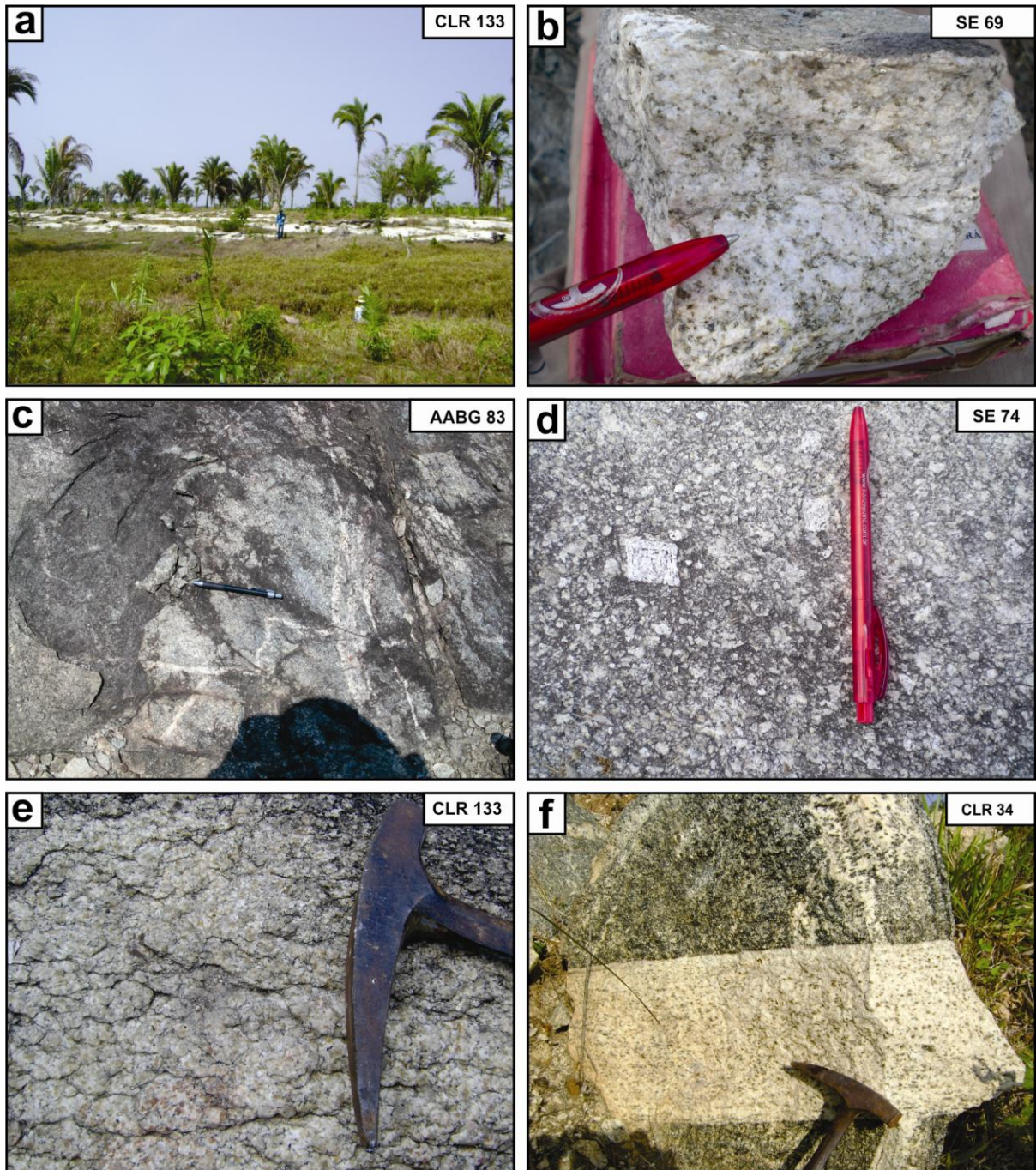


Figura 3 - Forma de ocorrência e aspectos texturais dos Leucogranodioritos estudados: (a) modo de ocorrência em forma de extensos lajedos; (b) aspecto textural macroscópico da unidade biotita granodiorito, mostrando rochas de coloração esbranquiçada; (c) aspecto textural macroscópico da unidade leucogranodiorito; (d) fenocristais euédricos de plagioclásio em matriz equigranular média; (e) tectonitos do tipo *S*, marcados pelo achatamento dos cristais de quartzo e plagioclásio; (f) contato intrusivo entre o Biotita Granodiorito com as associações TTGs.

PETROGRAFIA

Composições modais e classificação dos TTGs

O estudo petrográfico foi realizado a partir da caracterização e análise modal de 41 lâminas delgadas, que plotadas no diagrama Q-(A+P)-M para rochas ígneas plutônicas (Streckeisen 1976, Le Maitre 2002, Figura 4), mostram homogeneidade composicional incidindo essencialmente no campo destinado aos tonalitos e trondhjemitos. Estes foram associados à duas associações TTGs principais: Tonalito Caracol (Leite 2001, Leite *et al.* 2004) e Trondhjemito Mogno (Huhn *et al.* 1988, Almeida *et al.* 2011). O Tonalito Caracol é descrito neste trabalho como uma associação predominantemente tonalítica com trondhjemitos subordinados, enquanto que o Trondhjemito Mogno corresponde a uma associação essencialmente trondhjemítica, com tonalitos e granodioritos restritos. Apesar das rochas que constituem estas associações serem bastante homogêneas em termos texturais e mineralógicos, alguns critérios foram utilizados para distinguir tais granitoides TTGs como a diferença nos teores modais dos minerais máficos, a ocorrência de epidoto magmático como mineral varietal ou acessório, assim como as diferenças no grau de saussuritização do plagioclásio.

A classificação petrográfica foi definida principalmente com base nos teores de minerais máficos (Le Maitre 2002), uma vez que rochas tonalíticas apresentam conteúdo modal de minerais máficos superior a 10% (média de 15,9% para as rochas estudadas), enquanto que os trondhjemitos da área possuem valores significativamente inferiores com média de 6,1% (Figura 4). Estas associações TTGs são compostas essencialmente por plagioclásio com conteúdos sempre acima de 45% e quartzo (entre 25,2 e 39,7%), tendo a biotita como principal mineral ferromagnésiano com teores modais variando de 2,8 a 17,0% e de máficos entre 4,0 e 20%, enquanto o álcali-feldspato é um mero constituinte acessório. Além disso, possui conteúdos modais expressivos de epidoto magmático (Tabela 1), principalmente nas associações predominantemente tonalíticas, sendo porém, encontrado ocasionalmente como acessório nas unidades trondhjemíticas. Além do epidoto magmático, os minerais acessórios são representados por opacos, apatita, titanita e allanita e as principais fases secundárias são clorita, epidoto, sericita e muscovita.

Composições modais e classificação das unidades Leucogranodioríticas

O Biotita Granodiorito e o Leucogranodiorito apresentam características petrográficas ligeiramente distintas, com pequenas variações nas concentrações de seus minerais (Tabela 2). Para o estudo petrográfico, foram realizadas análises modais de 17 amostras do Biotita Granodiorito e 4 amostras do Leucogranodiorito. No diagrama Q-(A+P)-M (Figura 4, conforme Le Maitre 2002) todas as amostras incidem no campo dos granodioritos. As duas unidades contêm mais de 48% de plagioclásio, 38 a 26% de quartzo, e o conteúdo de álcali-feldspato pode chegar até 15%. A biotita ocorre como única fase varietal nestas rochas, com valor modal médio de 3,5% para o Biotita Granodiorito e 1,7% para a variedade leucogranodiorítica. Já os conteúdos modais de minerais máficos são sempre inferiores a 10% (Figura 4 e Tabela 2), com média de 4,9% para a variedade mais enriquecida em biotita e 2,0% para os leucogranodioritos. Os minerais acessórios são representados por muscovita, opacos, epidoto, apatita, titanita e allanita, sendo as principais fases secundárias representadas pela clorita, epidoto e sericita-muscovita.

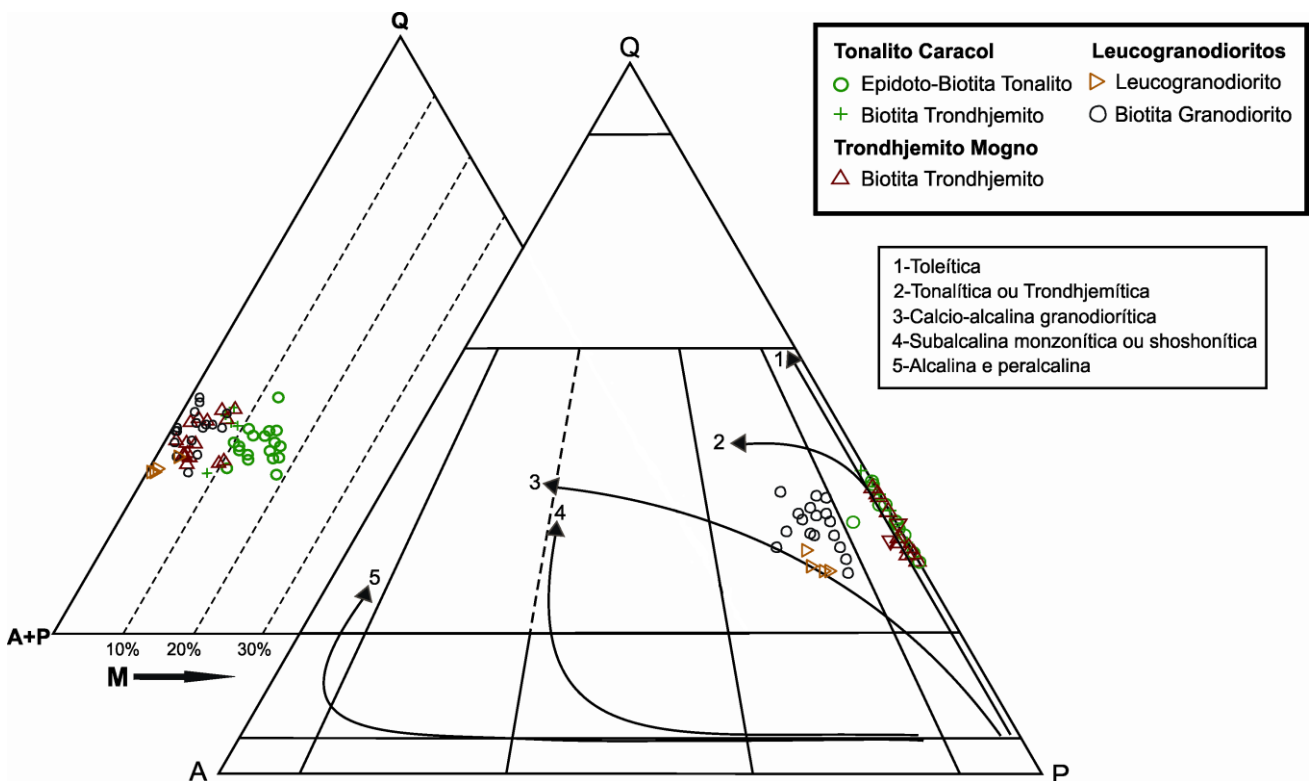


Figura 4 - Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Le Maitre 2002) para as associações TTGs e Leucogranodioritos da área estudada.

Tabela 1- Composições modais das associações TTGs estudadas.

		TONALITO CARACOL																				TRONDHJEMITO MOGNO														
LITOLOGIA	EPIDOTO-BIOTITA TONALITO±TRONDHJEMITO																												BIOTITA TRONDHJEMITO							
	Amostras	CLR 13 ₍₁₎	CLR 14 ₍₁₎	CLR 20	CLR 28	CLR 34B	CLR 114	SE 84 ₍₂₎	SE 89 ₍₂₎	SE 91	AABG 22 ₍₃₎	AABG 23 ₍₃₎	AABG 24B	AABG 28	AABG 29	AABG 36 ₍₃₎	AABG 38A	AABG 39A	AABG 56	AABG 58A	AABG 59B ₍₃₎	CLR 18	CLR 45	CLR 91 ₍₁₎	CLR 152	CLR 162	CLR 163	AABG 95	AABG 98							
Minerais	Quartzo	30,7	28,6	30,0	32,9	33,8	27,2	31,0	28,4	26,6	26,5	32,5	39,7	29,0	33,3	28,6	27,3	30,8	35,3	25,2	32,3	36,9	37,0	35,1	28,9	32,1	29,1	35,3	33,1							
	Plagioclásio	51,3	55,7	50,9	47,8	52,6	52,9	49,1	51,3	59,1	62,5	51,0	45,1	51,8	48,5	52,3	53,5	49,9	45,3	58,4	52,1	55,2	53,1	58,8	64,3	62,5	63,1	57,8	55,1							
	K-Feldspato	4,0	x	-	-	0,1	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,2	-	x	0,4	-	-	-	-	-	-							
	Biotita	10,8	13,3	15,6	14,8	11,0	17,6	15,4	17,0	12,1	8,4	13,7	12,2	13,8	15,4	16,3	15,9	16,7	14,9	11,9	13,6	5,4	7,4	4,2	4,7	4,2	3,9	2,8	5,2							
	Muscovita	0,1	-	-	-	0,4	x	0,6	0,4	0,6	-	-	-	-	-	-	0,5	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
	Epidoto (p)	1,5	0,8	1,3	2,2	1,3	0,8	1,2	1,6	0,8	1,3	1,4	0,3	1,4	0,8	1,3	1,3	0,8	0,7	1,0	0,4	0,8	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,8	1,8							
	Epidoto (s)	1,3	1,2	1,7	1,8	1,7	1,5	1,5	0,3	0,4	1,2	0,9	1,8	3,2	1,5	0,8	0,5	1,2	2,0	1,8	1,2	1,3	1,2	1,1	0,9	0,8	2,1	2,3	3,3							
	Clorita	-	-	-	-	-	0,1	-	x	-	-	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	-	x	0,5	-	0,2	-	0,2	0,4	-	0,7	0,2	1,5							
	Allanita	0,1	-	0,2	x	0,1	-	0,2	0,2	0,2	x	x	-	0,1	x	x	0,1	-	x	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	0,1	x							
	Titanita	0,3	0,2	x	0,4	0,1	-	0,1	0,5	0,1	0,1	0,2	0,7	0,6	0,3	0,4	0,8	0,5	0,8	0,6	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	x	0,7	-							
	Carbonatos	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x							
	Opacos	-	0,2	0,1	0,1	x	-	-	-	-	-	0,2	-	x	-	-	-	0,2	-	-	x	x	-	-	0,2	0,1	0,2	-	-							
	Zircão	x	x	-	-	x	-	x	0,2	0,1	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	x	-							
	Apatita	-	x	-	x	x	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
	Félsicos (F)	87,3	85,5	82,6	82,5	88,2	81,6	81,6	80,0	86,1	90,2	84,4	86,6	84,0	83,3	81,7	81,3	81,9	82,7	85,6	85,6	93,4	91,7	95,0	94,1	95,4	94,9	95,4	91,5							
	Máficos (M)	12,7	14,5	17,4	17,5	11,8	18,4	18,4	20,0	13,9	9,8	15,6	13,4	16,0	16,7	18,3	18,7	18,1	17,3	14,4	14,4	6,6	8,3	5,0	5,9	4,6	5,1	4,6	8,5							
	A+P	55,3	55,7	50,9	47,8	52,7	52,9	49,1	51,3	59,1	62,5	51,0	45,1	51,8	48,5	52,3	53,5	49,9	45,4	58,6	52,1	55,2	53,5	58,8	64,3	62,5	63,1	57,8	55,1							
	Q+A	34,7	28,6	30,0	32,9	33,9	27,2	31,0	28,4	26,6	26,5	32,5	39,7	29,0	33,3	28,6	27,3	30,8	35,4	25,4	32,3	36,9	37,4	35,1	28,9	32,1	29,7	35,3	33,1							
	A 100%																																			
	Quartzo	35,0	33,5	36,0	40,0	39,0	33,0	38,0	35,5	31,0	29,5	38,5	46,0	34,5	40,0	35,0	33,5	38,0	42,6	29,4	38,0	39,5	40,5	37,0	28,0	32,0	31,0	37,0	36,0							
	Plagioclásio	60,0	66,5	64,0	60,0	60,0	67,0	62,0	64,5	69,0	70,5	61,5	54,0	65,5	60,0	65,0	66,5	62,0	57,3	70,4	62,0	60,5	59,5	63,0	72,0	68,0	69,0	63,0	64,0							
	K-feldspato	5,0	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,2	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-							
	Total de pontos	2.000	1.900	1.800	1.698	1.695	1.200	2.000	2.000	2.000	1.913	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.9600	1.600	1.400	1.200	1.200							

Fonte dos dados: (1) Este trabalho; (2) Sousa, 2009 e (3) Sirqueira, 2010.

- = Mineral ausente na rocha x= Mineral presente na rocha em quantidades inferiores a 0,1%

Tabela 2- Composições modais dos Leucogranodioritos estudados.

LITOLOGIA	BIOTITA GRANODIORITO																	LEUCOGRANODIORITO			
	Amostras	CLR	CLR	CLR	CLR	CLR	CLR	CLR	CLR	CLR	CLR	CLR	CLR	CLR	SE	SE	SE	SE	AABG	AABG	AABG
Minerais	24A ₍₁₎	34A	67 ₍₁₎	29 ₍₁₎	72	77	80	85	87	101	121	130	133	67 ₍₂₎	68 ₍₂₎	74B	78	79 ₍₃₎	82 ₍₃₎	83	150
Quartzo	33,0	36,1	38,8	33,7	37,9	35,4	28,6	34,2	34,3	32,0	25,9	29,5	33,5	33,2	30,6	34,4	32,9	26,7	26,0	26,2	28,3
Plagioclásio	54,4	50,6	46,7	48,1	52,2	47,1	57,0	50,3	51,4	51,1	56,0	54,7	52,8	50,4	49,0	50,8	56,7	57,0	58,9	59,8	54,6
K-Feldspato	10,6	9,1	11,5	10,3	6,5	7,0	8,2	8,7	7,4	10,5	8,4	8,0	7,5	13,5	15,6	10,7	8,3	14,2	12,8	12,3	12,2
Biotita	0,8	1,6	1,2	7,1	1,5	6,4	4,0	4,5	5,6	4,6	6,0	6,3	4,2	0,3	2,1	2,9	0,6	1,5	1,4	1,2	2,7
Muscovita	0,2	1,2	0,4	0,3	0,8	1,5	0,3	x	-	-	0,2	0,3	1,1	1,4	0,5	1,2	-	-	-	-	-
Epidoto (p)	0,4	x	0,2	0,1	0,3	0,6	0,5	0,6	-	0,3	0,4	0,2	x	0,2	0,9	-	0,4	-	x	-	0,2
Epidoto (s)	0,6	0,7	0,8	0,2	0,8	1,0	0,9	1,2	1,0	1,1	1,0	0,6	0,8	0,3	0,7	-	0,6	0,6	0,7	0,5	0,9
Clorita	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	0,7
Allanita	-	x	-	-	-	0,2	-	0,2	-	0,1	0,7	-	x	-	0,2	-	0,1	-	-	-	x
Titanita	-	0,3	0,2	-	-	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,6	0,2	0,1	-	-	-	-	-	-	-	x
Opacos	-	0,4	x	0,2	x	0,6	0,2	-	0,1	x	0,8	-	-	0,7	0,4	x	0,2	x	0,2	-	0,4
Zircão	-	-	-	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apatita	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Félsicos (F)	98,6	96,5	97,8	92,3	97,4	90,5	94,7	94,4	94,1	94,7	91,3	92,8	94,6	97,4	95,9	95,9	98,5	98,5	98,4	98,8	9,0
Máficos (M)	1,4	3,5	2,2	7,7	2,6	9,5	5,3	5,6	5,9	5,3	9,7	7,2	5,4	2,6	4,1	4,1	1,5	1,5	1,6	1,2	4,0
A+P	65,6	60,4	59,0	58,6	59,5	55,1	66,1	60,2	59,8	62,7	65,4	63,3	61,1	64,2	65,3	61,4	65,6	71,8	72,4	72,6	67,7
Q+A	43,6	45,2	50,3	44,0	44,4	42,4	36,8	42,9	41,7	42,5	34,3	37,5	41,0	46,7	46,2	45,1	41,2	40,9	38,8	38,5	40,5
A 100%																					
Quartzo	33,4	37,4	39,6	36,5	38,9	39,1	30,2	36,2	36,4	33,7	28,3	31,7	35,4	34,0	31,9	35,8	33,4	27,0	26,0	26,5	29,4
Plagioclásio	55,9	53,2	48,7	52,3	54,4	53,2	58,6	54,6	55,8	55,3	62,5	59,7	56,7	52,2	51,9	53,1	58,2	59,0	61,0	61,1	57,9
K-feldspato	10,7	9,4	11,7	11,1	6,6	7,7	11,2	9,2	7,8	11,0	9,2	8,6	7,9	13,8	16,2	11,1	8,4	14,0	13,0	12,4	12,7
Total de pontos	1.900	2.000	1.850	2.000	1.600	1.875	1.600	2.000	1.650	2.000	2.000	1.825	1.600	1.500	1.500	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.650

Fonte dos dados: (1) Este trabalho; (2) Sousa, 2009 e (3) Sirqueira, 2010

- = Mineral ausente na rocha x= Mineral presente na rocha em quantidades inferiores a 0,1%

Aspectos texturais

As fortes similaridades texturais e mineralógicas evidenciadas tanto nas associações TTGs como nos Leucogranodioritos estudados, permitem fazer uma descrição conjunta dos principais aspectos petrográficos destes granitoides. Tais unidades caracterizam-se por apresentar textura heterogranular média a grossa, e eventualmente porfirítica com porfiroclastos de feldspatos imersos em matriz fina nas variedades mais intensamente deformadas (recristalizadas; Figuras 5a, e 6a,c). Apresentam-se com anisotropia moderadamente desenvolvida definida pela orientação das micas e dos agregados policristalinos de quartzo, plagioclásio e mais raramente, microclínio. A seguir serão apresentados os principais aspectos texturais dos diferentes minerais identificados nestes granitoides, ressaltando, quando necessário, as particularidades de cada variedade petrográfica descrita acima.

Plagioclásio (Plg₁) - formam em geral cristais hipidiomórficos, e xenomórficos quando recristalizados. São bastante desenvolvidos, de granulação fina a média (0,5 a 3 mm), de contornos regulares e contatos retilíneos com a biotita e interlobados entre si e com cristais de quartzo. Suas características ópticas apontam para composição oligoclásio cálcico (An₂₂₋₂₆) e ocorrem geralmente como porfiroclastos, que apresentam predominantemente macla da albita com ocorrência subordinada da albita-periclina e albita-*Carlsbad* (Figura 6b). Por vezes seus núcleos apresentam-se discreta a fortemente saussuritizados (descalcificados) produzindo paragênese secundária composta por sericita + muscovita ± epidoto, que tende a mascarar as feições originais do plagioclásio, por vezes impossibilitando a determinação de sua composição. O Tonalito Caracol geralmente apresenta cristais de plagioclásio mais deformados, límpidos e menos alterados (Figura 6a), quando comparados com o alto grau de alteração mostrado pelos cristais de plagioclásio do Trondhjemito Mogno (Figura 6c,d). Ocasionalmente estas rochas apresentam plagioclásio com aspecto poiquilítico com frequentes inclusões de cristais de biotita e quartzo. Já nas variedades granodioríticas é comum a ocorrência de intercrescimento mirmequítico entre plagioclásio sódico e quartzo (Figura 5b). Os cristais finos (0,3 a 2,0 mm) de **Plagioclásio (Plg₂)** são neo-formados, xenomorfos, com contatos regulares e retos com junção tríplice entre si e com quartzo, ocorrendo ainda bordejando ou inclusos nos cristais porfiríticos, compondo uma matriz granoblástica fina juntamente com quartzo e álcali feldspato.

Quartzo - foi individualizado em dois tipos: os cristais de **Qtz₁** são inequigranulares de granulação fina à média (0,5 a 2,0 mm), hipidiomórficos de contornos regulares e contatos

serrilhados a retos entre si e com os outros indivíduos. Quando deformados mostram-se alongados com forte extinção ondulante; os cristais de **Qtz₂** ocorrem como agregados policristalinos finos que podem preencher fraturas, contornar pórfiros e ainda ocorre, como inclusões em plagioclásio e álcali-feldspato, com forma arredondada e fraca extinção ondulante (Figura 5c e 6c).

Álcali-feldspato – ocorre sobretudo nas variedades granodioríticas, geralmente como cristais hipidiomórficos e com dimensões entre 0,2-2,0mm. É do tipo microclina com maclamento xadrez difuso e ausência de feições de exsolução (pertitas). Por outro lado, feições poiquilíticas são bastante comuns, onde os cristais maiores de álcali-feldspato englobam aqueles menores de quartzo e plagioclásio (Figura 5c). Já nas rochas TTGs formam finos cristais (0,3 a 0,6mm) que compõem junto com plagioclásio e quartzo uma matriz granoblástica fina. Em virtude da forte recristalização dos minerais possui ocorrência restrita, comumente entre fraturas ou contatos intergrãos.

Biotita - é o mineral ferromagnésiano mais abundante nos diversos granitoide estudados. Ocorre como cristais idiomórficos nos TTGs, onde atingem dimensões entre 1 e 2 mm, enquanto que aqueles das variedades granodioríticas são finos (~0,6 mm) e mostram sinais de cloritização. Está associada a epidoto, apatita, titanita e zircão, compondo as faixas máficas destes granitoides. Ocorre ainda orientadas bordejando os porfiroclastos de plagioclásio juntamente com os demais minerais acessórios, principalmente nas variedades mais deformadas (Figura 6d), e também como inclusões nos feldspatos.

Epidoto – chega a ocorrer como mineral varietal nas variedades tonalíticas, onde seus cristais podem estar presentes de duas maneiras: (i) como cristais idiomórficos, prismáticos de contatos retos com a biotita, sugerindo origem magmática (**Ep₁**), como mostra a figura 6b,e; (ii) como agregados de cristais xenomórficos, mantendo cristais de alanita, o que sugere origem precoce para este último (**Ep₂**).

Minerais acessórios – foram identificados os seguintes minerais: (i) muscovita primária que ocorre como cristais inequigranulares médios a finos, hipidiomórficos, de contornos regulares e contatos retos com a biotita (Figura 6f), o que pode sugerir origem magmática para a mesma; (ii) Alanita forma normalmente cristais idiomórficos, em geral prismáticos de dimensões milimétricas, metamíticos e envolvidos por manto de epidoto; (iv) Apatita, Zircão, Titanita e Opacos ocorrem como finos cristais idiomórficos, de dimensões submilimétricas, acompanhando frequentemente a biotita, estando por vezes inclusos nesta.

Minerais secundários – estes minerais encontram-se sempre associados à desestabilização do plagioclásio cálcico, gerando finos cristais de muscovita e epidoto (Ep3), assim como às lamelas de biotita, originando cristais diminutos de clorita e epidoto (Ep3).

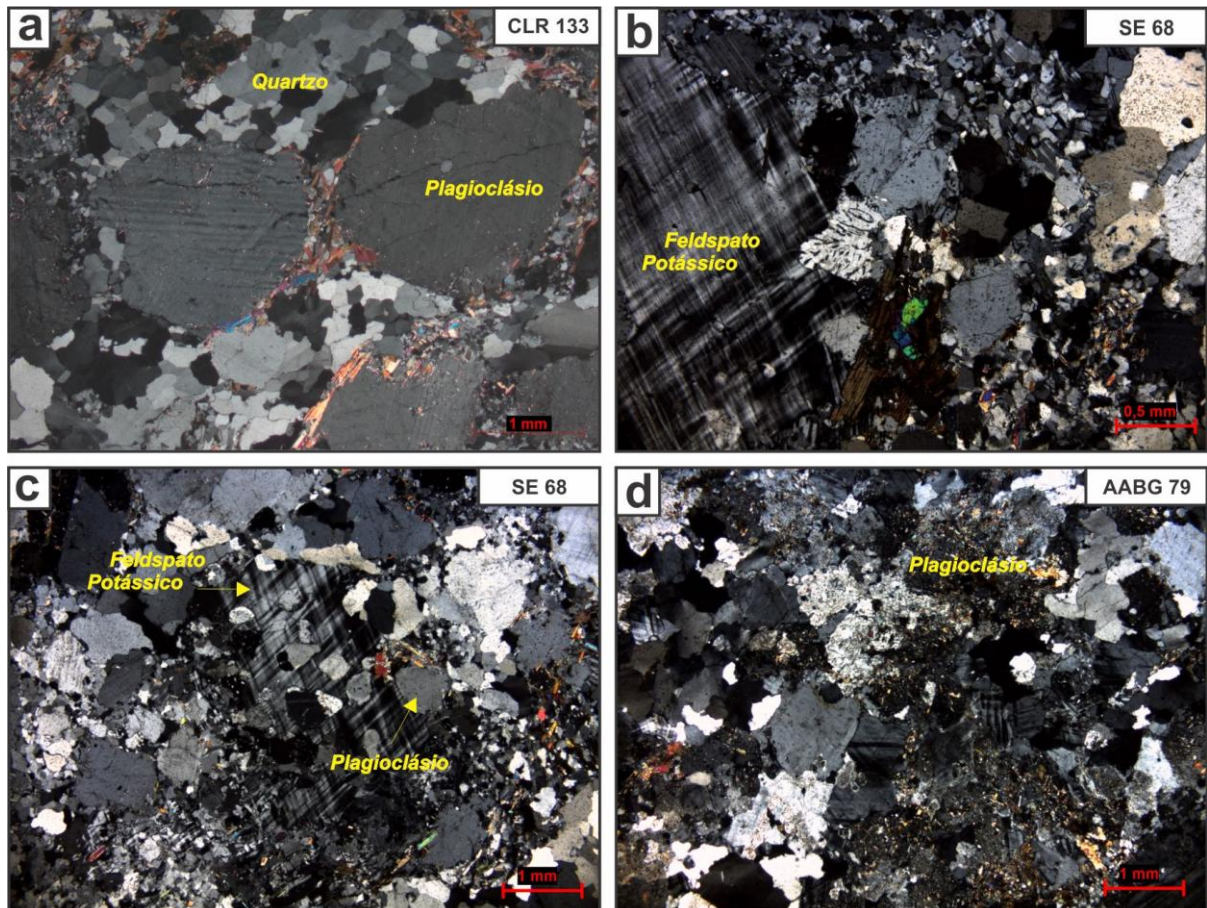


Figura 5- Principais aspectos texturais dos Leucogranodioritos. a) Aspecto microscópico geral da unidade Biotita Granodiorito, mostrando textura heterogranular hipidiomórfica, definido por fenocristais de plagioclásio bordejado por cristais orientados de biotita e quartzo recristalizado; b) cristal de plagioclásio com mirmequita bulbosa invadindo cristal de microclínio; c) cristal de K-feldspato com inclusões de quartzo evidenciando textura poiquiloblástica; d) aspecto microscópico do Leucogranodiorito, mostrando textura granular hipidiomórfica com mineralogia principal composta por plagioclásio sericitizado, quartzo, K-feldspato

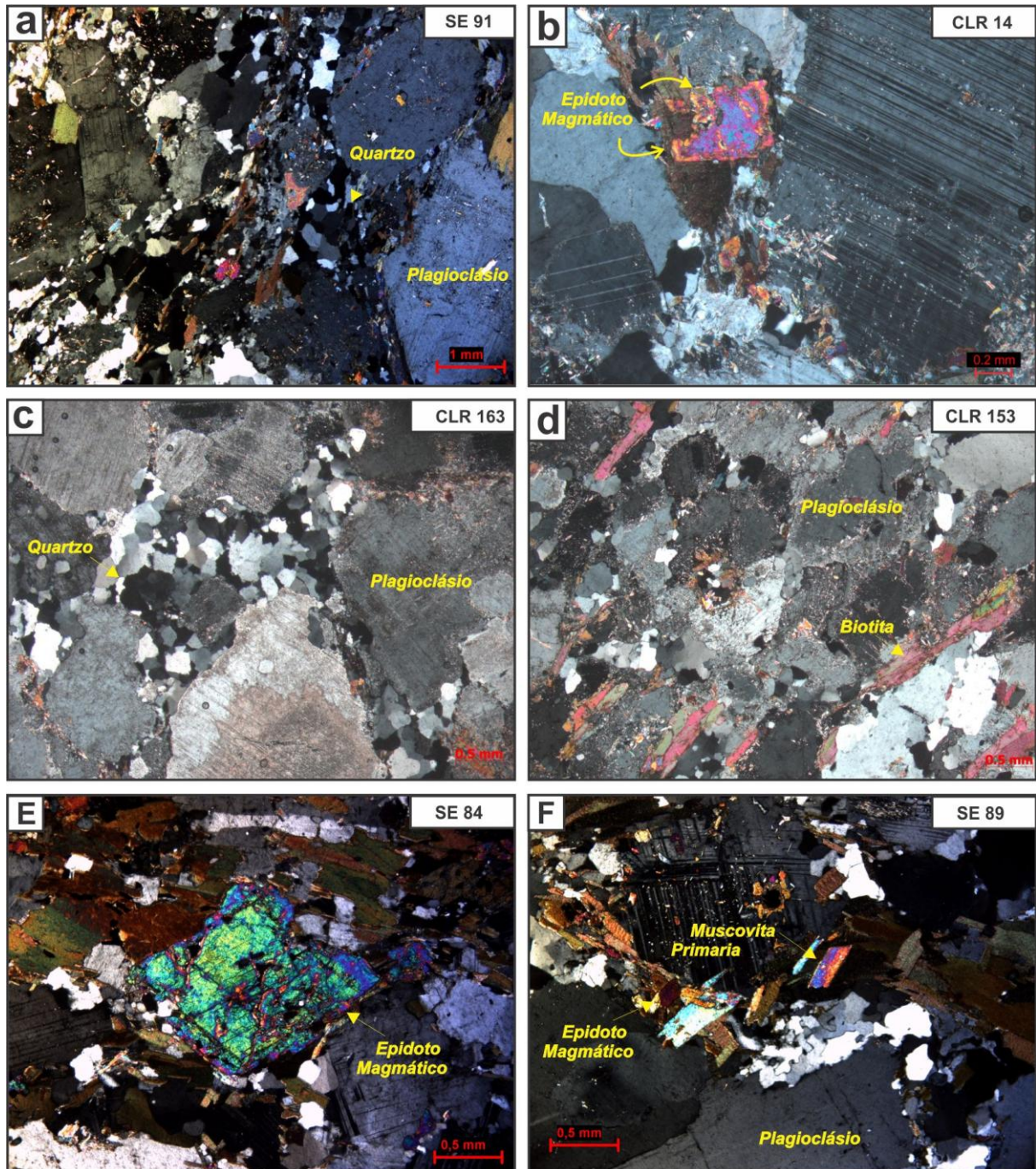


Figura 6- Principais aspectos texturais dos TTGs. a) Aspecto textural microscópico do Tonalito Caracol, mostrando fenocristais de plagioclásio, circundado por cristais de biotita e quartzo recrystalizado, observados a nicóis cruzados; b) fenocristal de plagioclásio apresentando macla albitica; c) aspecto textural microscópico do Trondhjemite Mogno, mostrando fenocristais de plagioclásio sericitizado com recrystalização acentuada dos cristais de quartzo que bordejam os cristais de plagioclásio; d) cristais de plagioclásio sericitizados e sua anisotropia definido pela orientação das micas; e) cristal idiomórfico de epidoto magmático e f) muscovita magmática em contato reto com biotita.

Ordem de cristalização

A sequência de cristalização dos minerais presentes nas associações TTGs e leucogranodioritos foi deduzida a partir das análises texturais das assembléias mineralógicas, suas relações de contato e inclusões, assim como nos efeitos dos processos pós-magmáticos e deformacionais atuantes no estágio *subsolidus* (Figura 7). A cristalização dessas rochas é iniciada com a formação dos minerais acessórios primários, como zircão, apatita e opacos. Estes são idiomórficos e acham-se inclusos em feldspatos e biotita, comportando-se como fases precoces no líquido. Allanita e Ep_1 são as próximas fases acessórias a cristalizar, pois além da forma idiomórfica, mostram-se inclusos na biotita, indicando serem formados anteriormente à mica. Seguindo a ordem de cristalização tem-se a geração Ep_2 que ocorre mantendo os cristais de allanita. Os cristais de Ep_1 e Ep_2 ocorrem predominantemente nas rochas tonalíticas, sendo raros ou ausentes nos demais granitoides. Relações de inclusões indicam que os minerais opacos cristalizam ligeiramente após a apatita e anterior à allanita.

Os minerais félsicos essenciais parecem iniciar a sua formação logo após os acessórios mais precoces. Formaram-se sucessivamente Plg_1 , Qtz_1 e feldspato potássico. A ausência de inclusões no Plg_1 , bem como seu zoneamento normal, evidencia o estágio precoce de cristalização deste mineral. Nota-se ainda que o Plg_1 e Qtz_1 possuem cristais bem desenvolvidos e com formas hipidiomórficas, o que evidencia a existência de uma porcentagem expressiva de líquido no magma. Nos granodioritos, o Qtz_1 parece iniciar sua cristalização um pouco antes ou em parte simultaneamente, no mesmo intervalo de temperatura do feldspato potássico, onde este último por vezes engloba finos cristais de Plg_2 e Qtz_2 em suas bordas.

Biotita e muscovita cristalizaram após o Plg_1 , Qtz_1 e microclina, uma vez que é comum a biotita ocorrer nos interstícios entre os minerais félsicos, ou como inclusões nas bordas desses últimos. A muscovita apresenta contatos retos com biotita, sugerindo equilíbrio durante a cristalização dessas fases. Já as transformações pós-magmáticas são observadas pela saussuritização (sericita + epidoto + muscovita) do Plg_1 e por desestabilização da biotita (cloritização). Tais transformações evidenciam o influxo de fluidos ricos em H_2O/Na_2O no sistema. Os cristais xenomórficos de titanita associados às lamelas de biotita e os intercrescimentos mirmequíticos são de formação tardia durante o estágio *subsolidus*, estes últimos podem estar associados aos efeitos deformacionais/recristalização dos feldspatos (Barros & Dall'Agnol 1994). Os processos deformacionais também foram responsáveis pela recristalização de plagioclásio (Plg_2) e quartzo (Qtz_2), além de microclina (Mc_2) nos granodioritos.

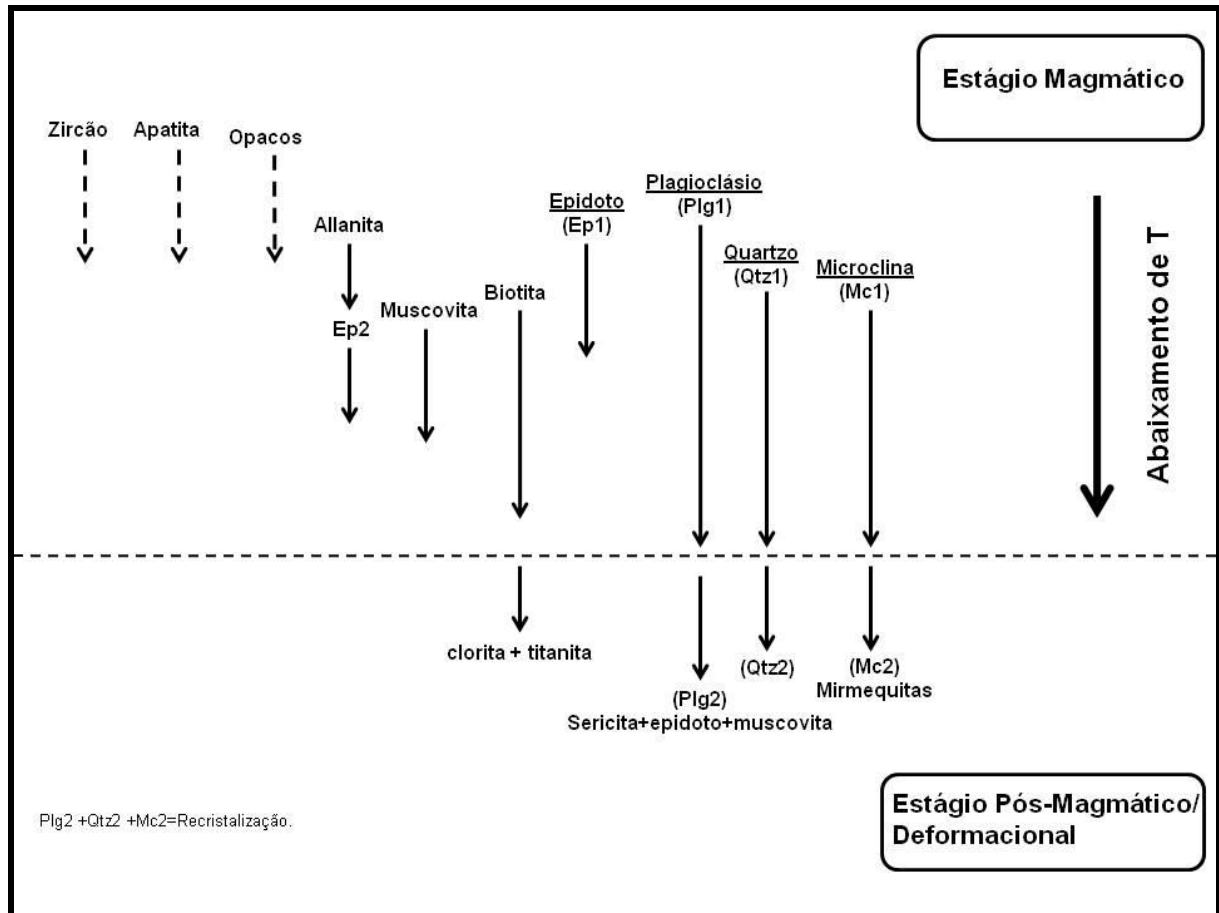


Figura 7- Ordem de cristalização dos minerais presentes nos granitoides estudados.

GEOQUÍMICA

Foram realizadas análises químicas de elementos maiores, menores e traços em 33 amostras representativas do diversos granitoides estudados, sendo que 15 dessas análises foram destinadas ao Epidoto-Biotita Tonalito, 6 à variedade Biotita Trondhjemitito, 10 ao Biotita Granodiorito e 2 às rochas leucogranodioríticas (Tabelas 3 e 4). As análises foram realizadas no Laboratório ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTDA, sendo utilizados os pacotes analíticos 4A e 4B. Os métodos empregados e os limites de detecção podem ser encontrados no site do laboratório (www.acmelab.com). Os elementos maiores e menores foram analisados por ICP-ES enquanto que os elementos traço e terras raras foram analisados por ICP-MS.

Elementos maiores e menores

As composições químicas representativas das associações TTGs e granodioritos estão resumidas nas tabelas 3 e 4, respectivamente. Os conteúdos de elementos maiores destes dois conjuntos de rochas estudadas revelam uma composição bastante homogênea para ambas. Os

conteúdos de SiO_2 dos TTGs variam entre 62,75% e 73,12%, enquanto que nos granodioritos estes são ligeiramente mais elevados, ficando entre 67,12 a 73,99% na variedade Biotita Granodiorito e 72,15 a 72,80% nas rochas Leucogranodioríticas. Estas são leucocráticas com baixos níveis de elementos ferromagnesianos ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{TiO}_2$), sempre inferiores a 8,0% nos TTGs e a 3,0% nas variedades granodioríticas. Os valores de #Mg ficam entre 0,32 e 0,42 para os primeiros e 0,26 – 0,39 para os granodioritos. Os altos conteúdos de Al_2O_3 , acima de 15% (15,02 – 17,27%), permitem classificá-los dentro do grupo de alto Al_2O_3 (Barker & Arth 1976, Barker 1979).

A variação dos elementos maiores e menores em função de SiO_2 (Figura 8; diagrama de Harker) exhibe diferenças composicionais marcantes entre estes grupos de granodioritos, além de forte superposição entre as amostras das variedades tonalíticas e trondhjemiticas. As amostras do Biotita Granodiorito são relativamente enriquecidas em Al_2O_3 , CaO e Na_2O , e ligeiramente empobrecidas em K_2O em relação ao Leucogranodiorito (Figura 8). Já os conteúdos de Fe_2O_3 , MgO e TiO_2 não divergem significativamente entre estes dois grupos, porém o comportamento de tais óxidos, aliado a CaO e P_2O_5 , os distinguem claramente das variedades Epidoto-Biotita Tonalito e Biotita Trondhjemitico pelo significativo enriquecimento dos referidos óxidos nestas últimas, assim como pelo empobrecimento em K_2O e Na_2O nas mesmas. Excentuando-se Na_2O e K_2O que apresentam trends horizontalizados para as rochas TTGs em relação à sílica, os demais óxidos citados exibem claramente correlações negativas com SiO_2 , definindo *trends* não colineares, e por vezes paralelos entre os principais conjuntos de rochas discutidos.

Elementos traço

Nas séries magmáticas, a distribuição dos elementos traço é amplamente controlada pelas fases minerais fracionadas durante sua evolução magmática, constituindo assim, um bom indicador dos processos petrogenéticos (Hanson 1989). O comportamento dos principais elementos traço das associações TTGs mostra ampla distribuição no diagrama de Harker (Figura 9). De modo geral, Rb (23 – 173 ppm), Nb (0,5 – 11 ppm), Y (1,3 – 21 ppm) e Zr (77 – 245 ppm) mostram correlação negativa com a sílica, enquanto que Ba (153 – 1221 ppm) e Sr (241 – 799 ppm) não mostram correlação clara com as variações de sílica, definindo *trends* horizontalizados, embora as amostras da unidade Biotita Trondhjemitico mostrem aparentemente uma correlação positiva de Sr e Ba com a sílica, indicando comportamento incompatível desses elementos no sólido residual.

Os dois grupos de granodioritos estudados apresentam em geral teores elevados de Ba e Sr (459 – 2960 ppm e 357 – 794 ppm, respectivamente) e menores de Rb (16 – 67 ppm), com baixas razões Rb/Sr, sempre inferiores a 0,15 (Figura 9h). Essas rochas são empobrecidas em HFSE: Nb (0,2 – 2,9 ppm) e Zr (47 – 120 ppm), quando comparadas com as associações TTGs. Contudo, alguns contrastes geoquímicos foram observados para estas rochas; a variedade Biotita Granodiorito mostra-se claramente mais enriquecida em Sr (média de 642,3 ppm) em relação à variedade leucogranodiorítica (média de 510,8 ppm), enquanto que esta última possui teores médios mais elevados de Y (9,4 ppm), Ba (1486 ppm) e Rb (65,8 ppm) em relação à variedade portadora de biotita [Y (1,1 ppm), Ba (1244 ppm) e Rb (32,3 ppm)]. As diferenças marcantes nos teores de Sr e Y e conseqüentemente na razão Sr/Y (Tabela 4 e Figura 14), podem refletir diferenças na profundidade de fusão para geração destas rochas (Drummond & Defant 1990) ou ligeiras diferenças na composição da fonte para estas rochas (Moyen 2009).

Os diagramas que utilizam as razões Ba/Sr vs. K₂O/Na₂O e Rb/Sr vs. SiO₂ (Figura 9g,h) distinguem claramente os dois principais grupos de rochas estudados. No primeiro, a razão Ba/Sr apresenta valores médios nitidamente superiores nos Biotita Granodioritos (2,28) e Leucogranodioritos (2,88), em relação aos Tonalitos (1,38) e Trondhjemitos (1,22), onde definem *trends* paralelos e positivos com a razão K₂O/Na₂O; já no segundo, a razão Rb/Sr possui valores médios mais elevados e dispersos nos Tonalitos (0,22) e Trondhjemitos (0,13) do que nos Biotita Granodioritos (0,05) e Leucogranodioritos (0,12), sendo definidos neste caso, *trends* negativos para os primeiros e positivos para os últimos em relação à sílica. Nota-se também acentuado aumento das razões K₂O/Na₂O no Leucogranodiorito (média de 0,53) em relação ao Biotita Granodiorito (média de 0,33), assim como nos Tonalitos (0,38) em relação às rochas trondhjemíticas (0,33). No entanto não existe aumento significativo dos teores de K₂O do Biotita Granodiorito, quando comparados com aqueles do TTGs estudados (Figura 8d).

Tabela 3- Composição química das associações TTGs estudadas

Litologia	EPIDOTO-BIOTITA TONALITO (TONALITO CARACOL)															BIOTITA TRONDHJEMITO (TRONDHJEMITO MOGNO)						
	AABG-104	SE-89	CLR-114	AABG-22	AABG-29	CLR-14	AABG-34	AABG-56A	CLR-34B	AABG-39	CLR-12	CLR-13	AABG-24B	CLR-23	AABG-56B	AABG -98	AABG-84	CLR-18	CLR-149B	CLR-163	CLR-162	
Amostra																						
Elemento																						
SiO₂ (%)	62,75	65,56	66,57	67,25	67,60	67,63	67,64	68,14	68,52	69,24	70,06	70,67	70,36	71,81	73,12	66,22	66,80	67,01	68,72	70,70	71,28	
TiO₂	0,48	0,54	0,36	0,33	0,45	0,33	0,41	0,35	0,36	0,33	0,34	0,36	0,34	0,18	0,24	0,44	0,35	0,37	0,32	0,18	0,17	
Al₂O₃	17,27	16,87	16,94	16,34	15,62	16,67	15,62	15,78	16,16	15,80	15,46	14,85	15,04	15,02	14,19	15,64	16,73	16,80	16,44	16,49	16,29	
Fe₂O₃	5,67	4,20	3,80	3,54	4,02	3,55	4,30	3,80	3,50	3,10	3,14	3,19	2,98	2,04	2,43	4,58	3,79	3,99	3,23	1,64	1,58	
MnO	0,05	0,07	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,03	0,06	0,05	0,03	0,03	0,03	0,06	0,07	0,06	0,03	0,02	0,02	
MgO	1,77	1,44	1,39	1,14	1,48	1,17	1,05	1,13	0,92	1,00	0,83	0,98	0,97	0,53	0,63	1,71	1,29	1,31	0,93	0,48	0,47	
CaO	4,17	4,30	4,07	3,77	3,19	3,82	3,05	4,00	3,66	2,93	3,48	3,29	3,49	2,51	3,36	4,32	4,09	3,53	3,52	2,83	2,77	
Na₂O	4,90	4,55	4,69	4,44	4,35	4,64	4,33	4,20	4,95	4,91	4,95	4,16	4,13	4,55	4,17	2,89	4,72	4,70	5,12	5,94	5,76	
K₂O	1,98	1,62	1,57	1,75	2,04	1,47	2,26	1,75	1,21	1,67	1,00	1,93	1,67	2,48	1,08	2,28	1,41	1,62	1,21	0,92	1,01	
P₂O₅	0,16	0,19	0,13	0,10	0,16	0,12	0,10	0,09	0,11	0,14	0,12	0,11	0,11	0,07	0,07	0,13	0,12	0,08	0,12	0,06	0,05	
LOI	0,7	0,5	0,3	1,1	0,9	0,4	1,1	0,6	0,4	0,7	0,5	0,3	0,7	0,6	0,6	1,6	0,5	0,4	0,2	0,6	0,4	
Total	99,90	99,84	99,89	99,82	99,86	99,86	99,92	99,90	99,84	99,85	99,94	99,89	99,82	99,82	99,92	99,87	99,87	99,87	99,84	99,86	99,80	
Ba (ppm)	444	356	270	561	737	492	402	242	701	584	196	417	529	1221	153	734	351	432	481	561	672	
Rb	130,6	69,3	68,0	72,3	70,9	58,2	127,3	80,8	40,4	173,1	50,5	65,4	56,4	46,8	43,9	75,5	62,7	57,1	50,9	23,8	31,1	
Sr	405,4	384,6	372,9	437,5	299,2	439,8	259,2	288,8	443,6	358,9	329,6	264,6	398,9	348,3	241,4	255,2	405,7	397,0	528,0	725,8	799,5	
Zr	210,6	245,5	144,5	135,8	125,7	129,2	148,7	115,8	125,6	134,4	118,2	123,3	126,5	85,6	133,6	155,5	123,1	77,8	137,6	101,9	101,6	
Nb	11,0	6,4	6,0	5,0	6,5	3,3	11,3	10,6	3,4	8,5	6,4	8,7	7,1	2,5	3,6	6,2	5,8	5,7	1,9	0,5	0,5	
Y	19,3	12,3	11,7	6,3	9,2	6,3	21,0	13,6	6,3	140,9	6,4	10,2	11,5	3,4	5,9	8,6	8,3	4,5	3,0	1,3	1,4	
Ga	23,8	19,5	19,2	18,9	16,8	17,8	18,6	18,3	18,4	20,3	18,3	16,6	17,1	16,0	15,9	17,8	19,1	19,8	18,4	18,5	19,0	
Hf	5,6	5,6	3,7	3,7	3,1	3,3	4,2	3,6	3,3	3,7	3,4	3,2	3,7	2,5	3,9	4,0	3,3	2,4	3,7	2,7	3,0	
Th	2,6	1,2	3,3	3,7	6,6	3,8	14,4	6,0	3,5	6,0	2,7	6,8	4,7	3,3	7,9	8,1	2,8	3,8	4,4	1,7	4,5	
U	0,8	0,9	1,1	0,9	0,7	0,8	2,4	1,8	0,4	3,2	1,3	1,9	1,4	0,4	0,9	0,5	0,9	0,6	0,5	0,2	0,3	
Ni	15,3	13,0	12,3	7,7	11,8	7,7	9,0	11,0	5,3	15,7	7,8	8,5	7,8	3,3	3,6	17,4	9,2	8,7	5,6	3,3	3,5	
La	10,0	7,3	12,9	16,6	26,2	30,9	27,0	17,1	19,4	136,3	12,2	17,7	21,3	16,0	20,6	29,3	12,0	14,5	24,8	11,9	14,7	
Ce	21,9	12,8	25,3	30,3	50,5	36,9	62,9	30,1	33,0	78,3	21,8	34,5	38,5	27,0	35,2	55,4	23,3	26,4	48,2	21,6	26,9	
Pr	3,11	1,71	3,28	3,47	5,69	6,78	7,35	3,55	4,29	31,57	2,58	4,23	4,52	3,21	4,19	5,61	2,86	2,94	5,23	2,67	3,15	
Nd	13,8	7,9	11,5	12,7	19,0	23,7	26,6	12,7	15,8	113,3	8,8	14,2	16,0	10,6	13,0	17,4	10,6	11,3	17,1	8,1	11,7	
Sm	3,49	2,04	2,32	2,00	2,91	3,20	4,94	2,28	2,36	23,20	1,58	2,53	2,97	1,77	1,95	2,52	2,09	1,77	2,23	1,31	1,68	
Eu	0,94	0,64	0,59	0,59	0,75	0,79	1,00	0,68	0,62	4,18	0,52	0,68	0,86	0,49	0,59	0,68	0,57	0,50	0,62	0,41	0,41	
Gd	3,61	2,44	2,18	1,67	2,37	2,32	4,56	2,22	2,03	23,31	1,47	2,31	2,69	1,38	1,38	2,10	1,81	1,40	1,40	0,85	1,04	
Tb	0,64	0,41	0,34	0,24	0,33	0,27	0,74	0,37	0,23	4,08	0,20	0,33	0,40	0,15	0,16	0,29	0,28	0,17	0,12	0,07	0,08	
Dy	3,63	2,39	1,99	1,23	1,72	1,23	4,34	2,09	1,40	23,67	1,22	1,86	2,15	0,72	0,66	1,49	1,65	1,00	0,62	0,26	0,37	
Ho	0,62	0,47	0,34	0,20	0,29	0,20	0,68	0,38	0,21	4,13	0,20	0,32	0,36	0,08	0,11	0,27	0,26	0,13	0,09	0,04	0,04	
Er	1,69	1,23	0,91	0,58	0,81	0,51	1,82	1,14	0,54	11,79	0,55	0,87	0,91	0,23	0,38	0,75	0,68	0,43	0,26	0,12	0,10	
Tm	0,25	0,18	0,14	0,08	0,12	0,07	0,24	0,18	0,08	1,94	0,08	0,13	0,13	0,02	0,05	0,10	0,10	0,05	0,03	<0,01	0,01	
Yb	1,76	1,17	0,94	0,54	0,89	0,50	1,56	1,30	0,49	15,74	0,61	0,94	0,85	0,21	0,36	0,70	0,68	0,28	0,21	0,11	0,13	
Lu	0,04	0,08	0,02	0,04	0,07	0,04	0,02	0,03	0,04	0,09	0,05	0,06	0,18	0,06	0,05	0,08	0,02	0,06	0,05	0,03	0,04	
A/CNK	0,97	0,99	1,01	1,02	1,03	1,03	1,03	0,98	1,00	1,04	0,99	0,99	1,00	1,02	1,00	1,04	1,00	1,05	1,02	1,03	1,04	
K₂O/Na₂O	0,40	0,36	0,33	0,39	0,47	0,32	0,52	0,42	0,24	0,34	0,20	0,46	0,40	0,55	0,26	0,79	0,30	0,34	0,24	0,15	0,18	
# Mg	0,38	0,40	0,41	0,38	0,42	0,39	0,32	0,37	0,34	0,38	0,34	0,37	0,39	0,33	0,33	0,42	0,40	0,39	0,36	0,36	0,37	
Rb/Sr	0,32	0,18	0,18	0,17	0,24	0,13	0,49	0,28	0,09	0,48	0,15	0,25	0,14	0,13	0,18	0,30	0,15	0,14	0,10	0,03	0,04	
Ba/Sr	1,10	0,93	0,72	1,28	2,46	1,12	1,55	0,84	1,58	1,63	0,59	1,58	1,33	3,51	0,63	2,88	0,87	1,09	0,91	0,77	0,84	
Sr/Y	21,01	31,27	31,87	69,44	32,52	69,81	12,34	21,24	70,41	2,55	51,50	25,94	34,69	102,4	40,92	29,67	48,88	88,22	176,0	558,3	571,07	
ΣETR Leves	52,30	31,75	55,30	65,07	104,3	101,48	128,79	65,73	74,85	382,67	46,96	73,16	83,29	58,58	74,94	110,23	50,85	56,91	97,56	45,58	58,13	
ΣETR Pesados	13,35	9,10	7,56	5,22	7,39	5,95	15,14	8,53	5,66	90,93	4,93	7,56	8,46	3,30	6,48	6,12	4	3,38	1,87	2,19		
(La/Yb) N	3,84	4,21	9,26	20,75	19,87	41,71	11,68	8,88	26,72	5,84	13,50	12,71	16,91	51,43	38,62	28,25	11,91	34,95	79,71	73,02	76,32	
Eu/Eu*	0,80	0,88	0,79	0,96	0,85	0,85	0,63	0,91	0,85	0,54	1,03	0,85	0,91	0,93	1,05	0,88	0,88	0,94	1,00	1,12	0,88	

Tabela 4. Composição química dos Leucogranodioritos estudados.

Variedades	BIOTITA GRANODIORITO										LEUCOGRANODIORITO	
	Granitos com alta razão La/Yb										média razão La/Yb	
	Amostra	CLR 90	CLR 133	CLR 130	CLR 72	CLR 24-C	CLR 134	CLR 87	CLR 55	CLR 132	CLR 121	CLR 150
Elementos												
SiO ₂ %	67,12	69,97	70,22	71,07	71,49	72,02	72,04	72,47	72,94	73,99	72,15	72,80
TiO ₂	0,21	0,11	0,21	0,15	0,07	0,15	0,16	0,13	0,13	0,09	0,15	0,16
Al ₂ O ₃	18,56	17,48	16,63	16,47	15,86	15,86	15,72	15,34	15,12	14,76	15,14	14,87
Fe ₂ O ₃	2,04	1,02	1,75	1,36	1,14	1,67	1,51	1,29	1,36	1,12	1,60	1,59
MnO	0,02	<0,01	0,02	0,02	0,01	<0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03
MgO	0,63	0,25	0,57	0,40	0,21	0,41	0,44	0,39	0,33	0,21	0,39	0,39
CaO	3,57	2,77	2,93	2,46	2,08	2,68	2,47	2,09	2,24	1,84	2,29	2,16
Na ₂ O	6,24	6,14	5,96	5,77	4,79	5,74	5,19	5,06	5,21	5,27	4,72	4,72
K ₂ O	1,07	1,56	1,02	1,46	3,27	0,91	1,90	2,31	1,95	2,41	2,57	2,44
P ₂ O ₅	0,06	0,03	0,07	0,05	0,04	0,06	0,07	0,04	0,05	0,02	0,06	0,06
LOI	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,6	0,4	0,1	0,6	0,6
Total	99,82	99,73	99,78	99,81	99,66	99,80	99,82	99,74	99,74	99,83	99,70	99,82
Ba	917	1417	459	920	2960	707	1079	1842	1376	762	1743	1228
Rb	21,5	20,6	27,8	37,8	43,8	16,2	38,7	29,0	30,8	56,6	64,2	67,4
Sr	794,8	793,7	768,1	714,7	357,6	751,6	546,0	648,8	632,9	414,4	541,1	480,4
Zr	51,2	59,2	120,8	80,6	47,5	100,6	102,7	77,3	83,2	49,6	94,0	93,8
Nb	0,2	1,0	1,5	0,8	2,4	1,0	1,4	1,2	0,8	1,5	1,3	2,9
Y	0,8	0,5	1,6	1,4	1,4	0,9	1,7	0,8	1,0	1,2	9,8	9,0
Ga	19,1	17,0	21,2	18,6	14,9	17,0	18,9	16,8	17,7	19,4	16,9	17,9
Hf	1,2	1,6	3,3	2,4	1,7	3,3	2,7	2,0	2,9	1,6	2,9	2,7
Th	1,1	0,6	2,2	0,2	4,4	1,7	0,8	1,2	1,2	1,6	3,3	4,0
U	0,1	<0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,9	1,1
Ni	5,5	2,3	4,8	3,1	1,8	2,7	2,8	2,5	3,3	2,3	3,5	3,0
La	11,5	6,1	12,5	1,8	19,3	14,0	5,9	6,6	7,4	5,9	30,4	24,2
Ce	16,0	8,8	22,6	2,7	33,9	21,2	10,4	12,3	13,8	9,6	48,3	30,7
Pr	2,01	0,94	2,60	0,36	3,85	2,58	1,12	1,26	1,59	1,16	6,31	4,66
Nd	7,2	3,5	9,2	1,2	13,0	8,4	4,1	3,6	5,7	4,3	22,0	16,5
Sm	0,79	0,43	1,32	0,37	1,77	0,98	0,73	0,59	0,83	0,69	3,25	2,38
Eu	0,42	0,37	0,41	0,36	0,58	0,36	0,42	0,31	0,38	0,41	1,02	0,78
Gd	0,42	0,23	0,86	0,35	1,07	0,57	0,57	0,53	0,60	0,58	2,67	2,16
Tb	0,03	0,02	0,09	0,04	0,08	0,06	0,07	0,05	0,04	0,05	0,30	0,26
Dy	0,14	0,10	0,34	0,24	0,36	0,26	0,36	0,18	0,17	0,18	1,65	1,44
Ho	<0,02	<0,02	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,26	0,23
Er	0,05	0,10	0,13	0,10	0,09	0,13	0,11	0,10	0,09	0,09	0,70	0,62
Tm	<0,01	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,09	0,09
Yb	<0,05	<0,05	0,14	0,11	0,07	<0,05	0,12	0,10	0,07	0,10	0,59	0,66
Lu	<0,01	<0,01	0,02	0,01	<0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,08	0,08
A/CNK	1,03	1,04	1,02	1,06	1,04	1,03	1,04	1,05	1,02	1,01	1,03	1,04
K ₂ O/Na ₂ O	0,17	0,25	0,17	0,25	0,68	0,16	0,37	0,46	0,37	0,46	0,54	0,52
#Mg	0,37	0,32	0,39	0,36	0,26	0,32	0,36	0,37	0,32	0,27	0,32	0,32
Rb/Sr	0,03	0,03	0,04	0,05	0,12	0,02	0,07	0,04	0,05	0,14	0,12	0,14
Ba/Sr	1,15	1,79	0,60	1,29	8,28	0,94	1,98	2,84	2,17	1,84	3,22	2,56
Sr/Y	993,5	1.587,4	480,1	510,5	255,4	835,1	321,2	811	632,9	345,3	55,21	53,4
ΣETR Leves	37,50	19,77	48,22	6,43	71,82	47,16	22,25	24,35	29,32	21,65	110,26	78,44
ΣETR Pesados	1,06	0,82	2,04	1,26	2,28	1,46	1,73	1,31	1,39	1,47	7,36	6,32
(La/Yb) N	155,25	82,35	60,27	11,05	186,10	188,99	33,19	44,55	71,35	39,82	34,78	24,7
Eu/Eu*	2,01	3,26	1,11	3,02	1,19	1,36	1,92	1,66	1,57	1,93	1,03	1,03

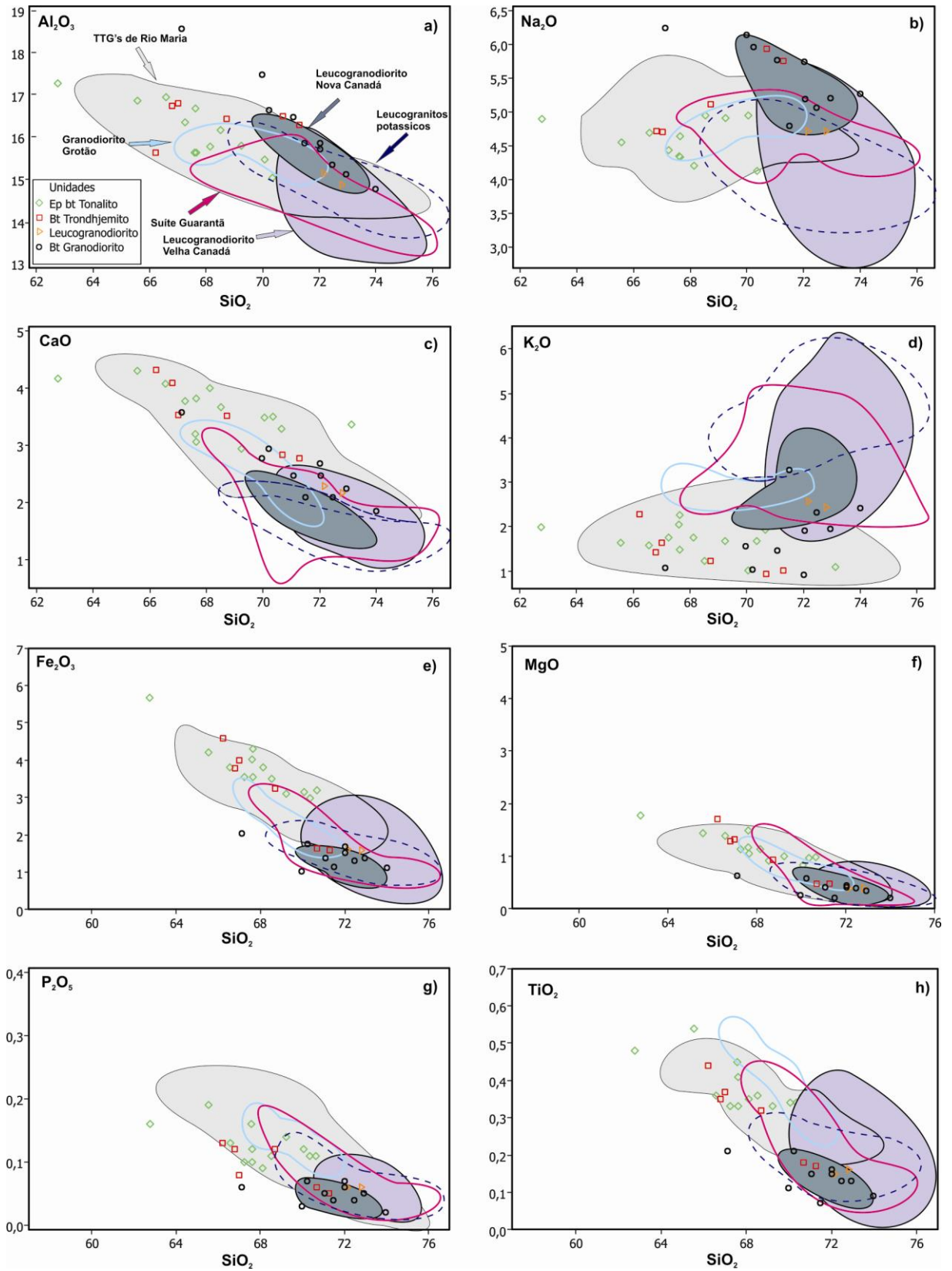


Figura 8 - Diagramas de Harker para os óxidos de elementos maiores e menores das amostras das associações TTGs e Leucogranodioritos estudados neste trabalho e dos granitoides TTGs (Guimarães *et al.* 2010, Almeida *et al.* 2011), leucogranodioritos da Suíte Guarantã (Almeida *et al.* 2010), leucogranitos potássicos (Leite *et al.* 2004), além do Granodiorito Grotão (Guimarães 2009) do Domínio Rio Maria e os Leucogranodioritos Nova Canadá e Velha Canadá do Subdomínio de Transição (Santos & Oliveira 2012).

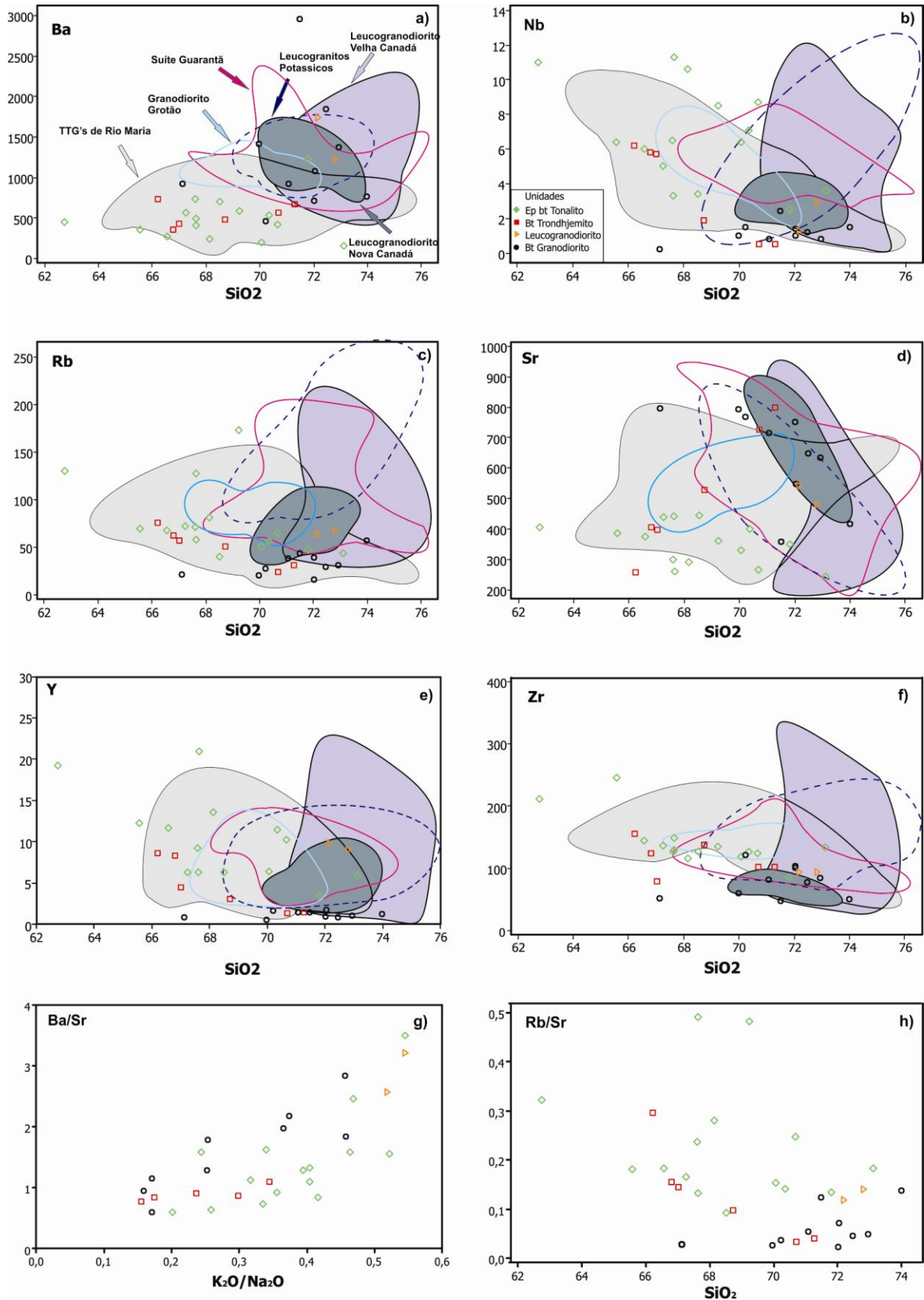


Figura 9- Diagramas de Harker para os elementos traço das amostras das associações TTGs e Leucogranodioritos estudados e dos granitoides TTGs e leucogranodioritos de Rio Maria, além dos leucogranodioritos do subdomínio de transição.

Elementos terras raras

Os resultados analíticos de elementos terras raras (ETR; Tabelas 3 e 4) foram normalizados em relação aos condritos, conforme os valores de Evensen *et al.* (1978). Os padrões de ETR descritos para as associações TTGs mostram em geral, enriquecimento acentuado em elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos terras raras pesados (ETRP), indicando maior fracionamento destes últimos durante a formação e/ou diferenciação de seus magmas (Figura 10a). Isso é evidenciado pelas moderadas e altas razões $(La/Yb)_N$ que variam em geral entre 3,8 e 51,4 para o Epidoto-Biotita Tonalito e entre 11,9 e 79,7 para as amostras do Biotita Trondhjemito, respectivamente. As anomalias de Eu são ausente ou muito discretas para estas rochas, podendo ser levemente positivas ou negativas ($0,54 < Eu/Eu^* < 1,12$). Apesar destas mostrarem padrões similares de ETR, as diferenças nas razões La/Yb e anomalia de Eu possibilitaram a discriminação de três grupos distintos de rochas, com baixa, média e alta razão La/Yb (Figura 14). O grupo de baixa razão La/Yb (3,8 – 9,6) mostra padrões de ETRP pouco fracionados e ausência de anomalia de Eu ($0,79 < Eu/Eu^* < 0,91$), sendo formado somente por amostras pertencentes à unidade Epidoto-Biotita Tonalito (Figura 10b). O grupo de média razão La/Yb (11,6 – 41,7) engloba a maioria das amostras TTGs estudadas e geralmente mostra padrões de ETR menos fracionados e anomalia de Eu ausente, ou mesmo levemente negativa ($0,63 < Eu/Eu^* < 1,05$). Esse grupo é constituído essencialmente por amostras da unidade Epidoto-Biotita Tonalito, incluindo ainda duas amostras da unidade Biotita Trondhjemito (Figura 10c). As rochas com altas razões La/Yb são representadas apenas pela unidade Biotita Trondhjemito, que mostra padrões fortemente fracionados (Figura 10d), cujas razões $(La/Yb)_N$ variam de 34,9 a 79,7 e anomalia de Eu ausente ($0,93 < Eu/Eu^* < 1,12$). Estes três grupos geoquímicos podem não corresponder a três episódios de geração de TTGs, pois uma mesma unidade pode estar inserida em diferentes grupos.

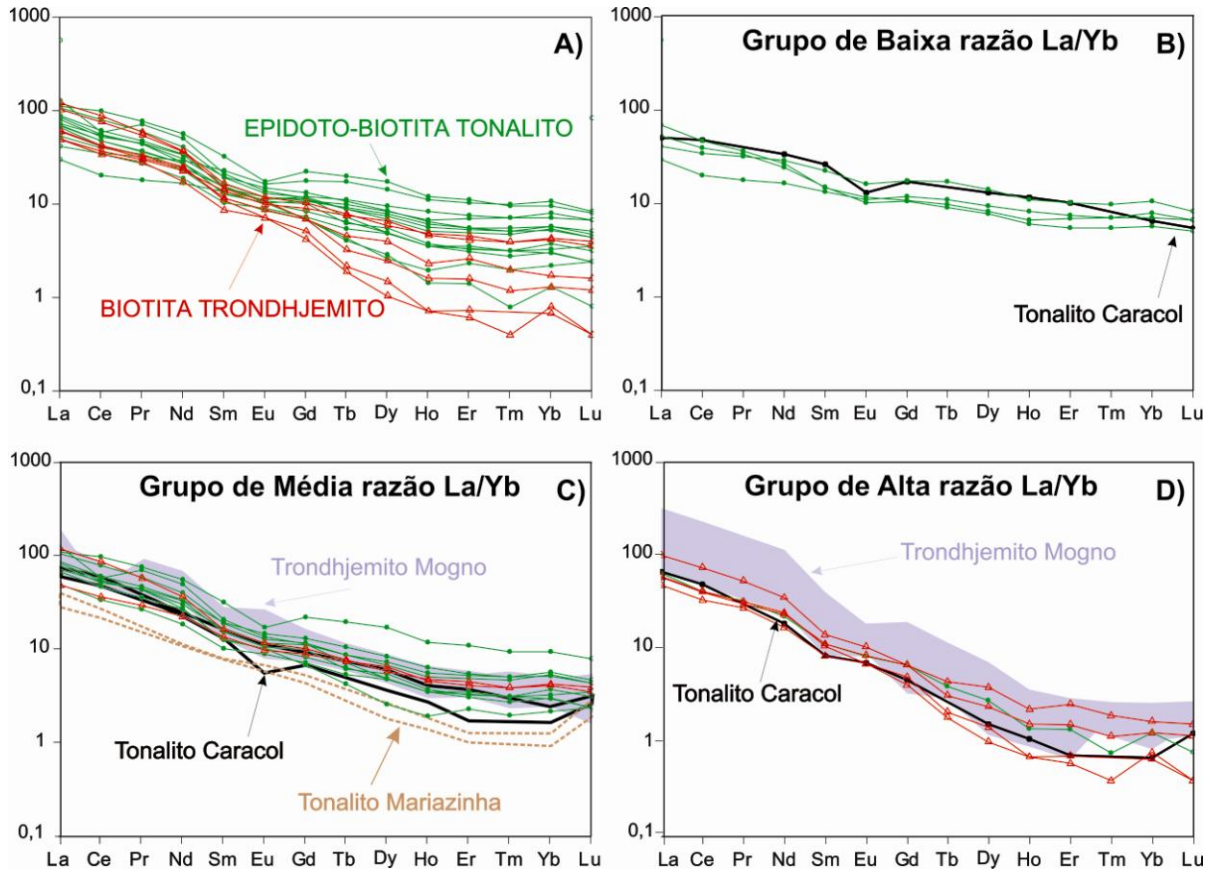


Figura 10 - Padrões de ETR para amostras das associações TTGs estudadas, comparados às médias de ETR dos TTGs (Almeida *et al.* 2011) do Domínio Rio Maria. Dados normalizados em relação ao condrito (Evensen *et al.* 1978).

Os padrões de ETR identificados para as rochas granodioríticas são claramente distintos para os dois grupos descritos anteriormente (Figura 11a). A variedade Biotita Granodiorito é fortemente fracionada com acentuado empobrecimento de ETRP em relação aos ETRL, resultando em altas razões La/Yb (33,1 – 190,7) e anomalias positivas de Eu bastante pronunciada [$1,11 < \text{Eu}/\text{Eu}^* < 3,26$] – Tabela 4], enquanto que os Leucogranitos mostram padrões levemente fracionados, com razões La/Yb moderadas (24,7 – 34,7) e anomalia de Eu ausente ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1,03$). Tais aspectos resultam em um claro empobrecimento no conteúdo de ETR na variedade Biotita Granodiorito ($\Sigma\text{ETRL} = 32,84$; $\Sigma\text{ETRP} = 1,48$), em relação aos Leucogranodioritos ($\Sigma\text{ETRPL} = 94,35$; $\Sigma\text{ETRP} = 6,84$).

Caracterização da série magmática

No diagrama ACNK vs. ANK (Figura 12a), com base em parâmetros de Shand (1950), estas rochas evoluem de metaluminoso a levemente peraluminoso o que é consistente com a mineralogia identificada na rocha, pois as mesmas apresentam biotita ± muscovita como minerais varietais.

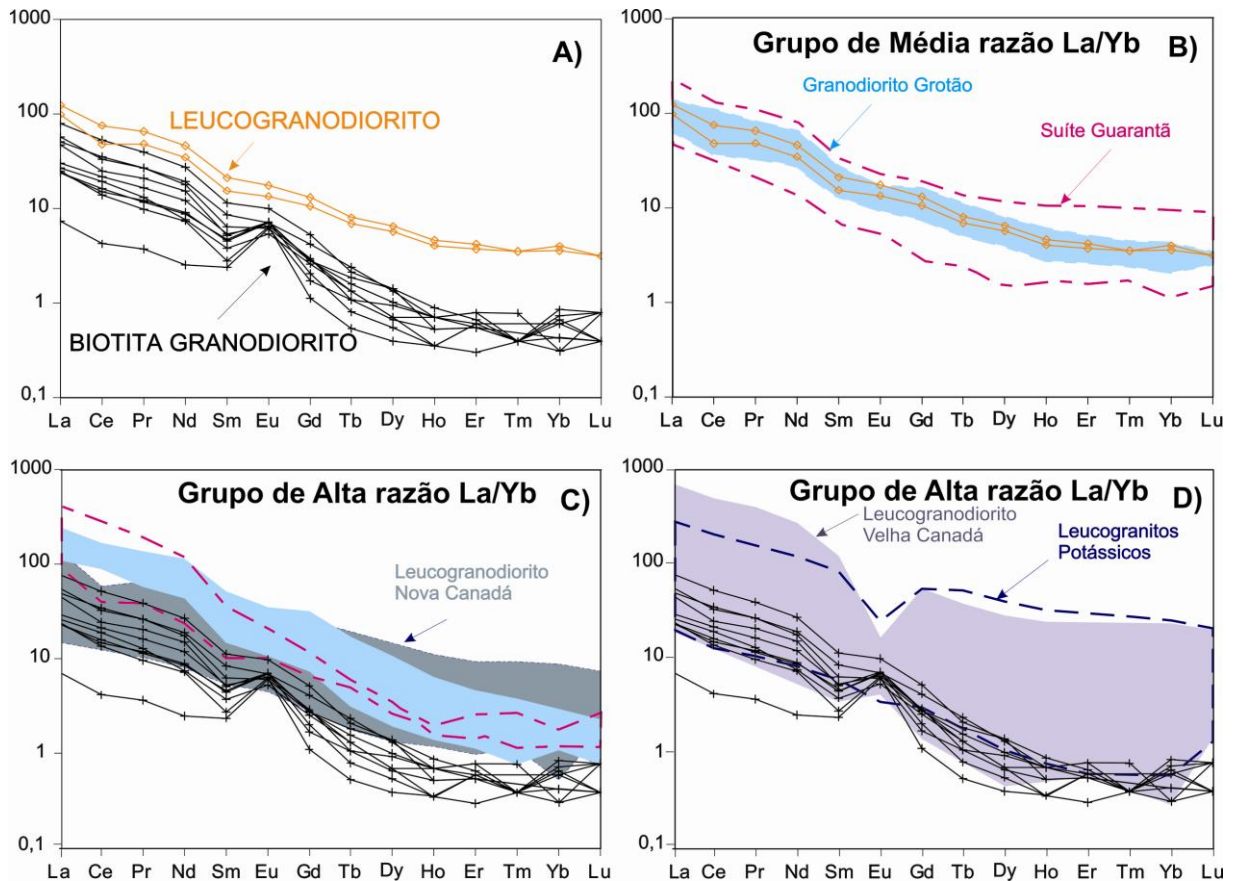


Figura 11- Padrões de ETR para as amostras dos leucogranodioritos estudados, comparados às médias de ETR da Suíte Guarantã (Almeida *et al.* 2010), Granodiorito Grotão (Guimarães 2009) e Leucogranitos potássicos (Leite *et al.* 2004) do Domínio Rio Maria, além dos leucogranodioritos Nova Canadá e Velha Canadá (Santos & Oliveira 2012) do Subdomínio de Transição. Dados normalizados em relação ao condrito (Evensen *et al.* 1978).

Já no diagrama K_2O vs. SiO_2 (Figura 12b), os granitoides estudados mostram forte afinidade geoquímica com as rochas da série cálcio-alcálica, em geral incidindo no campo das séries de médio a baixo potássio, sendo que duas amostras do Leucogranodioritos são restritos ao campo de rochas com médio potássio, por serem mais enriquecidas em K_2O . A forte natureza tonalítica e trondhjemítica dos TTGs estudados é refletida no diagrama normativo Ab-An-Or (O'Connor 1965; Figura 13c), enquanto que as rochas granodioríticas limitam-se ao campo dos trondhjemitos, com exceção da amostra CLR 24C que é relativamente enriquecida em ortoclásio, incidindo no campo dos granitos. No diagrama P – Q (Debon & Le Fort 1983 – Figura 12c) nota-se que estas rochas são pouco evoluídas, plotando em geral no campo dos tonalitos, exceto duas amostras de leucogranodiorito, como reflexo do baixo conteúdo de K das mesmas. Por outro lado, no diagrama R1-R2 (Figura 12d; La Roche *et al.* 1980), as amostras dos dois grupos de leucogranodioritos incidem essencialmente no campo dos granodioritos, assim como aquela das unidades TTGs. No diagrama ternário AFM (Figura

13b), as amostras dos dois grupos de leucogranodioritos exibem enriquecimento relativo em álcalis em relação aos TTGs e se alinham segundo *trend* comum às séries cálcio-alcálicas. No diagrama K-Na-Ca (Figura 13a), os TTGs mostram forte *trend* trondhjemítico, enquanto que as unidades granodioríticas tendem a se dispor segundo o *trend* cálcio-alcálico; mesmo não tendo um enriquecimento significativo em K_2O , foge inteiramente do clássico *trend* trondhjemítico das séries TTGs. Estes apresentam altos valores de Na_2O (4,13 – 5,94%), CaO (2,77 – 4,32%), e conteúdos inferiores de K_2O (0,92 – 2,48), o que resulta em geral em uma baixa razão K_2O/Na_2O (<5).

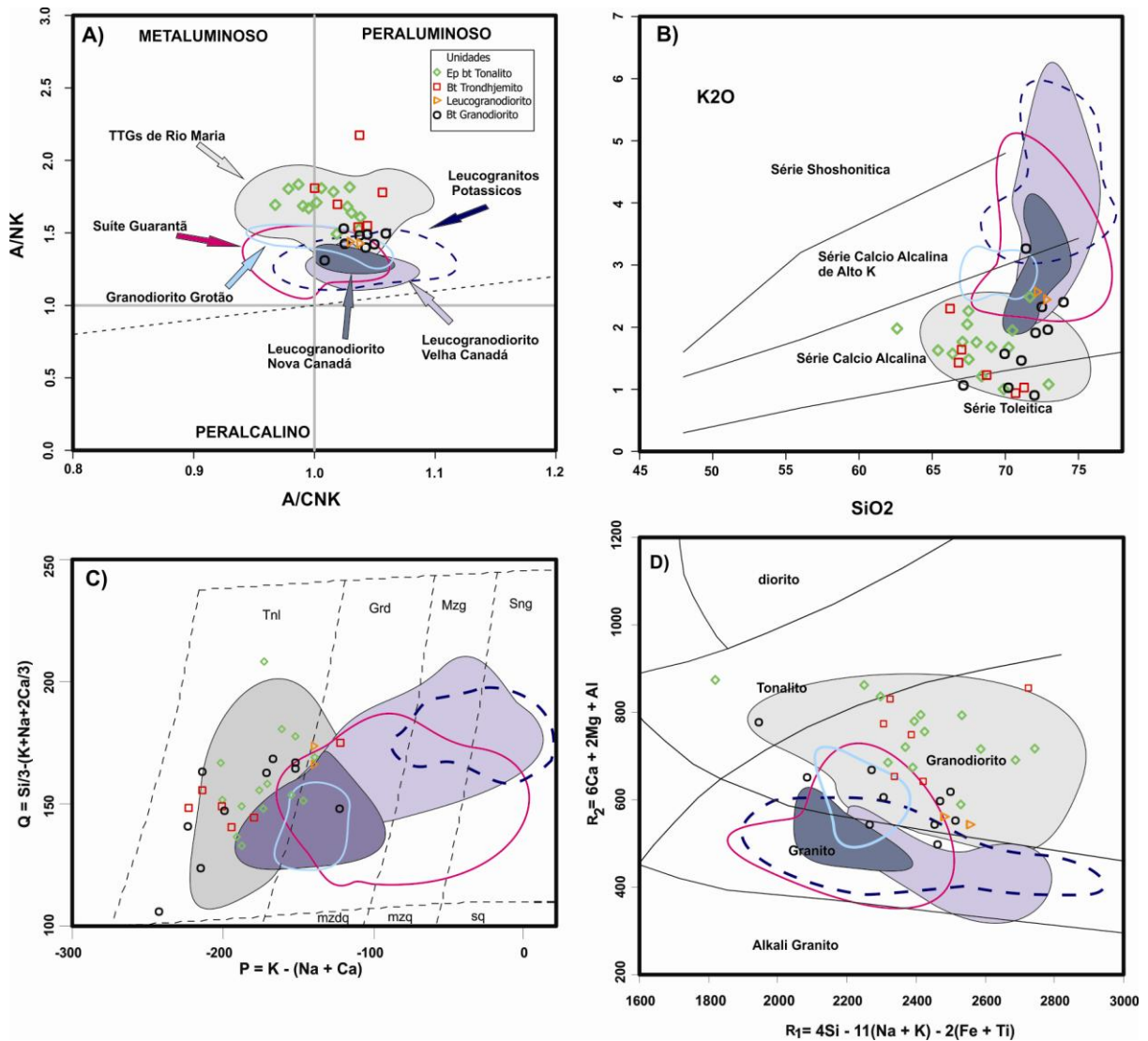


Figura 12 - Caracterização geoquímica mostrando a distribuição das amostras das associações TTGs e leucogranodioritos estudados juntamente com os campos dos TTGs (Almeida *et al.* 2011), leucogranodioritos Guarantã (Almeida *et al.* 2010), leucogranitos potássicos (Leite 2001) e Grotão (Guimarães *et al.* 2010) do Domínio Rio Maria, assim como os leucogranodioritos do subdomínio de transição. a) Diagrama ACNK x ANK(Shand 1950); b) diagrama K_2O vs SiO_2 (Peccerillo & Taylor, 1976); c) diagrama P-Q (Debon & Le Fort, 1988) e d) diagrama R_1 - R_2 (La Roche *et al.* 1980).

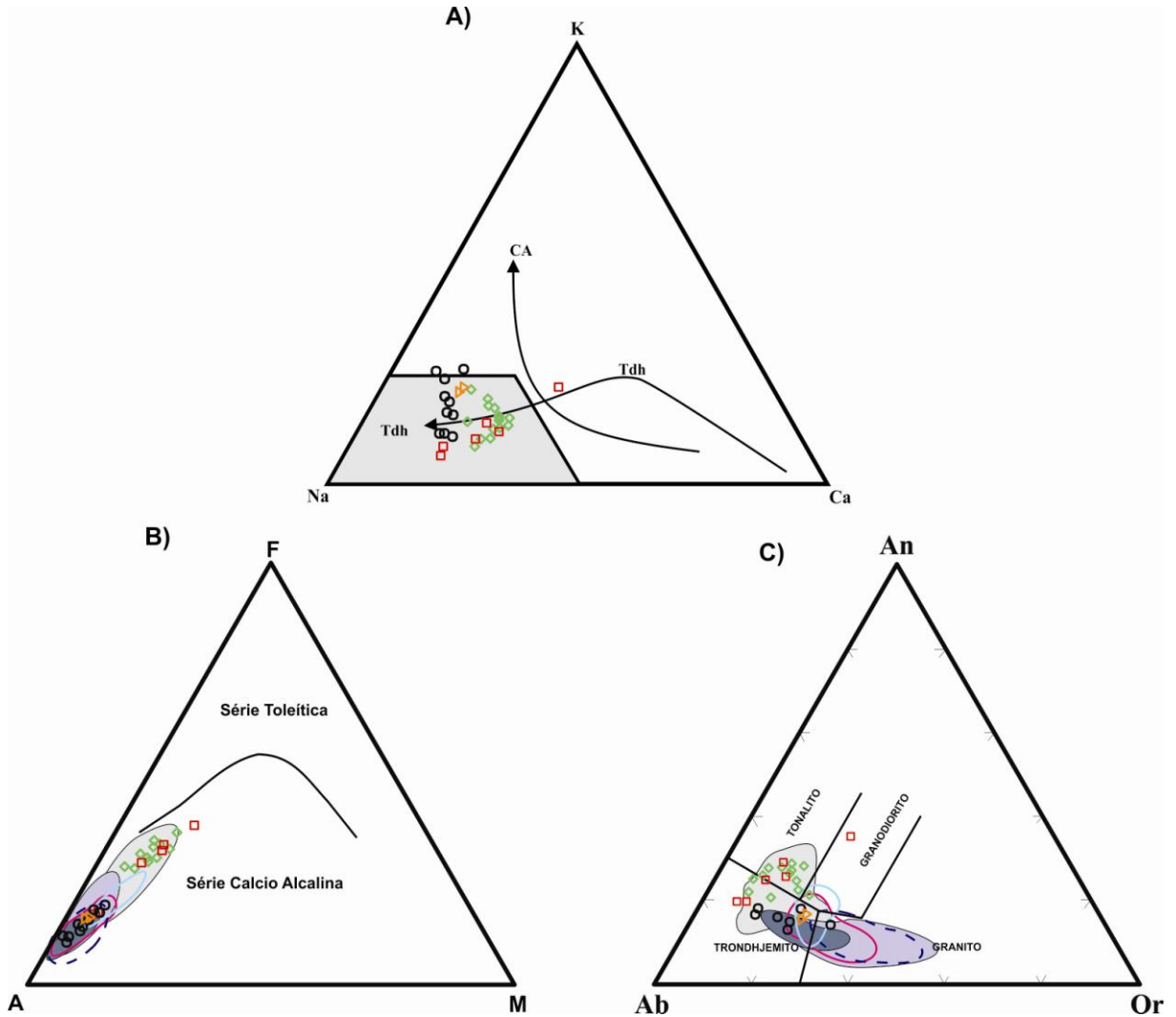


Figura 13 - Diagramas geoquímicos ternários mostrando a distribuição das amostras das associações TTGs e leucogranodioritos estudados juntamente com os campos dos TTGs (Almeida *et al.* 2011), leucogranodioritos Guarantã (Almeida *et al.* 2010), leucogranitos potássicos (Leite 2001) e Grotão (Guimarães 2009) do Domínio Rio Maria, assim como os leucogranodioritos do Subdomínio de transição. a) Diagrama K-Na-Ca, com o *trend* cálcio-alcalino definido por Nockolds & Allen (1953) e *trend* e campo trondhjemitico definidos por Barker & Arth (1976); b) diagrama AFM (Irvine & Baragar, 1971); c) diagrama An-Ab-Or normativo (O'Connor 1965 com campos de Barker 1979);

COMPARAÇÕES COM OUTROS GRANITOIDES ARQUEANOS DO DOMÍNIO RIO MARIA E SUBDOMÍNIO DE TRANSIÇÃO

Com intuito de definir um quadro geológico mais preciso para região SE de Água Azul do Norte, foram realizados estudos comparativos, utilizando dados petrográficos e geoquímicos, entre os TTGs estudados e os granitoides Trondhjemito Mogno e Tonalito Caracol do Domínio Rio Maria, uma vez que estes afloram na região de Xinguara, localizada próximo à área de ocorrência das rochas estudadas (Figura 1c). Além disso, foram realizadas comparações dos granodioritos estudados às rochas da Suíte Guarantã e Granodiorito Grotão,

ambos do Domínio Rio Maria, e os leucogranodioritos Nova Canadá e Velha Canadá de Santos & Oliveira (2012) do Subdomínio de Transição.

O Epidoto-Biotita Tonalito descrito neste trabalho possui fortes afinidades texturais e mineralógicas com o Tonalito Caracol descrito por Leite *et al.* (2004). Estes apresentam marcante bandamento composicional de direção NW-SE e conteúdos modais expressivos de epidoto magmático, tendo a biotita como a principal fase ferromagnesina. Apresentam-se ainda moderadamente deformados e textura magmática encontra-se ainda preservada. Já as feições petrográficas observadas no Biotita Trondhjemitito podem ser correlacionadas ao Trondhjemitito Mogno (Almeida *et al.* 2011), uma vez que estes apresentam características marcantes como o desenvolvimento de foliação pouco penetrativa de direção NW-SE e, sobretudo por apresentar cristais de plagioclásio intensamente saussuritizados (descalcificados).

As características geoquímicas dos TTGs estudados corroboram com o que foi discutido acima. Os três grupos geoquímicos de TTGs distinguidos neste trabalho (baixo-, médio-, alto La/Yb – Figuras 10 e 14) são relacionados com a profundidade ou pressão em que seus magmas foram gerados e/ou ligeiras diferenças nas fontes dessas rochas (Moyen *et al.* 2007, Halla *et al.* 2009, Moyen 2009, Almeida *et al.* 2011). Os TTGs pertencentes ao grupo de rochas com altas razões La/Yb e Sr/Y são similares aquelas do Trondhjemitito Mogno, descritos no Domínio Rio Maria. Este grupo de rochas inclui a maioria das amostras da unidade Biotita Trondhjemitito e foram provavelmente formadas no campo de estabilidade da granada em altas pressões (10–15 kbar). No caso dos TTGs de médio a baixo La/Yb e Sr/Y, quando comparadas com as rochas do Domínio Rio Maria, possuem forte correlação com o Tonalito Caracol. Estes grupos são compostos essencialmente pela unidade Epidoto-Biotita Tonalito, incluindo também amostras isoladas do Biotita Trondhjemitito, sendo formados provavelmente em condições de pressão intermediária a baixa, próximo do limite do campo de estabilidade da granada com o plagioclásio (≤ 10 kbar).

Dentre os vários grupos de leucogranitos da Província Carajás utilizados para comparação neste trabalho, nota-se que a variedade Biotita Granodiorito da porção SE de Água Azul do Norte, apresenta algumas semelhanças com os corpos da Suíte Garantã de Almeida *et al.* (2010), principalmente no que diz respeito aos seus aspectos texturais, com a presença marcante de pórfiros de K-feldspato, além do alto conteúdo de Ba e Sr apresentado por estas rochas (Figura 9a,d).

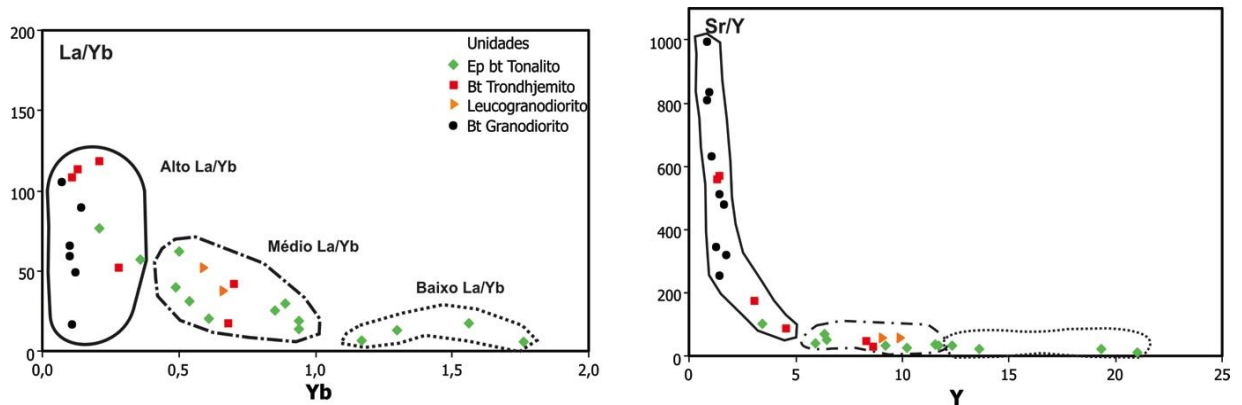


Figura 14 – Diagramas La/Yb vs. Yb e Sr/Y vs. Y usados para discriminar os diferentes grupos de TTGs e leucogranodioritos.

Já em relação ao Leucogranodiorito Nova Canadá do Subdomínio de Transição, que também seria formado por magmas afins daquele da Suíte Guarantã (Santos & Oliveira 2012), tais similaridades se dariam pelos conteúdos coincidentes de Al_2O_3 , Na_2O , Fe_2O_3 , MgO , P_2O_5 e TiO_2 , com aqueles encontrados nas rochas do Biotita Granodiorito, sendo porém, este último mais enriquecido em CaO e empobrecido em K_2O em relação aos granitos de Nova Canadá (Figura 8). Apesar da afinidade geoquímica destas rochas, algumas particularidades do Biotita Granodiorito devem ser destacadas: a) as altas razões $(La/Yb)_N$ indicam maior fracionamento de ETR, sobretudo dos ETRP, em relação às rochas da Suíte Guarantã e dos Leucogranodioritos de Nova Canadá (Figura 11c); b) a anomalia positiva de Eu ($1,11 < Eu/Eu^* < 3,26$; Tabela 4) detectada na maioria das amostras contrasta com aquelas ausentes ou discretas (razões Eu/Eu^* entre 1,01 e 0,93) registradas na Suíte Guarantã de Almeida *et al.* (2010) e nas rochas de Nova Canadá (Santos & Oliveira 2012); e c) os baixos conteúdos de HFSE (Zr, Y, Nb) e K_2O do Biotita Granodiorito também diferem claramente em relação aos demais granitos (Figura 8d), devido à natureza mais sódica destas rochas.

Guimarães *et al.* (2010) caracterizaram na região NW do município de Rio Maria, anteriormente tida como área de ocorrência do Trondhjemito Mogno, três *stocks* leucogranodioríticos (Granodiorito Grotão) inteiramente distintos dos TTGs e das rochas *sanukitoides* do Domínio Maria (Oliveira *et al.* 2010). Estas apresentam textura equigranular fina, moderadamente recristalizada e tendo a biotita com a principal fase máfica, sempre com teor inferior a 5%. Tais aspectos são similares aos descritos para os dois pequenos corpos leucogranodioríticos identificados neste trabalho. Os padrões de ETR destes corpos ratificam claramente a existência de notáveis analogias com aquelas que definem o Granodiorito Grotão (Figura 11b), reforçando ainda mais o que foi sugerido pelos dados de campo e aspectos texturais.

Adicionalmente, a figura 11d mostra que as rochas granodioríticas apresentadas neste trabalho são claramente distintas em termos de padrões de ETR dos Leucogranitos Potássicos do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2010) e da região de Velha Canadá do Subdomínio de Transição (Santos & Oliveira 2012). Estes últimos diferem dos granodioritos da porção SE de Água Azul do Norte pela presença marcante da anomalia negativa de Eu, além do maior enriquecimento de ETR em relação à variedade Biotita Granodiorito.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação aos dados geológicos disponíveis na literatura, os dados de campo, petrográficos e geoquímicos apresentados e discutidos neste trabalho ajudaram a compor o novo quadro geológico para a área, com modificações significativas (Figura 1c), a partir das seguintes conclusões:

(1) Dentre as unidades individualizadas na área, destacam-se as associações TTGs que foram separadas em duas grandes unidades: uma tonalítica-trondhjemítica, que ocupa a porção NE da área de trabalho, configurando uma estreita faixa alongada de direção NW-SE para a qual foi mantida a designação de Tonalito Caracol de Vasquez *et al.* (2008) e Almeida *et al.* (2011), porém agora com área de ocorrência consideravelmente reduzida; e outra, trondhjemítica que ocorre na porção sul da área, onde foi mantida a designação de Trondhjemito Mogno, que teve sua área de ocorrência inicialmente subestimada em relação àquela do Tonalito Caracol. Tais associações distinguem-se petrograficamente pelas diferenças nas proporções de minerais máficos, concentrações de epidoto magmático, grau de saussuritização do plagioclásio e intensidade de recristalização dos minerais félsicos;

(2) Foram distinguidos ainda, dois grupos de granodioritos que até então não haviam sido descritos em trabalhos anteriores: Biotita Granodiorito e Leucogranodiorito. O primeiro, juntamente com o Trondhjemito Mogno, torna-se a unidade mais expressiva da área, ocupando toda sua porção oeste, enquanto que o último é bem mais restrito e ocorre como dois pequenos corpos na porção central da área. Estes distinguem-se pelo grau de saussuritização do plagioclásio, que é mais intenso nas variedades leucogranodioríticas, e pelo grau de deformação que é mais intenso no Biotita Granodiorito. As relações de campo mostram que estes são intrusivos nos granitoides TTGs da área, indicando que o período de formação dessas rochas foi posterior aquele definido para os TTGs de Rio Maria (2,92- 2,96 Ga; Almeida *et al.* 2011);

(3) O comportamento geoquímico das associações TTGs estudadas denota que estas fazem parte do grupo com alto conteúdo de Al_2O_3 (Barker 1979), Na_2O e baixo de K_2O ,

compatíveis com os dos típicos granitoides arqueanos da série cálcio-alcálica trondhjemítica de baixo potássio (Lameyre & Bowden 1982) ou cálcio-alcálica tonalítica-trondhjemítica (Bowden *et al.* 1984). Exibem ainda padrões fortemente fracionados de ETR, com variações nos conteúdos de ETRP, além da ausência de anomalias de Eu e Sr, e baixos conteúdos de Y e Yb. Tais feições são tipicamente atribuídas à magmas gerados por fusão parcial de uma fonte máfica em diferentes profundidades, com aumento da influência da granada no resíduo, bem como a falta de plagioclásio tanto na fase residual como na fracionante com o aumento da pressão (Martin *et al.* 2005). Todas as características geoquímicas então observadas são típicas de rochas TTGs (Barker & Arth 1976, Martin 1994, Martin & Moyen 2002, Moyen *et al.* 2003, Moyen & Stevens 2006, Almeida *et al.* 2011). Contudo, existem alguns contrastes composicionais importantes entre as diferentes unidades TTGs, uma vez que o Biotita Trondhjemito exhibe conteúdos mais elevados de Al_2O_3 e Sr, e das razões La/Yb e Sr/Y, quando comparados com o Epidoto-Biotita Tonalito. Quadro similar é observado para o Na_2O , enquanto que para o K_2O , estas associações apresentam valores similares.

(4) O Biotita Granodiorito possui algumas afinidades composicionais e texturais com os leucogranodioritos – granitos da Suíte Guarantã do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2010) e aqueles da região de Nova Canadá do Subdomínio de Transição (Santos & Oliveira 2012), onde exibem típica textura seriada, a biotita como o principal mineral ferromagnésico e altos conteúdos de Ba e Sr. Embora, nota-se que estas rochas são mais enriquecidas em Na_2O , Al_2O_3 e notavelmente mais empobrecidas em K_2O , Rb, Y, Zr e Nb, quando comparadas às rochas da Suíte Guarantã e aquelas dos corpos leucogranodioríticos identificados na área, indicando portanto que os magmas que deram origem as rochas estudadas são oriundas de fontes ligeiramente distintas daquela que deu origem aos granitos da Suíte Guarantã. Tais aspectos também os distinguem dos Leucogranitos Potássicos do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2012) e da região de Velha Canadá do Subdomínio de Transição (Santos & Oliveira 2012). Além disso, os padrões de ETR são claramente mais fracionados na variedade Biotita Granodiorito (alta razão La/Yb) em relação aos demais granitos citados acima (moderada a alta razão La/Yb), assim como pela ausência da anomalia negativa de Eu que é bastante pronunciada nos Leucogranitos Potássicos. Já os Leucogranitos descritos neste trabalho possuem fortes afinidades geoquímicas com aqueles do tipo Grotão de Guimarães *et al.* 2010, dado sobretudo pela coincidência dos valores de ETR e razões moderados de La/Yb.

(5) Os dados apresentados mostram que o Biotita Granodiorito possui algumas feições geoquímicas também observadas nos TTGs tradicionais, como os altos conteúdos de Al_2O_3 e Na_2O , e baixo de K_2O , além de padrão fortemente fracionado de ETR (alta razão La/Yb). A

forte superposição entre os dados do Biotita Granodiorito e dos TTGs nos diversos diagramas geoquímicos apresentados, em especial na classificação de Debon & Le Fort (1983) e normativo de O'Connor (1965), os quais incidem no campo dos tonalitos e trondhjemitos respectivamente, como reflexo do baixo conteúdo de K dessas rochas, poderia sugerir uma relação genética entre esses granitoides. Por outro lado, os diagramas de Harker para elementos maiores e traços claramente não favorecem ligação genética por processo de cristalização fracionada entre o Biotita Granodiorito e as associações TTGs, uma vez que apresentam *trends* de evolução distintos, sem nítido alinhamento e por vezes paralelos entre essas rochas, indicando que as condições de sua gênese e diferenciação foram distintas.

(6) A hipótese de uma origem do magma formador do Biotita Granodiorito por fusão parcial de fonte TTG pode ser descartada pela ausência de anomalia negativa de Eu nos granodioritos, o que implicaria em menor retenção de plagioclásio no resíduo, ao contrário do que é observado para a geração dos leucogranitos potássicos (Sylvester 1994, Leite *et al.* 2004, Almeida *et al.* 2012). Além disso, os padrões similares de fracionamento de ETR em relação aos TTGs atestam que essas rochas provavelmente não foram oriundas de magmas precursores desses últimos. Sendo assim, as características geoquímicas apresentadas pelo Biotita Granodiorito e discutidas por outros autores em granitos análogos de outros crátons, como os granitoides paleoarqueanos do Cráton Pilbara (Champion & Smithies 2007), mostram que o controle composicional destas rochas pode ter ocorrido em função de dois ou mais processos: (i) variáveis graus de fusão parcial de basaltos sob diferentes níveis de pressão, o que controlaria a mineralogia residual predominante (em particular a granada e feldspatos), exercendo forte controle no comportamento de ETRP, Al_2O_3 , da razão K_2O/Na_2O , Sr e Y; (ii) uma fonte mais enriquecida de sedimentos subductados da crosta oceânica para produzir magmas com composição similar ao Biotita Granodiorito (Moyen *et al.* 2007).

(7) A presença marcante de anomalias positivas de Eu nas amostras do Biotita Granodiorito não pode ser explicada por eventual acumulação de cristais de plagioclásio, pois não se dispõe de evidência petrográfica (cf. dados modais; Tabela 4). Silva (2013) atribui a ocorrência destas feições no Trondhjemito Colorado da porção leste do Subdomínio de Transição, à desestabilização da allanita ao longo de zonas de cisalhamento durante o evento de deformação e intensa recristalização no neoarqueano. Este processo faria com que os ETRL fossem em grande parte removidos, mas afetaria muito menos os ETRP e Eu, o que justificaria o aparecimento de acentuadas anomalias positivas de Eu. No caso do Biotita Granodiorito, o acentuado empobrecimento de ETRL se dá claramente em apenas uma

amostra (CLR-72), o que de fato limitaria a aplicação desta hipótese às demais amostras deste corpo, e que por outro lado, reforça a idéia de que estas anomalias, ainda representem assinatura geoquímica distinta dos demais leucogranitos da Província Carajás.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor e de produtividade em pesquisa ao segundo autor e pelo apoio financeiro (Processo nº 476444/2008 0); ao Instituto de Geociências (IG-UFGA) pelo suporte técnico aos pesquisadores do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG-IG-UFGA) pelo apoio nas diversas etapas deste trabalho; aos revisores pelas críticas que levaram ao aperfeiçoamento do artigo; à FAPESPA (ICAAF 133/2008 0), ao convênio Vale-FAPESPA (Edital 001/2010 – ICAAF 053/2011) e INCT/Geociam (Processo nº 573733/2008-2) pelo apoio financeiro.

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., Dall'Agnol R., Dias S.B., Althoff F.J. 2010. Origin of the Archean leucogranodiorite-granite suites: Evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. *Lithos*, 120:235-257.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and origin of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of the Carajás province, Brazil. *Precambrian Research*, 187:201-221.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Leite A.A.S. 2012. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 42 (2013) 103-126
- 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.
- Araújo, O.J.B. DE; Maia, R.G.N.; Jorge João, X. DA S. E Costa, J.B.S., 1988. A megaestruturação arqueana da Folha Serra dos Carajás. *CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA*, 1., Anais..., Belém. p. 324-338.

- Avelar V.G., Lafon J.M., Correio Jr F.C., Macambira E.M.B. 1999. O Magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(2): 454-460.
- Barker F. & Arth J.G. 1976. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archaean bimodal trondhjemite-basalt suites. *Geology*, 4:596-600.
- Barker F. 1979. Trondhjemites: definition, environment and hypotheses of origin. *In: BARKER, F. (Ed.) Trondhjemites, dacites and related rocks*. Amsterdam, Elsevier, p.1-12.
- Barros, C. E. M, & Dall'Agnol. 1994. Deformação de rochas granitoides em regime dúctil: O exemplo do Gnaiss Estrela, região de Carajás. *Revista Brasileira de Geociências* 24(3):129-138
- 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. *Physics. Earth Planet Sciences*, 35, 1-11.
- Champion, D.C., Smithies, R.H., 2003. Archaean granites. *In: Blevin, P.L., Chappell, B.W., Jones, M. (Eds.), Magmas to Mineralisation: The Ishihara Symposium*, pp. 19–24 (AGSO Geoscience Australia, Record 2003/14).
- Champion, D.C., Smithies, R.H., 2007. *In: Van Kranendonk, M.J., Smithies, R.H., Bennett, V.C.(Eds.), Geochemistry of Paleoproterozoic Granites of the East Pilbara Terrane, Pilbara Craton, Western Australia: Implications for Early Archean Crustal Growth. Earth's Oldest Rocks, Developments in Precambrian Geology*, vol. 15. Elsevier, Amsterdam, pp. 369–410.
- Condie, K.C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales. *Chem.Geol.* 104, 1-37.
- Dall' Agnol, R., Rämö, O.T., Magalhães, M.S., Macambira, M.J.B. Archean granitoids as magma sources for the anorogenic Paleoproterozoic Jamon and Musa granites (eastern Amazonian craton): new constraints based on geochemical and Sm-Nd isotopic data. 1997. *In: South-Amer.Symp. Isot. Geol. Campos do Jordão, 1997. Extended abstracts*
- Dall' Agnol, R., Teixeira, N.P., Rämö, O.T., Moura, C.A.V., Macambira, M.J.B., Oliveira, D.C. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, rapakivi, A-type granites of the Archaean Carajás Metallogenic Province, Brazil. 2005. *Lithos* 80, 101-129.
- Dall' Agnol, R.; Oliveira, M.A. de; Almeida, J. de A.C. de; Althoff, F.J.; Leite, A.A. da S.L.; Oliveira, D.C.; Barros, C.E de M., 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian Craton. *In: Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian Craton*. Belém, PRONEX-UFPB/SBG-NO, p 97-150.

- Debon F. & Le Fort P. 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Trans. Roy. Soc. Soc. Edinb-Earth Sci.*, 73:135-149.
- Dias S.B.D. Caracterização Geológica, Petrográfica e Geoquímica de Granitos Arqueanos da Folha Marajoara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE – PA. 2009. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
- Drummond, M.S., Defant, M.J., 1990. A model for trondhjemite–tonalite–dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons. *Journal of Geophysical Research* 95, 21503–21521.
- Duarte K.D. Geologia e geoquímica do Granito Mata Surrão (SW de Rio Maria – Pa): um exemplo de granito “stricto sensu” Arqueano. 1992. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 217p.
- Evensen, N.M., Hamilton, P.T., O’nions, R.K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39: 55.64.
- Feio G.R. Magmatismo granitoide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás. 2011. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 190p.
- Feio G.R.L., Dall’Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J. 2012. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implication for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, DOI 10.1016/precamres.2012.04.007.
- Frost, C.D., Frost, B.R., Kirkwood, R., Chamberlain, K.R., 2006. The tonalite–trondhjemite–granodiorite (TTG) to granodiorite–granite (GG) transition in the Late Archean plutonic rocks of the central Wyoming province. *Canadian Journal of Earth Sciences* 43, 1419–1444.
- Gabriel E.O., Oliveira D.C., Galarza M.A. 2010. Petrografia e Geocronologia de granitoides do Complexo Xingu da região nordeste de Água Azul do Norte, Província Mineral de Carajás, *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 45, Anais, Belém, CDrom.
- Gabriel E. O. Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética dos granitoides arqueanos da porção nordeste de Água Azul do Norte – Província Carajás. 2012. 107p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2012.
- Gomes, A.C.B. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará. 2003. 160p. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2003.

- Gomes, A.C.B.; Dall'Agnol, R. Nova Associação Tonalítica-Trondhjemítica na Região de Canaã dos Carajás: TTGs com Altos Conteúdos de Ti, Zr e Y. In: Congresso Brasileiro Geologia, 42, Araxá. Anais... Araxá: SBG/NSE. 2007. (CD-ROM).
- Guimarães, F.V. Geologia, petrografia e geoquímica do Trondhjemito Mogno e rochas arqueanas associadas, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria-SE do Pará. 2009. 102p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2009.
- Guimarães F.V., Dall'Agnol R., Almeida J.A.C., Oliveira M.A. 2010. Caracterização geológica, petrográfica, e geoquímica do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha, Terreno Granito-Greenstone mesoarqueano de Rio Maria, SE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 40(2):196-211.
- Halla, J., van Hunen, J., Heilimo, E., Hölttä, P., 2009. Geochemical and numerical constraints on Neoproterozoic plate tectonics. *Precambrian Research* 179, 155–162.
- Hanson, G.N. 1989. An Approach to Trace Element Modeling Using a Simple Igneous System as an Example. In: B.R. LIPIN & G.A. McKAY (Editors), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. Washington, D.C., Mineralogical Society of America, pp. 79-97. (Reviews in Mineralogy, 21).
- 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. O terreno Granito-Greenstone da região de Rio Maria – Sul do Pará. 1988. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. Belém. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, SBG. v. 3, p. 1438-1453.
- Huhn, S.B.; Macambira, M.J.B; Dall'Agnol, R. Geologia e Geocronologia Pb/Pb do Granito Alcalino Arqueano Planalto, Região da Serra do Rabo, Carajás – PA. 1999. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6. Manaus, Anais...SBG. (1). p. 463-466.
- 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.
- Jayananda, M., Chardon, D., Peucat, J.-J., Capdevila, R., 2006. 2.61 Ga potassic granites and crustal reworking in the western Dharwar craton, southern India: tectonic, geochronologic and geochemical constraints. *Precambrian Research* 150, 1–26.
- Lafon J.M., Macambira M.J.B., Pidgeon R.T. 2000. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). In: *International Geological Congress, 31, Abstracts*, Rio de Janeiro, CDrom.
- 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.

- La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., 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.
- 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*, 29(3), 549-556.
- Leite, A. A. da S. Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitoides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico. 2001. 330 p. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2001.
- Leite, A.A.S., Dall'Agnol, R., Macambira, M.J.B., Althoff, F.J. Geologia e geocronologia dos granitoides arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. *Revista Brasileira de Geociências*. 34, p. 447-458, 2004.
- Le maitre, R.W., 2002. A classification of igneous rocks and glossary of terms. 2nd Edition, London, 193 p.
- Machado, N., Lindenmayer, Z., Krogh, T.E., Lindenmayer, D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás área, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research* 49, 329-354.
- Macambira, M.J.B. *Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans L'Amazonie du sud-est; exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajas, Brésil*. 1992. Montpellier, Université Montpellier II-France. 212 p. (Tese de Doutorado).
- Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi*, v.7, p.263-288.
- Macambira E.M.B. & Vale A.G., 1997. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Felix do Xingu. Folha SB.22-Y-B. Estado do Pará, DNPM/CPRM, Brasília, 384p.
- Martin, H. 1994. The Archean grey gneisses and the gneisses of continental crust. In: *Condie, K. C. (ed.) Developments in precambrian geology 11. Archeancrustal evolution*, Amsterdam, Elsevier. p. 205-259.
- Martin, H., Moyen, J.-F., 2002. Secular changes in TTG composition as markers of the progressive cooling of the Earth. *Geology* 30 (4), 319– 322.
- Martin H., Smithies R.H., Rapp R., Moyen J.-F., Champion D. 2005. An overview of adakite, tonalite–trondjemite–granodiorite (ttg) and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*, 79:1-24.

- Medeiros, H. & Dall' Agnol, R. Petrologia da Porção Leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, Sudeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. Belém. Anais. SBG, 1988. v. 3, p.1488-1486.
- Mikkola, P., Kontinen, A., Huhma, E., Heilimo M., Whitehouse 2011. Archean crustal evolution of the Suomussalmi district as part of the Kianta Complex, Karelia: Constraints from geochemistry and isotopes of granitoids. *Lithos* 125 (2011) 287–307
- Moyen, J.F., Martin, H., Jayananda, M., Auvray, B., 2003. Late Archean granites: a typology based on the Dharwar Craton (India). *Precambrian Res.* 127, 103– 123.
- Moyen, J.-F., Stevens, G., 2006. Experimental constraints on TTG petrogenesis: implications for Archean geodynamics. In: Benn, K., Mareschal, J.-C., Condie, K.C. (Eds.), *Archean geodynamics and environments. monographs. AGU*, pp. 149–178.
- Moyen, J.-F., Stevens, G., Kisters, A.F.M., Belcher, R.W., 2007. TTG plutons of the Barberton granitoid-greenstone terrain, South Africa. In: Van Kranendonk, M.J., Smithies, R.H., Bennet, V. (Eds.), *Earth's Oldest rocks. Developments in Precambrian geology. Elsevier*, pp. 606–668.
- Moyen, J.-F., 2009. High Sr/Y and La/Y ratios: the meaning of the “adakitic signature”. *Lithos*. 112, 556–574.
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide–Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, 46:789-811.
- 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. Modelos de Evolução e Colocação dos Granitos Paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico. 2006. 186p. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2006.
- Oliveira D.C., Santos P.J.L., Gabriel E.O., Rodrigues D.S., Faresin A.C., Silva M.L.T., Sousa S.D., Santos R.V., Silva A.C., Souza M.C., Santos R.D., Macambira M.J.B. 2010. Aspectos geológicos e geocronológicos das rochas magmáticas e metamórficas da região entre os municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás – Província Mineral de Carajás, *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 45, Anais, Belém, CDrom.
- 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. *J. South Am. Earth Sci.* 27, 146-160.

- Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Scaillet B. 2010. Petrological constraints on crystallization conditions of MesoArchean Sanukitoid Rocks, southeastern Amazonian craton, Brazil. *Journal of Petrology*, 51:2121–2148.
- 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: Congresso Brasileiro de Geologia, 38. São Paulo, Boletim de Resumos Expandidos, Camboriú, SBG, 1: 390-391.
- Ricci P.S.F. & Carvalho M.A. 2006. Rocks of the Pium-Area, Carajás Block, Brazil – A Deepseated High-T Gabbroic Pluton (Charnokitoid-Like) with Xenoliths of Enderbitic Gneisses Dated at 3002 Ma – The Basement Problem Revisited. In: RBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, Boletim de Resumos Expandidos, Belém, CDrom.
- Rodrigues D.S., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2010. Geologia, geoquímica e geocronologia do magmatismo granítico da porção SW de vila Sedere III, município de Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, Anais, Belém, CDrom.
- Rolando, A.P & Macambira, M.J.B. 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, 2003.CD-ROM.
- 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.
- Santos P.A. Petrografia, Suscetibilidade Magnética, Geoquímica e Geocronologia do Granito Rio Branco – Província Mineral de Carajás, Sudeste do Pará. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. Belém: Universidade Federal do Pará. Faculdade de Geologia. Instituto de Geociências. 87p.
- Santos R.D., Galarza M.A, Oliveira D.C. 2012. Caracterização Geoquímica, Geocronológica e Isotópica do Diopsídio-Norito Pium - Província Carajás, In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 46, Santos-SP, CDrom.
- Santos P.J.L. & Oliveira D.C. 2012. Geologia, Petrografia e Geoquímica das Associações Granodioríticas-Graníticas de Nova Canadá, Subdomínio de Transição, Província Carajás. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 46, Santos-SP, CDrom.

- Sardinha A.S., Dall'Agnol R., Gomes A.C.B., Macambira M.J.B., Galarza M.A. 2004. Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitoides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 42, Anais, CDrom.*
- Shand, S.J. 1950. Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit. 4ed., London, 488p
- Silva, G.G., Lima, M.I.C., Andrade, A.R.F., Issler, R.S., Guimarães, G. 1974. *In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.22 Tocantins; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da Terra. Rio de Janeiro. Cap.1, p.1-143. (Levantamento de Recursos Naturais, 4).*
- 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.*
- Silva. A.C. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos da área de Vila Jussara, Província Carajás. 2013. 115p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2013.
- Sousa S.D., Geologia, petrografia e geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu da porção a leste da cidade de Água Azul do Norte (PA) - Província Mineral de Carajás. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso. Marabá: Universidade Federal do Pará. Faculdade de Geologia. Instituto de Geociências. 101p.
- Souza, Z.S., Geologia e petrogênese do greenstone belt Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-greenstone de Rio Maria, SE do Pará. 1994. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém. p. 625 (2 vols.).
- Streckeisen, A. L. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review, 12: 1-33. 1976.*
- Sylvester, P.J., 1994. Archaean granite plutons. *In: Condie K. (ed.), Archean Crustal Evolution, Elsevier, Amsterdam, pp. 261–314.*
- Tassinari C.G. E Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes, 22(3):174-182.*
- 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. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará. Belém: CPRM. 2008. p. 118-121.

CAPÍTULO 3

CONCLUSÕES

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

(1) Os estudos realizados na porção sudeste do município de Água Azul do Norte, extremo norte do Domínio Rio Maria permitiram a individualização de associações TTGs e leucogranodioritos. (i) as associações TTGs foram separadas em duas grandes unidades, uma predominantemente tonalítica-trondhjemítica, que ocorre na porção nordeste da área de trabalho como uma faixa alongada de direção NW-SE para a qual foi mantida a designação de Tonalito Caracol, e outra, trondhjemítica que ocorre na porção sul da área e foi descrito anteriormente como Trondhjemito Mogno. Estas associações foram separadas com base na proporção de minerais máficos, além de diferenças na concentração de epidoto magmático, no grau de saussuritização do plagioclásio e níveis de recristalização. (ii) os leucogranodioritos foram divididos em dois grupos com base nos dados geológicos, petrográficos e geoquímicos: Biotita Granodiorito e Leucogranodiorito. O primeiro ocorre de maneira expressiva na porção oeste da área, intrusivos nos TTGs estudados. Já os leucogranodioritos ocorrem como dois corpos individualizados na porção centro sul e distinguem-se dos biotita granodioritos por apresentar textura granular fina e cristais de plagioclásio intensamente sericitizados.

(2) Comparações entre as associações TTGs aqui estudadas e corpos afins do Domínio Rio Maria revelam que a unidade Biotita Trondhjemito apresenta maior afinidade petrográfica e geoquímica com o Trondhjemito Mogno. A unidade Epidoto-Biotita Tonalito possui características geoquímicas afins com Tonalito Caracol. Em relação aos leucogranodioritos nota-se que o Biotita Granodiorito possui algumas afinidades composicionais e texturais com a Suíte Guarantã do Domínio Rio Maria e aqueles da região de Nova Canadá do Subdomínio de Transição, onde, exibem típica textura seriada, biotita como o principal mineral ferromagnésiano e altos conteúdos de Ba e Sr. Embora, nota-se que estas rochas são mais enriquecidas em Na_2O , Al_2O_3 e notavelmente mais empobrecidas em K_2O , Rb, Y, Zr e Nb, quando comparadas às rochas da Suíte Guarantã e aquelas dos corpos leucogranodioríticos identificados na área, indicando que os magmas que deram origem as rochas estudadas são oriundas de fontes ligeiramente distintas daquela que deu origem aos granitos da Suíte Guarantã. Já os Leucogranitos descritos neste trabalho, possuem fortes afinidades geoquímicas

com os do tipo Grotão, dado sobretudo pela coincidência dos valores de ETR e razões moderados de La/Yb.

(3) Em relação aos dados geológicos disponíveis na literatura, os dados de campo, petrográficos e geoquímicos apresentados e discutidos neste trabalho ajudaram a compor um novo quadro geológico para a área, com modificações significativas, levando à proposição de mudança na área de ocorrência do Tonalito Caracol que foi superestimada em relação ao campo do Trondhjemito Mogno e a individualização de uma nova unidade denominada de Biotita Granodiorito.

(4) O comportamento geoquímico das associações TTGs estudadas mostra que estes pertencem ao grupo dos TTGs com alto Al_2O_3 e possuem características geoquímicas compatíveis com as dos típicos granitoides arqueanos da série cálcio-alcálica trondhjemítica de baixo potássio. Sua natureza tonalítica e trondhjemítica é refletida no diagrama normativo Ab-An-Or e no diagrama K-Na-Ca, nos quais mostram *trend* trondhjemítico. Exibem ainda padrões fortemente fracionados de ETR, com variações nos conteúdos de ETRP, além da ausência de anomalias de Eu e Sr, e baixos conteúdos de Y e Yb. Contudo, existem alguns contrastes composicionais importantes entre as diferentes unidades TTGs, uma vez que o Biotita Trondhjemito exibe conteúdos mais elevados de Al_2O_3 e Sr e das razões La/Yb e Sr/Y, quando comparados com o Epidoto-Biotita Tonalito. Quadro similar é observado para o Na_2O , enquanto que para K_2O estas associações apresentam valores similares.

(5) Geoquimicamente os dois grupos de leucogranodioritos seguem principalmente o *trend* cálcico alcalino nos diagramas AFM e mostram um caráter levemente peraluminoso. No diagrama ternário An-Ab-Or (O'Connor 1965) situam-se no campo dos trondhjemitos. Já no diagrama K-Na-Ca estas rochas se dispõem segundo o *trend* cálcico-alcálico. Os padrões de ETR apresentados para o biotita granodiorito são bem fracionados com alta razão La/Yb (33 – 186) e anomalia de Eu bastante pronunciada, fortemente positiva ($1,11 < Eu/Eu^* < 3,26$). Os leucogranodioritos mostram padrões levemente fracionados, com moderadas razões La/Yb (24,7 – 34,7) e anomalia de Eu ausente ($Eu/Eu^* = 1,03$).

(6) A hipótese de origem do magma formador do Biotita Granodiorito por fusão parcial de fonte TTG pode ser descartada pela ausência de uma anomalia negativa de Eu nos granodioritos, o que implicaria em menor retenção de plagioclásio no resíduo, ao contrário do que é observado para a geração dos leucogranitos potássicos (Sylvester 1994, Leite *et al.* 2004, Almeida *et al.* 2012). Além disso, os padrões similares de fracionamento de ETR em relação aos TTGs atestam que essas rochas provavelmente não foram oriundas de magmas precursores desses últimos. Sendo assim, as características geoquímicas apresentadas pelo

Biotita Granodiorito e discutidas por outros autores em granitos análogos de outros crátons, como os granitoides paleoarqueanos do Cráton Pilbara (Champion & Smithies 2007), mostram que o controle composicional destas rochas pode ter ocorrido em função de dois ou mais processos: (i) variáveis graus de fusão parcial de basaltos sob diferentes níveis de pressão, o que controlaria a mineralogia residual predominante (em particular granada e feldspatos), exercendo forte controle no comportamento de ETRP, Al_2O_3 , da razão K_2O/Na_2O , Sr e Y; (ii) fonte mais enriquecida de sedimentos subductados da crosta oceânica para produzir magmas com composição similar ao Biotita Granodiorito (Moyen *et al.* 2007).

(7) Muitas das questões relacionadas à gênese e evolução deste grupo de granitos não serão totalmente respondidas, até que se faça uso de métodos mais apurados como a utilização do modelamento geoquímico na tentativa de construir uma evolução petrológica, bem como a obtenção de dados geocronológicos, o que ajudaria a definir a evolução sequencial destas rochas no Domínio Rio Maria. Os trabalhos posteriores permitirão aprofundar esta discussão e refinar o contexto geológico no qual estas rochas foram inseridas.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y. Brito Neves, B.B. & Fuck, R.A.. Brazilian structural provinces: an introduction. 1981. *Earth-Science Reviews*, 17:1-29.
- Almeida, J.A.C. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greestone de Rio Maria – Pará. 2005. Dissertação de Mestrado – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.
- 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., Dall’Agnol R., Dias S.B., Althoff F.J. 2010. Origin of the Archean leucogranodiorito-granite suites: Evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. *Lithos*, 120:235-257.
- Almeida J.A.C., Dall’Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and origin of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of the Carajás province, Brazil. *Precambrian Research*, 187:201-221.

- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Leite A.A.S. 2012. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 42 (2013) pág103-126
- Althoff, F.J., Barbey, P., Boullier, A.M., Dall'Agnol., 1995. Composição e estrutura dos granitoides arqueanos da região de Marajoara. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências DA Terra*, vol.7, 5-26.
- Althoff F.J. Etude pétrologique et structurale des granitoides de Marajoara (Pará, Brasil): leur rôle dans l'évolution archéenne du craton Amazonien (2.7-3.2 Ga). 1996. 296p. Thèse Doctorat, Nancy, Université Henri Poincaré, Nancy I.
- 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.
- Araújo, O.J.B. DE; Maia, R.G.N.; Jorge João, X. DA S. E Costa, J.B.S., 1988. A megaestruturação arqueana da Folha Serra dos Carajás. *CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA*, 1., Anais..., Belém. p. 324-338.
- Avelar V.G., Lafon J.M., Correio Jr F.C., Macambira E.M.B. 1999. O Magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(2): 454-460.
- Barbosa, A.B.; Lafon, J.M.; Neves, A.P.; Vale, A.G. 1995. Geocronologia Rb-Sr e Pb-Pb do Granito Redenção, SE do Pará: Implicações para a evolução do magmatismo proterozóico da Região de Redenção. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências daTerra*,7:147-164.
- Bard, J.P. *Microtextures of igneous and metamorphic rocks*. D. Reidel Publishing Company. Tokyo. 1980. 246p.
- Barker F. & Arth J.G. 1976. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archaean bimodal trondhjemite-basalt suites. *Geology*, 4:596-600.
- Barker F. 1979. Trondhjemites: definition, environment and hypotheses of origin. *In: BARKER, F. (Ed.) Trondhjemites, dacites and related rocks*. Amsterdam, Elsevier, p.1-12.
- Barros, C. E. M, & Dall'Agnol. 1994. Deformação de rochas granitoides em regime dúctil: O exemplo do Gnaiss Estrela, região de Carajás. *Revista Brasileira de Geociências* 24(3):129-138
- Barros, C. E. M, Pétrologie et structure du Complexe Granitique Estrela (2.5 Ga) et de son encaissant métavolcano-sédimentaire (Province Métallifère de Carajás, Brésil). 1997. 316 p. Tese de Doutorado.

- Barros, C.E.M., Dall'Agnol, R., Barbey., Boullier, A.M. Geochemistry of the Estrela Granite Complex, Carajás Region, Brazil: an example of an Archaean A-type granitoid. 1997. *Journal of South-American Earth Sciences*, 10 (3-4): 321-330.
- Barros, C.E.M.; Sardinha, A.S.; Barbosa, J.P.O.; Krimski, R.; Macambira, M.J. B., 2001. Pb-Pb and zircon ages of Archean sytectonic granites of the Carajás metallogenic province, Northern Brazil. 3th Simposio Sudamericano de Geologia Isotopica, Pucon, Chile, Resumos Expandidos. Servicio Nacional de Geologia Y Minería. CD-ROM.
- 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. *Physics. Earth Planet Sciences*, 35, 1-11.
- Champion, D.C., Smithies, R.H., 2003. Archaean granites. In: Blevin, P.L., Chappell, B.W., Jones, M. (Eds.), *Magma to Mineralisation: The Ishihara Symposium*, pp. 19–24 (AGSO Geoscience Australia, Record 2003/14).
- Champion, D.C., Smithies, R.H., 2007. In: Van Kranendonk, M.J., Smithies, R.H., Bennett, V.C.(Eds.), *Geochemistry of Paleoarchean Granites of the East Pilbara Terrane, Pilbara Craton, Western Australia: Implications for Early Archean Crustal Growth. Earth's Oldest Rocks, Developments in Precambrian Geology*, vol. 15. Elsevier, Amsterdam, pp. 369–410.
- Chayes, F. Petrographic modal analysis: an elementary statistical appraisal. New York, John Wiley e Sons. 1956. 113 p.
- 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., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: Contrasting results from surface samples and shales. *Chem.Geol.* 104, 1-37.
- Cordeiro, A.A.C. & Saueressig, R. Serra das Andorinhas: geologia e principais ocorrências de ouro. Congresso Brasileiro de Geologia, XXXI. Resumos, Camboriú, Brasil. 1980. 2, 344.
- Dall'Agnol R., Lafon J.M., Macambira M.J.B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian Craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineral. Petrology*, 50:113-138.
- Dall' Agnol, R., Rämö, O.T., Magalhães, M.S., Macambira, M.J.B. 1997. Archean granitoids as magma sources for the anorogenic paleoproterozoic Jamon and Musa granites (eastern Amazonian craton): new constraints based on geochemical and Sm-Nd isotopic data. In: *South-Amer.Symp. Isot. Geol. Campos do Jordão, 1997. Extended abstracts*

- Dall'Agnol, R.; Scillet, 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., Rämö, 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., Rämö, O.T., Magalhães, M.S., Macambira, M.J.B., 1999c. 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., Teixeira, N.P., Rämö, 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. de; Almeida, J. de A.C. de; Althoff, F.J.; Leite, A.A. da S.L.; Oliveira, D.C.; Barros, C.E de M., 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian Craton. In: Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian Craton. Belém, PRONEX-UFGPA/SBG-NO, p 97-150.
- Debon F. & Le Fort P. 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Trans. Roy. Soc. Soc. Edinb-Earth Sci.*, 73:135-149.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992. Rock-forming minerals. London, 2nd Ed. Longmans (eds.), 696p.
- Dias S.B.D. Caracterização Geológica, Petrográfica e Geoquímica de Granitos Arqueanos da Folha Marajoara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE – PA. 2009. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
- DOCEGEO, 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. Anais...SBG. p. 10-54. (anexo) Drury, S.A. 1977. Structures induced by granite diapirs in the Archean greenstone belt at Yellowknife, Canada: implications for Archean geotectonics. *Journal of Geology*, 85: 345-358.
- Drummond, M.S., Defant, M.J., 1990. A model for trondhjemite–tonalite–dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons. *Journal of Geophysical Research* 95, 21503–21521.
- Duarte K.D. Geologia e geoquímica do Granito Mata Surrão (SW de Rio Maria – Pa): um exemplo de granito "stricto sensu" Arqueano. 1992. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 217p.

- Evensen, N.M., Hamilton, P.T., O'niions, R.K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 39: 55.64.
- Feio G.R. Magmatismo granitoide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás. 2011. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 190p.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J. 2012. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implication for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, DOI 10.1016/precamres.2012.04.007.
- Frost, C.D., Frost, B.R., Kirkwood, R., Chamberlain, K.R., 2006. The tonalite–trondhjemite–granodiorite (TTG) to granodiorite–granite (GG) transition in the Late Archean plutonic rocks of the central Wyoming province. *Canadian Journal of Earth Sciences* 43, 1419–1444.
- Gabriel E.O., Oliveira D.C., Galarza M.A. 2010. Petrografia e Geocronologia de granitoides do Complexo Xingu da região nordeste de Água Azul do Norte, Província Mineral de Carajás, *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia*, 45, Anais, Belém, CDrom.
- Gabriel E. O. Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética dos granitoides arqueanos da porção nordeste de Água Azul do Norte – Província Carajás. 2012. 107p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2012.
- Gastal, M. C. P. 1987. Mapeamento e petrologia do Maciço Granítico Musa: Rio Maria, sudeste do Pará. Belém, Universidade Federal do Pará. 342p. (Tese de Mestrado).
- Gibbs, A.K., Wirth, K.R., Hirata, W.K., Olszewski Jr., W.J., 1986. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Rev.Bras. Geociências* 16, 201–211.
- Gomes, A.C.B. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará. 2003. 160p. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2003.
- Gomes, A.C.B.; Dall'Agnol, R. Nova Associação Tonalítica-Trondhjemítica na Região de Canaã dos Carajás: TTGs com Altos Conteúdos de Ti, Zr e Y. *In: Congresso Brasileiro Geologia*, 42, Araxá. Anais... Araxá: SBG/NSE. 2007. (CD-ROM).
- Gonzales, M. G. B.; Dall'Agnol, R.; Vieira, E.A.P.; Macambira, M.J.B.; Delia Senta, N. 1988. Geologia do Maciço Anorogênico Cigano, vale do rio Parauapebas, PA. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 35, Belém, 1988. Anais..., Belém,SBG. v. 3, p. 1132-1146.

- Guimarães, F.V. Geologia, petrografia e geoquímica do Trondhjemito Mogno e rochas arqueanas associadas, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria-SE do Pará. 2009. 102p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2009.
- Guimarães F.V., Dall’Agnol R., Almeida J.A.C., Oliveira M.A. 2010. Caracterização geológica, petrográfica, e geoquímica do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha, Terreno Granito-Greenstone mesoarqueano de Rio Maria, SE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 40(2):196-211.
- Halla, J., van Hunen, J., Heilimo, E., Hölttä, P., 2009. Geochemical and numerical constraints on Neoproterozoic plate tectonics. *Precambrian Research* 179, 155–162.
- Hanson, G.N. 1989. An Approach to Trace Element Modeling Using a Simple Igneous System as an Example. In: B.R. LIPIN & G.A. McKAY (Editors), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements*. Washington, D.C., Mineralogical Society of America, pp. 79-97. (Reviews in Mineralogy, 21).
- Harker A. 1965. *The natural history of igneous rocks*. New York, Macmillan, 384p.
- Hibbard, M. J. *Petrography to Petrogenesis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey: 15 1995. 587p.
- Hirata, W.K.; Rigon, J.C.; Cordeiro, A.A.C. and Meireles, E. de M. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. 1982. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., Belém, p.100-108.
- 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. O terreno Granito-Greenstone da região de Rio Maria – Sul do Pará. 1988. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. Belém. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, SBG. v. 3, p. 1438-1453.
- Huhn, S.B.; Macambira, M.J.B; Dall’Agnol, R. Geologia e Geocronologia Pb/Pb do Granito Alcalino Arqueano Planalto, Região da Serra do Rabo, Carajás – PA. 1999. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6. Manaus, Anais...SBG. (1). p. 463-466.
- Hutchison, C. S. *Laboratory handbook of petrography techniques*. London. John Wiley e Sons. 1974. 527 p.
- 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.
- Kerr, P. *Optical Mineralogy*. McGraw-Hill Book Co., New York, Third Edition, 492p.1959.
- Jayananda, M., Chardon, D., Peucat, J.-J., Capdevila, R., 2006. 2.61 Ga potassic granites and crustal reworking in the western Dharwar craton, southern India: tectonic, geochronologic and geochemical constraints. *Precambrian Research* 150, 1–26.

- 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). *Comptes Rendues de la Academie de Sciences de Paris*, t. 318, serie II, pp. 642–649.
- Lafon J.M., Macambira M.J.B., Pidgeon R.T. 2000. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). *In: International Geological Congress, 31, Abstracts*, Rio de Janeiro, CDrom.
- 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.
- La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., 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.
- Leite, A.A.S. Geologia e geoquímica do maciço granítico Arqueano Xinguara - sudeste do Estado do Pará. 1995. Universidade Federal do Pará. 209p. (Dissertação de Mestrado).
- Leite, A.A.S.; Dall'Agnol, R. 1997a. Geologia e petrografia a do maciço granítico arqueano Xinguara e de suas encaixantes - SE do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v. 9, p. 43-81, (Série Ciências da Terra).
- 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*, 29(3), 549-556.
- Leite, A. A. da S. Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitoides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico. 2001. 330 p. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2001.
- Leite, A.A.S., Dall'Agnol, R., Macambira, M.J.B., Althoff, F.J. Geologia e geocronologia dos granitoides arqueanos da região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. *Revista Brasileira de Geociências*. 34, p. 447-458, 2004.
- 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 Carajas, Brésil*. Montpellier, Université Montpellier II-France. 212 p. (Tese de Doutorado).

- Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi*, v.7, p.263-288.
- 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.
- Macambira E.M.B. & Vale A.G., 1997. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Felix do Xingu. Folha SB.22-Y-B. Estado do Pará, DNPM/CPRM, Brasília, 384p.
- 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 Carajás Province, Brazil. In: 31st Int. Geol. Congr., Rio de Janeiro (CD-ROM).
- Machado, N., Lindenmayer, Z., Krogh, T.E., Lindenmayer, D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás área, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research* 49, 329-354.
- Mackenzie, W.S.; Donaldson, C.H.; Guilford, C. *Atlas of Igneous Rocks and Their Textures*. Harlow Essex, England: Longman Group Ltd., 1982. 148p.
- Martin H. 1987. Petrogenesis of Archaean trondhjemites, tonalites and granodiorites from eastern Filand: major and trace element geochemistry. *Journal of Petrology*, **28**: 921-953.
- 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.; Peucat, J.J.; Sabaté, J.C.; Cunha, J.C. 1997. Crustal evolution in the early Archaean of South America: example of the Sete Voltas Massif, Bahia State, Brazil. *Precambrian Res.* 82, 35-62.
- Martin, H., 1999. The adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos* 46 (3), 411– 429.
- Martin, H., Moyen, J.-F., 2002. Secular changes in TTG composition as markers of the progressive cooling of the Earth. *Geology* 30 (4), 319– 322.
- 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*, 79:1-24.
- Medeiros, H. & Dall' Agnol, R. Petrologia da Porção Leste do Batólito Granodiorítico Rio Maria, Sudeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35. Belém. Anais. SBG, 1988. v. 3, p.1488-1496.

- Moyen, J.F., Martin, H., Jayananda, M., Auvray, B., 2003. Late Archaean granites: a typology based on the Dharwar Craton (India). *Precambrian Res.* 127, 103–123.
- Moyen, J.-F., Stevens, G., 2006. Experimental constraints on TTG petrogenesis: implications for Archean geodynamics. In: Benn, K., Mareschal, J.-C., Condie, K.C. (Eds.), *Archean geodynamics and environments*. Monographs. AGU, pp. 149–178.
- Moyen, J.-F., Stevens, G., Kisters, A.F.M., Belcher, R.W., 2007. TTG plutons of the Barberton granitoid-greenstone terrain, South Africa. In: Van Kranendonk, M.J., Smithies, R.H., Bennet, V. (Eds.), *Earth's Oldest rocks*. Developments in Precambrian Geology. Elsevier, pp. 606–668.
- Moyen, J.-F., 2009. High Sr/Y and La/Y ratios: the meaning of the “adakitic signature”. *Lithos.* 112, 556–574.
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide–Cu–Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U–Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, 46:789-811.
- Neves A.P., & Vale A.G. 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). 1999.
- Nockolds S.R. & Aleen 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. Geologia, geoquímica e petrologia magnética do granito paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. 2001. 207p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2001.
- Oliveira, D.C. Modelos de Evolução e Colocação dos Granitos Paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico. 2006. 186p. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2006.
- Oliveira D.C., Dall’Agnol R., Silva J.B.C., Almeida J.A.C. 2008. Gravimetric, radiometric, and Magnetic susceptibility study of the Paleoproterozoic Redenção and Bannach plutons, eastern Amazonian Craton, Brazil: Implication for architecture and zoning of A-type granites. *Journal of South American Earth Sciences*, 25:100-115.
- Oliveira D.C., Santos P.J.L., Gabriel E.O., Rodrigues D.S., Faresin A.C., Silva M.L.T., Sousa S.D., Santos R.V., Silva A.C., Souza M.C., Santos R.D., Macambira M.J.B. 2010. Aspectos geológicos e geocronológicos das rochas magmáticas e metamórficas da região

- entre os municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás – Província Mineral de Carajás, *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, Anais, Belém, CDrom.*
- 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. *J. South Am. Earth Sci.* 27, 146-160.
- Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Scaillet B. 2010. Petrological constraints on crystallization conditions of MesoArchean Sanukitoid Rocks, southeastern Amazonian craton, Brazil. *Journal of Petrology*, 51:2121–2148.
- Passchier, C. W. Pseudotachylyte and the Development of Ultramylonite Bands in the Saint Barthélemy Massive French Pyrenees. *J. Struct. Geol.* 4:69-79, 1982.
- Passchier C.W., Trouw R.A.J. 1996. *Microtectonics*. Berlin, Springer-Verlag. 289p.
- 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.
- Pidgeon, R.T., Macambira, M.J.B., Lafon, J.M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology* 166, 159-171.
- Pimentel, M.M. & Machado, N. 1994. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38. São Paulo, Boletim de Resumos Expandidos, Camboriú, SBG, 1: 390-391.*
- Ricci P.S.F. & Carvalho M.A. 2006. Rocks of the Pium-Area, Carajás Block, Brazil – A Deepseated High-T Gabbroic Pluton (Charnockitoid-Like) with Xenoliths of Enderbitic Gneisses Dated at 3002 Ma – The Basement Problem Revisited. *In: RBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, Boletim de Resumos Expandidos, Belém, CDrom.*
- Rocha Jr., G. L. D. 2004. Caracterização petrográfica do Granito Paleoproterozóico Marajoara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE do estado do Pará. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 45p. (TCC)
- Rodrigues D.S., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2010. Geologia, geoquímica e geocronologia do magmatismo granítico da porção SW de Vila Sedere III, município de Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, Anais, Belém, CDrom.*
- Rolando, A.P & Macambira, M.J.B. 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, 2003.CD-ROM.*

- Rollinson H. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, Zimbabwe, p.1-344.
- 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..
- 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.*
- Santos P.A. Petrografia, Suscetibilidade Magnética, Geoquímica e Geocronologia do Granito Rio Branco – Província Mineral de Carajás, Sudeste do Pará. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. Belém: Universidade Federal do Pará. Faculdade de Geologia. Instituto de Geociências. 87p.
- Santos R.D., Galarza M.A, Oliveira D.C. 2012. Caracterização Geoquímica, Geocronológica e Isotópica do Diopsídio-Norito Pium - Província Carajás, *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 46, Santos-SP, CDrom.*
- Santos P.J.L. & Oliveira D.C. 2012. Geologia, Petrografia e Geoquímica das Associações Granodioríticas-Graníticas de Nova Canadá, Subdomínio de Transição, Província Carajás. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 46, Santos-SP, CDrom.*
- Sardinha A.S., Dall’Agnol R., Gomes A.C.B., Macambira M.J.B., Galarza M.A. 2004. Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitoides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. *In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 42, Anais, CDrom.*
- Shand, S.J. 1950. Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit. 4ed., London, 488p
- Silva, G.G., Lima, M.I.C., Andrade, A.R.F., Issler, R.S., Guimarães, G. 1974. *In: BRASIL. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.22 Tocantins; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da Terra. Rio de Janeiro. Cap.1, p.1-143. (Levantamento de Recursos Naturais, 4).*
- 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.*
- Silva C.R. Geologia e petrografia dos granitoides arqueanos da região sudeste de água azul do norte (pa) – Província Mineral de Carajás. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Marabá: Universidade Federal do Pará. Faculdade de Geologia, 88p.
- Sirqueira A.R.F Geologia e petrografia das rochas granitoides situada entre água azul do norte e xinguara, terreno *granito-greenstone* de rio Maria – Província Mineral de Carajás.

2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Marabá: Universidade Federal do Pará. Faculdade de Geologia, 75p.
- Sousa S.D., Geologia, petrografia e geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu da porção a leste da cidade de Água Azul do Norte (PA) - Província Mineral de Carajás. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso. Marabá: Universidade Federal do Pará. Faculdade de Geologia. 101p.
- Souza, Z.S. Medeiros H., Althoff F.J., Dall'agnol R. 1990. Geologia do terreno granito-greenstone Arqueano da região de Rio Maria, Sudeste do Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36., Natal, 1990. Anais. Natal, SBG. v. 6, p. 2913-2928.
- Souza, Z.S., Geologia e petrogênese do greenstone belt Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito-greenstone de Rio Maria, SE do Pará. 1994. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém. p. 625 (2 vols.).
- Souza Z.S., Potrel A., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall'Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade Belt, an Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, 109:293–315.
- Streckeisen, A. L. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review*, 12: 1-33. 1976.
- Sylvester, P.J., 1994. Archaean granite plutons. In: Condie K. (ed.), *Archean Crustal Evolution*, Elsevier, Amsterdam, pp. 261–314.
- Tassinari C.G. E Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22(3):174-182.
- Tassinari, C.C.G. & Macambira, M.J.B. Evolução tectônica do Cráton Amazônico. 2004. 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, 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. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará*. Belém: CPRM. 2008. p. 118-121.
- Wirth, K.R., Gibbs, A.K., Olszewski JR., W.J. U-Pb zircon ages of the Grão Pará Group and Serra dos Carajás granite, Pará, Brazil. *Revista Brasileira Geociências* 16(2), 195-200. 1986.

ANEXOS

LITOLOGIA	EPIDOTO BIOTITA TONALITO ± TRONDHJEMITO																							
	Amostras																							
Minerais	CLR 13 ₍₁₎	CLR 14 ₍₁₎	CLR 15 ₍₁₎	CLR 20	CLR 22A	CLR 28	CLR 34B	CLR 114	SE 84 ₍₂₎	SE 89 ₍₂₎	SE 91	AABG 22 ₍₃₎	AABG 23 ₍₃₎	AABG 24A ₍₃₎	AABG 24B	AABG 28	AABG 29	AABG 36 ₍₃₎	AABG 38A	AABG 38B	AABG 39A	AABG 56	AABG 58A	AABG 59B ₍₃₎
Quartzo	30,7	28,6	35,4	30	37,4	32,9	33,8	27,2	31	28,4	26,6	26,5	32,5	34,8	39,7	29	33,3	28,6	27,3	32,7	30,8	35,3	25,2	32,3
Plagioclásio	51,3	55,7	54,2	50,9	53,5	47,8	52,6	52,9	49,1	51,3	59,1	62,5	51	55,5	45,1	51,8	48,5	52,3	53,5	45,2	49,9	45,3	58,4	52,1
K-Feldspato	4	X	-	-	-	-	0,1	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,3	-	0,1	0,2	-
Biotita	10,8	13,3	6,3	15,6	7	14,8	11	17,6	15,4	17	12,1	8,4	13,7	8	12,2	13,8	15,4	16,3	15,9	13,3	16,7	14,9	11,9	13,6
Muscovita	0,1	-	0,2	-	0,1	-	0,4	x	0,6	0,4	0,6	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,8	-	0,9	-	-
Epidoto (p)	1,5	0,8	1	1,3	0,7	2,2	1,3	0,8	1,2	1,6	0,8	1,3	1,4	0,4	0,3	1,4	0,8	1,3	1,3	1,4	0,8	0,7	1	0,4
Epidoto (s)	1,3	1,2	1,4	1,7	1,1	1,8	1,7	1,5	1,5	0,3	0,4	1,2	0,9	1,1	1,8	3,2	1,5	0,8	0,5	0,9	1,2	2	1,8	1,2
Clorita	-	-	0,3	-	-	-	-	-	0,1	-	x	-	0,1	-	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	x	-	x	0,5	-
Allanita	0,1	-	0,2	0,2	-	x	0,1	-	0,2	0,2	0,2	x	x	-	-	0,1	x	x	0,1	0,3	-	x	0,1	0,1
Titanita	0,3	0,2	0,6	x	0,2	0,4	0,1	-	0,1	0,5	0,1	0,1	0,2	0,2	0,7	0,6	0,3	0,4	0,8	0,1	0,5	0,8	0,6	0,3
Carbonatos	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Opacos	-	0,2	x	0,1	-	0,1	x	-	-	-	-	-	0,2	-	-	x	-	0,2	-	-	0,2	-	-	x
Zircão	x	X	0,1	-	x	-	x	-	x	0,2	0,1	x	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
Apatita	-	X	0,3	-	-	x	x	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Félsicos (F)	87,3	85,5	91	82,6	92	82,5	88,2	81,6	81,6	80	86,1	90,2	84,4	91,4	86,6	84	83,3	81,7	81,3	84,1	81,9	82,7	85,6	85,6
Máficos (M)	12,7	14,5	9	17,4	8	17,5	11,8	18,4	18,4	20	13,9	9,8	15,6	8,6	13,4	16	16,7	18,3	18,7	15,9	18,1	17,3	14,4	14,4
A+P	55,3	55,7	54,2	50,9	53,5	47,8	52,7	52,9	49,1	51,3	59,1	62,5	51	55,5	45,1	51,8	48,5	52,3	53,5	50,5	49,9	45,4	58,6	52,1
Q+A	34,7	28,6	35,4	30	37,4	32,9	33,9	27,2	31	28,4	26,6	26,5	32,5	34,8	39,7	29	33,3	28,6	27,3	38	30,8	35,4	25,4	32,3
A 100%																								
Quartzo	35	33,5	39	36	41	40	39	33	38	35,5	31	29,5	38,5	38	46	34,5	40	35	33,5	39	38	42,6	29,4	38
Plagioclásio	60	66,5	61	64	59	60	60	67	62	64,5	69	70,5	61,5	62	54	65,5	60	65	66,5	55	62	57,3	70,4	62
K-feldspato	5	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	0,1	0,2	-
Total de pontos	2.000	1.900	1.800	1.800	2.000	1.698	1.695	1.200	2.000	2.000	2.000	1.913	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

Fonte dos dados: (1) Este trabalho; (2) Sousa, 2009 e (3) Sirqueira, 2010.

- = Mineral ausente na rocha x= Mineral presente na rocha

LITOLOGIA																	
LITOLOGIA	BIOTITA TRONDHJEMITO																
	Amostras																
Minerais	CLR 05B ₍₁₎	CLR 18	CLR 45	CLR 91 ₍₁₎	CLR 152	CLR 162	CLR 163	CLR 167	AABG 89	AABG 95	CLR 32	CLR 153 ₍₁₎	AABG 34	AABG 98	AABG 78A	AABG 78B	AABG 97
Quartzo	31,2	36,9	37	35,1	28,9	32,1	29,7	31,7	27,8	35,3	29,6	28	31	33,1	28,2	35,7	34,7
Plagioclásio	51,8	55,2	53,1	58,8	64,3	62,5	63,1	62,6	64,7	57,8	54,9	60	58	55,1	56,8	54,6	60
K-Feldspato	12,3	x	0,4	-	-	-	-	0,4	-	-	x	-	0,9	-	1,6	0,8	-
Biotita	3,2	5,4	7,4	4,2	4,7	4,2	3,9	4,4	4,8	2,8	11,4	10,4	4,7	5,2	9,5	7	2,2
Muscovita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Epidoto (p)	-	0,8	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	-	0,8	1,2	0,2	1,7	1,8	1,2	0,5	0,8
Epidoto (s)	0,9	1,3	1,2	1,1	0,9	0,8	2,1	0,5	0,4	2,3	1,5	0,5	3,5	3,3	2,4	1,1	1,5
Clorita	0,3	0,2	-	0,2	0,4	-	0,7	-	0,7	0,2	-	-	x	1,5	0,1	0,2	0,3
Allanita	x	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	0,6	x	x	x	-	x
Titanita	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,1	x	x	0,3	0,7	0,8	0,3	0,2	-	0,2	0,1	0,5
Carbonatos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-
Opacos	x	x	-	-	0,2	0,1	0,2	1,3	-	-	0,1	-	-	-	-	-	x
Zircão	-	-	-	x	-	-	-	-	x	x	-	x	-	-	-	-	-
Apatita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-
Félsicos (F)	96.1	93.4	91.7	95	94.1	95.4	94.9	95.2	92.9	95.4	86	88.5	93.4	91.5	89	92.2	96.2
Máficos (M)	4.9	6.6	8.3	5	5.9	4.6	5.1	4.8	7.1	4.6	14	11.5	6.4	8.5	11	7.8	3.8
A+P	64.1	55.2	53.5	58.8	64.3	62.5	63.1	63	64.7	57.8	54.9	60	58.9	55.1	58.4	54.4	60
Q+A	43,2	36,9	37,4	35,1	28,9	32,1	29,7	32,1	27,8	35,3	29,6	28	31,9	33,1	29,8	36,5	34,7
A 100%																	
Quartzo	32	39,5	40,5	37	28	32	31	33	30	37	34,5	32	33	36	31,5	38,7	36
Plagioclásio	54	60,5	59,5	63	72	68	69	66	70	63	65,5	68	66	64	66,7	60,4	64
K-feldspato	13	-	0,5	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1,8	0,8	-
Total de pontos	2.000	2.000	2.000	2.000	1.9600	1.600	1.400	2.000	2.000	1.200	1.686	2.000	1.200	1.200	2.000	2.000	2.000

Fonte dos dados: (1) Este trabalho; (2) Sousa, 2009 e (3) Sirqueira, 2010

- = Mineral ausente na rocha x= Mineral presente na rocha