



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 434

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS
ASSOCIAÇÕES LEUCOGRANÍTICAS E TTG ARQUEANOS DA
ÁREA DE NOVA CANADÁ (PA) – DOMÍNIO CARAJÁS**

Dissertação apresentada por:

PABLO JOSÉ LEITE DOS SANTOS

Orientador: Prof. Davis Carvalho de Oliveira (UFPA)

**BELÉM
2014**

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

S237g Santos, Pablo José Leite dos -

Geologia, petrografia e geoquímica das associações leucograníticas e TTG arqueanos da área de Nova Canadá (PA) – Domínio Carajás / Pablo José Leite dos Santos - 2014.

123 fl.: il.

Orientador: Davis Carvalho de Oliveira

Dissertação (mestrado em geoquímica e petrologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2014.

1. Geologia estratigráfica – Arqueano. 2. Granito – Nova Canadá (Pa). 3. Geoquímica - Nova Canadá (Pa). 4. Petrologia. 5. Carajás, Serra dos (Pa). I. Título.

CDD 22. ed.: 551.712



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

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS
ASSOCIAÇÕES LEUCOGRANÍTICAS E TTG ARQUEANOS DA
ÁREA DE NOVA CANADÁ (PA) – DOMÍNIO CARAJÁS**

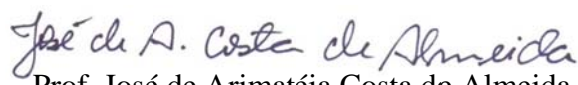
**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
PABLO JOSÉ LEITE DOS SANTOS**

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

Data de Aprovação: 25 / 02 / 2014

Banca Examinadora:


Prof. Davis Carvalho de Oliveira
(Orientador-UFPA)


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


Prof. Sérgio Pacheco Neves
(Membro-UFPE)

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho,

Muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

- Registro meus sinceros agradecimentos a Deus por ter possibilitado que eu concluísse este trabalho com saúde e tranquilidade.
- A minha família, em especial meus pais e irmãs por acreditarem em mim e pelo incentivo dado durante os estudos.
- À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Instituto de Geociências, e em especial ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, pela infraestrutura disponibilizada.
- A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.
- Ao orientador e amigo, Prof. Davis Carvalho, por sua imensa participação em mais esta etapa do meu processo de crescimento. Agradeço por sua confiança, motivação, paciência e compreensão naqueles momentos mais difíceis, especialmente por não ter desistido (...), e pelas novas oportunidades.
- Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG), do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, pelo suporte técnico-científico indispensável ao desenvolvimento deste trabalho.
- Aos professores pesquisadores do GPPG pela imensa ajuda e troca de informações nas discussões referentes ao tema da pesquisa.
- A todos os colegas do GPPG pelo companheirismo, críticas e sugestões.
- Aos amigos pela companhia ao longo da minha formação acadêmica (Dalma Karla, Mara Letícia, Luciane Katuscia, Carlos Alex, Misrtes Emília, Ney Manaças, Débora Faria, Ana Flávia Brittes, Gabrielle Lima, Mayara Fraeda, Kamilla Borges, Patrick Araújo, Bhrenno Marangoanha, Daniel Silvestre, Alice Cunha, Maria Nattânia, Eleilson, Grabiél e Chrystophe Ronaibe, Rodrigo Santos).
- Aos companheiros encontrados antes e durante Terrativa Minerais que estiveram ao meu lado quando foi preciso (Albano Leite, Sérgio Martins, Marcelo Oliveira, Fabiano Lima, Daniel Donza, Tiago Conceição, Marco Figueiredo, André Barbosa e Francisco Dias).

RESUMO

O mapeamento geológico realizado na área de Nova Canadá, porção sul do Domínio Carajás, aliado aos estudos petrográficos e geoquímicos, permitiram a caracterização de pelo menos três novas unidades que antes estavam inseridas no contexto geológico do Complexo Xingu. São elas: (i) Leucogranodiorito Nova Canadá, que é constituído por rochas leucogranodioríticas mais enriquecidas em Al_2O_3 , CaO , Na_2O , Ba , Sr e na razão Sr/Y , que mostram fortes afinidades geoquímicas com a Suíte Guarantã do Domínio Rio Maria, as quais também podem ser correlacionadas aos TTGs Transicionais do Cráton Yilgarn. Estas rochas apresentam padrão ETR levemente fracionado, mostram baixas razões $(\text{La}/\text{Yb})_N$ e anomalias negativas de Eu ausentes ou discretas; (ii) Leucogranito Velha Canadá, caracterizado pelos conteúdos mais elevados de SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Rb , HFSE (Zr , Y e Nb), das razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$, Ba/Sr e Rb/Sr . Apresentam dois padrões distintos de ETR: (a) baixas à moderadas razões $(\text{La}/\text{Yb})_N$ com anomalias negativas de Eu acentuadas; e (b) moderadas à altas razões $(\text{La}/\text{Yb})_N$, com anomalias negativas de Eu discretas e um padrão côncavo dos ETRP. Em diversos aspectos, as rochas do granito Velha Canadá mostram fortes afinidades com os leucogranitos potássicos tipo Xinguara e Mata Surrão do Domínio Rio Maria, assim como aqueles da região da Canaã dos Carajás e mais discretamente com os granitos de baixo Ca do Cráton Yilgarn. Para a origem das rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá é admitida a hipótese de cristalização fracionada a partir de líquidos com afinidade *sanukitóide*, seguido por processos de mistura entre estes e líquidos de composição trondhjemítica, enquanto que para aquelas de alto K do Leucogranito Velha Canadá, acredita-se na fusão parcial de metatonalitos tipo TTG em diferentes níveis crustais, para gerar líquidos com tais características; e (iii) associações trondhjemíticas com afinidade TTG de alto Al_2O_3 , Na_2O e baixo K_2O , compatíveis com os granitoides arqueanos da série cálcio-alcalina tonalítica-trondhjemítica de baixo potássio. Foram distinguidas duas variedades: (a) biotita-trondhjemito com estruturação marcada pelo desenvolvimento de feições que indicam atuação de pelo menos dois eventos deformacionais em estágios sin- a pós-magmáticos, como bandamentos composicionais, dobras e indícios de migmatização; e (b) muscovita \pm biotita trondhjemito que é distinguido da variedade anterior pela presença da muscovita, saussuritização do plagioclásio, textura equigranular média e atuação discreta da deformação com o desenvolvimento de uma foliação E-W de baixo ângulo. A primeira variedade destes litotipos, que ocorre predominantemente na porção norte, tem ocorrência restrita. Com intensa deformação e prováveis feições de anatexia (migmatitos) podem indicar que estas rochas

tenham sido afetadas por um retrabalhamento crustal, ligado à geração dos leucogranitos predominantemente descritos na área. Os trondhjemitos do sul da área são mais enriquecidos em Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , CaO , Zr , Rb , e na razão Rb/Sr em relação aos trondhjemitos da porção norte da área. Estas exibem ainda padrões 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 e a falta de plagioclásio tanto na fase residual como na fracionante. Em uma análise geral, a disposição dos *trends* geoquímicos evolutivos de ambas as variedades sugere que estas unidades não são comagmáticas.

As afinidades geoquímicas entre as rochas da área de Nova Canadá com aquelas do Domínio Mesoarqueano Rio Maria, poderiam nos levar a entender a região de Nova Canadá como uma extensão do Rio Maria para norte, enquanto que para aquelas do Leucogranito Velha Canadá, que são mais jovens e geradas já no Neoarqueano, se descarta a idéia de associação com os mesmos eventos tectono-magmáticos que atuaram em Rio Maria.

Palavras-Chave: Leucogranodioritos, Leucogranitos, TTG, Arqueano, Domínio Carajás, Nova Canadá.

ABSTRACT

The geological mapping carried out in the Nova Canada and Velha Canada villages, south portion of the Carajas Domain, ally to the petrographic and geochemical data allowed to the characterization of new geological units before inserted in the Xingu Complex geological context. In abundance order they are: (i) Nova Canada Leucogranodiorite composed predominantly by leucogranodiorite rocks that are more enriched in Al_2O_3 , CaO , Na_2O , Ba , Sr and in the Sr/Y ratio. They show strong geochemical affinities with Guarantã Suites from the Rio Maria Domain, which are also correlated to Transitional TTGs from Yilgarn Craton. Their REE pattern is slightly fractionated with low $(\text{La}/\text{Yb})_N$ ratios with Eu negative anomalies absent or discrete; (ii) Velha Canadá Leucogranite comprised essentially by leucogranitic rocks that show higher contents of SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Rb , HFSE (Zr , Y e Nb), and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$, Ba/Sr e Rb/Sr ratios. The Velha Canada area rocks are characterized by two distinct patterns REE of: (a) moderate to low $(\text{La}/\text{Yb})_N$ ratios with accentuated Eu negative anomalies, and (b) high to moderate $(\text{La}/\text{Yb})_N$ ratios with discrete Eu negative anomalies. A concave HREE pattern is observed. In several aspects, the Velha Canada granite show similarities with K-Leucogranites like Xinguara and Mata Surrão granites from Rio Maria Domain, and more discretely with low-Ca granites from Yilgarn Craton. To origin of Nova Canadá Leucogranodiorite rocks is admitted fractional crystallization by sanukitoid liquids, following by mixing with trondhjemitic magmas, while for those high-K rocks is assumed partial melting of metatonalites rocks related to TTG Suites on different crustal levels, for give rise to these liquids; and (iii) Trondhjemitic associations with high-Al and low-K calc-alkaline TTG series affinities. Two varieties were distinguished: (a) biotite-trondhjemite with deformational features like compositional banding, folds and evidence of migmatization, suggesting the presence at least two compressional events during the sin- and post magmatic stages; and (b) (muscovite) biotite-trondhjemite that differs from the previous one by the presence of muscovite, plagioclase saussuritization, medium even-grained texture and discrete deformation features with development of a low-angle foliation with E-W direction. The restrict occurrence of the first one, ally with intense deformation and eventual anatexie processes that affected these rocks, can indicate a crustal rework linked to generation of the leucogranites described in the Nova Canadá area. The trondhjemites of the southern part of area are more enriched in Fe_2O_3 , MgO , TiO_2 , CaO , Zr , Rb , an in the Rb/Sr ratio in relation to those of the northern part. The arrangement of trends defined by the set of analyzed samples, suggests that theses varieties are not cogenitc or comagmatic. These rocks

also show fractionated REE patterns, with variations in contents of the heavy REE and Strong light REE enrichment, besides the absence of the Eu and Sr anomalies, and low contents of Yb and Y. Such aspects are typically attributed to magmas generated from partial melting of a mafic source at different depths, with increasing of the garnet influence in the residue, as well as the lack of plagioclase in both residual and fractionating phases. Geochemical affinities between the rocks studied with those of the mesoarchean Rio Maria domain, suggest the extension of Rio Maria Domain to north until the Nova Canadá area, while that the leucogranodiorites of the Velha Canadá area, that are younger and generated in the neoproterozoic, discard the hypothesis to associate the generation of these rocks to the same tectonic-magmatic events that acted in Rio Maria.

Keywords: Leucogranodiorites, Leucogranites, TTG, Archean, Carajas Domain, Nova Canadá.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.....	03
Figura 2. Mapa geológico e localização da Província Carajás no Cráton Amazônico.....	08
Figura 3. Mapa de amostragem da área de estudo.....	14

CAPÍTULO II

Figura 1. Mapa geológico e localização da Província Carajás no Cráton Amazônico.....	21
Figura 2. Mapa Geológico da área de Nova Canadá no Domínio Carajás.....	24
Figura 3. Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' para as rochas leucograníticas de Nova Canadá.....	26
Figura 4. Aspectos petrográficos dos leucogranitos da área Nova Canadá.....	30
Figura 5. Ordem de cristalização para as rochas leucograníticas da área de Nova Canadá.....	33
Figura 6. (a-g) diagramas Harker para elementos maiores dos leucogranitos da área de Nova Canadá: (h-j) os somatórios dos elementos ferromagnesianos e #Mg vs. SiO ₂	37, 38
Figura 7. Diagramas Harker para elementos traço dos leucogranitos de Nova Canadá.....	40
Figura 8. Diagramas Harker para as rochas leucograníticas de Nova Canadá com alguns elementos traço e razões entre estes elementos.....	41
Figura 9. Padrões de ETR com valores normalizados pelo condrito de Evensen <i>et al.</i> . (1978), para as rochas leucograníticas de Nova Canadá.....	43
Figura 10. Diagramas mostrando a caracterização geoquímica das leucogranitos de Nova Canadá.....	45, 46
Figura 11. Diagrama de discriminação dos elementos maiores para leucogranitos (Sylvester 1989).....	47
Figura 12. Padrões de ETR com valores normalizados pelo condrito de Evensen <i>et al.</i> (1978), para as rochas leucograníticas de Nova Canadá.....	49

CAPÍTULO III

Figura 1. Mapa geológico e localização da Província Carajás no Cráton Amazônico.....	68
Figura 2. Mapa Geológico da área de Nova Canadá no Domínio Carajás.....	71
Figura 3. Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen 1976) para as rochas trondhjêmíticas de Nova Canadá.....	74
Figura 4. Aspectos texturais das rochas trondhjêmíticas da área de Nova Canadá.....	76
Figura 5. Diagramas Harker para elementos maiores dos trondhjemitos da área de Nova Canadá.....	80
Figura 6. (a-f) diagramas de Harker para elementos traço dos trondhjemitos de Nova Canadá; (g, h) diagramas de Harker para elementos traço dos trondhjemitos de Nova Canadá com razões entre estes elementos.....	82, 83
Figura 7. Padrões de ETR com valores normalizados pelo condrito de Evensen <i>et al.</i> (1978), para as Associações Tonalítica-Trondhjêmíticas da Província Carajás.....	84
Figura 8. Caracterização geoquímica dos trondhjemitos de Nova Canadá.....	86, 87
Figura 9. Diagramas utilizando razão Sr/Y vs. Y e La/Yb vs. Yb para as rochas dos trondhjemitos de Nova Canadá.....	88

LISTA DE TABELAS**CAPÍTULO II**

Tabela 1. Composições modais das rochas do Leucogranito Velha Canadá.....	26
Tabela 2. Composições modais das rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá.....	27
Tabela 3. Composição química das rochas do Leucogranito Velha Canadá.....	35
Tabela 4. Composição química das rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá.....	36

CAPÍTULO III

Tabela 1. Composições modais dos trondhjemitos de Nova Canadá.....	73
Tabela 2. Composição química dos trondhjemitos da área de Nova Canadá.....	79

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
LISTA DE TABELAS	xii
CAPÍTULO I	1
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO	1
1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	3
1.2.1 Geologia do Domínio Rio Maria	4
1.2.2 Geologia do Domínio Carajás	6
1.3 JUSTIFICATIVA	11
1.4 OBJETIVOS	12
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS	12
1.5.1 Pesquisa Bibliográfica	12
1.5.2 Mapeamento Geológico	13
1.5.3 Petrografia	13
1.5.4 Geoquímica	13
CAPITULO II	15
2 GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS ASSOCIAÇÕES LEUCOGRANÍTICAS ARQUEANAS DA ÁREA DE NOVA CANADÁ – DOMÍNIO CARAJÁS	15
RESUMO	15
INTRODUÇÃO	18
CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	19
CARACTERIZAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES LEUCOGRANÍTICAS DE NOVA CANADÁ – PORÇÃO SUL DO DOMÍNIO CARAJÁS	22
Geologia	22
Petrografia	25
Composições modais e classificação	25
Aspectos texturais	28
Ordem de cristalização dos diferentes minerais	31
Geoquímica	33
Elementos maiores e menores	33
Elementos traço	38
Caracterização da série magmática	43

COMPARAÇÕES COM GRANITOIDES DA PROVÍNCIA CARAJÁS E OUTROS CRÁTONS ARQUEANOS.....	47
CONSIDERAÇÕES SOBRE A ORIGEM DOS LEUCOGRANITOS ARQUEANOS DA ÁREA DE NOVA CANADÁ	50
CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
AGRADECIMENTOS	54
REFERÊNCIAS	54
CAPÍTULO III	61
3TRONDHJEMITOS DA ÁREA DE NOVA CANADÁ: NOVAS OCORRÊNCIAS DE ASSOCIAÇÕES MAGMÁTICAS TIPO TTG NO DOMÍNIO CARAJÁS	61
RESUMO	61
ABSTRACT	63
INTRODUÇÃO.....	65
CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	66
ROCHAS TONALÍTICAS-TRONDHJEMÍTICAS DO DOMÍNIO CARAJÁS.....	68
CARACTERIZAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES TRONDHJEMÍTICAS DE NOVA CANADÁ	69
Geologia	69
Petrografia	72
Composições modais e classificação	72
Geoquímica	77
Elementos traços.....	81
Caracterização da série magmática.....	84
DISCUSSÕES	87
CONCLUSÕES	89
AGRADECIMENTOS	90
REFERÊNCIAS	91
CAPITULO IV	95
4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
REFERÊNCIAS	99

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A região de Vila Nova Canadá, localizada a nordeste do município de Água Azul do Norte (Figura 1), está inserida no contexto geológico da porção sul do Domínio Carajás no sudeste do Cráton Amazônico (Almeida *et al.* 1981). Nesta região, os trabalhos anteriores haviam sido apenas de escala regional, ou de detalhe em unidades adjacentes, a exemplo dos granitoides do Complexo Xingu (Silva *et al.* 1974), os granitoides da Suíte Plaquê (Avelar *et al.* 1999), Granito Boa Sorte (Rodrigues *et al.* 2010), Diopsídio-Norito Pium (Santos *et al.* 2008), e rochas máficas do *Greenstone Belt* Sapucaia (Araújo & Maia 1991). As rochas pertencentes ao Complexo Xingu (Vasquez *et al.* 2008b) constituíram até a realização do presente trabalho, a unidade mais expressiva da área de Nova Canadá, a partir do qual foram identificados diversos tipos de granitoides, cujas idades marcam eventos meso- e neoarqueanos (2,88 Ga - 2,74 Ga). Suas características geoquímicas sugerem diferentes processos de formação, e provavelmente envolvendo fontes distintas (Oliveira *et al.* 2010, Santos *et al.* 2010). Com destaque para os leucogranitos cujos estudos petrográficos e geocronológicos preliminares sugeriram a existência de duas variedades litológicas, com características e idades de formação distintas (Oliveira *et al.* 2010, Santos *et al.* 2010, Sousa *et al.* 2010).

Em razão da escassez de informações sobre as rochas de Nova Canadá, particularmente do que diz respeito à distinção entre leucogranitos *strictu sensu* e *lato sensu*, e na ausência da caracterização de associações TTG, optou-se por abordar neste trabalho, estudos que permitissem classificar petrográfica e geoquimicamente os diferentes leucogranitos arqueanos de afinidade cálcio-alcalina e as rochas trondhjemíticas da área de Nova Canadá, bem como definir suas séries magmáticas, e discutir sobre seus possíveis processos de formação e evolução magmática, a fim de contribuir para o entendimento geológico da porção sul do Domínio Carajás.

Os resultados obtidos durante o desenvolvimento deste trabalho permitiram a individualização do Leucogranodiorito Nova Canadá e Leucogranito Velha Canadá, sendo que o primeiro mostra características similares aos Leucogranodioritos-granitos da Suíte Guarantã (Almeida *et al.* 2010) do Domínio Rio Maria, e o último possui afinidades com os granitos de alto-K da região de Xinguará, e que possivelmente estão relacionados a processos

de anatexia crustal. Já as associações tipo TTG mostram fortes afinidades com aquelas identificadas no Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2011), em especial com o Trondhjemitó Mogno. Os demais litotipos reconhecidos, os quais englobam granitoides subalcalinos contendo anfibólio e diques máficos, foram descritos de forma sucinta. A presente dissertação é constituída de um capítulo introdutório (Capítulo 1), o qual aborda o contexto geológico regional, as problemáticas, os objetivos, e os materiais e métodos utilizados durante a pesquisa. Os principais resultados são apresentados na forma de artigos científicos (Capítulos 2 e 3), sendo que o capítulo 2 trata da caracterização petrográfica e geoquímica das variedades leucograníticas arqueanas de Nova Canadá, e o terceiro capítulo apresenta a caracterização petrográfica e geoquímica dos trondhjemitos de Nova Canadá. No quarto e último capítulo, são apresentadas as conclusões deste trabalho. Seguem os títulos dos manuscritos dos artigos:

CAPÍTULO 2 – Artigo 1: GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS ASSOCIAÇÕES LEUCOGRANÍTICAS ARQUEANAS DA ÁREA DE NOVA CANADÁ – DOMÍNIO CARAJÁS.

O artigo trata da petrografia e geoquímica de leucogranitos cálcio-alcalinos arqueanos da porção sul do Domínio Carajás. Os dados apresentados permitiram a individualização de duas unidades leucograníticas distintas, denominadas aqui de leucogranitos Nova Canadá e Velha Canadá. As rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá têm altos conteúdos de Ba e Sr, e conteúdos de ETR similares aos típicos TTGs. São similares aos leucogranodioritos-granitos da Suíte Garantã do Domínio Rio Maria, e TTGs Transicionais dos Cráton Yilgarn. Enquanto o Leucogranito Velha Canadá, mais enriquecido em quartzo modal e feldspato alcalino, mostra altos conteúdos de K_2O e SiO_2 . Apresentam maior fracionamento de ETRL em relação aos ETRP e anomalia negativa de Eu proeminente. Suas características geoquímicas são semelhantes aos granitos de alto-K, bem como aos leucogranitos potássicos tipo Xinguara e Mata Surrão do Domínio Rio Maria.

CAPÍTULO 3 – Artigo 2: TRONDHJEMITOS DA ÁREA DE NOVA CANADÁ: NOVAS OCORRÊNCIAS DE ASSOCIAÇÕES MAGMÁTICAS TIPO TTG NO DOMÍNIO CARAJÁS.

Este artigo visa à caracterização geológica, petrográfica e geoquímica dos trondhjemitos individualizados na área de Nova Canadá no Subdomínio de Transição, a fim de definir o posicionamento geológico e ambiente tectônico dessas rochas dentro da Província

Carajás, bem como efetuar comparações destas rochas com as que ocorrem tanto no Domínio Rio Maria como no Domínio Carajás.

CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Neste tópico será apresentada uma descrição conjunta dos principais aspectos conclusivos discutidos nos dois artigos citados acima, buscando-se com isso, fornecer uma visão integrada dos principais resultados e contribuições obtidas para a evolução do conhecimento geológico da área de Nova Canadá.

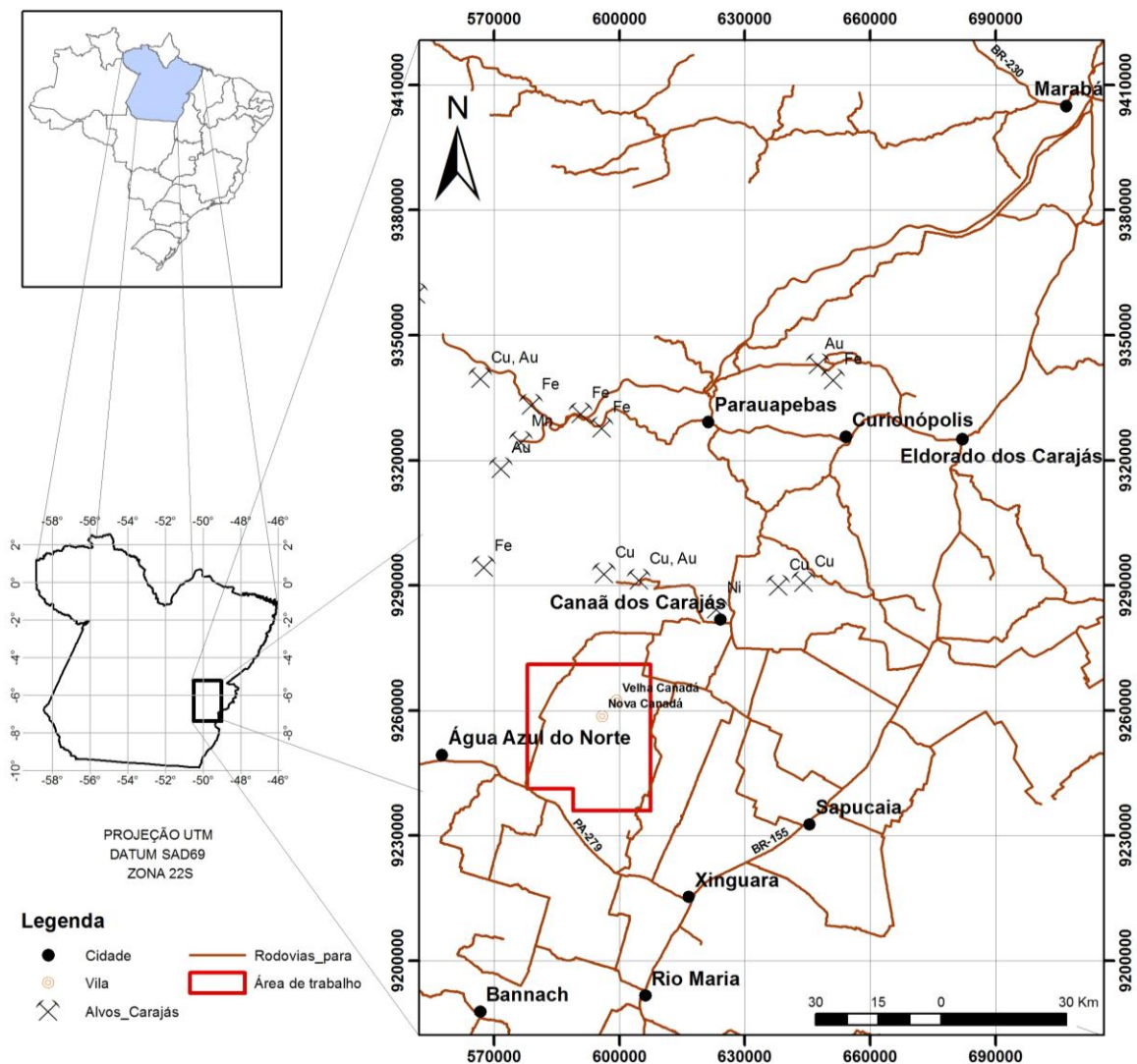


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Carajás (Figura 2b) está situada no sudeste do Cráton Amazônico (Almeida *et al.* 1981), mais precisamente ao norte da Plataforma Sul-americana segundo Cordani & Sato (1999), e dentro do contexto da província geocronológica Amazônia Central

(Figura 2a) de Tassinari & Macambira (1999). A província faz limite a norte com o Domínio Bacajá, cujo limite foi baseado em critérios geocronológicos (Cordani *et al.* 1984, Macambira *et al.* 2003, 2004), e de contrastes metamórficos, litológicos, estruturais e de granitogênese (Ricci *et al.* 2003). Ao sul, o limite é com o Domínio Santana do Araguaia, ao leste o limite com a Província Tocantins é marcado pelo cavalgamento do Cinturão Araguaia, e a oeste, pelas rochas ígneas e sedimentares paleoproterozóicas da Província Amazônia Central (Vasquez *et al.* 2008b). A Província Carajás foi segmentada em dois terrenos tectônicos principais, ficando ao sul o Domínio Rio Maria e ao norte, o Domínio Carajás. Em seguida, estudos na porção norte da Província permitiram a separação do Domínio Carajás em: Subdomínio de Transição (Feio 2011) e Bacia Carajás (Santos 2003, Vasquez *et al.* 2008b). A seguir estão descritas as unidades que compõem estes domínios.

1.2.1 Geologia do Domínio Rio Maria

O Domínio Rio Maria (Figura 2b) é caracterizado pela ocorrência de rochas supracrustais tipo *greenstone belt* e diversos tipos de granitoides arqueanos, que incluem TTGs, granitoides de alto-Mg (série *sanukitóide*) e leucogranitos cálcio-alcálicos. Estes foram recobertos pelos sedimentos do Grupo Rio Fresco, e posteriormente, todo o domínio foi afetado por intrusões de granitos tipo-A anorogênicos e diques de diferentes composições. Dentre as rochas supracrustais, são descritas aquelas do Supergrupo Andorinhas ($3046\pm 32 - 2904\pm 5$ Ma – Macambira & Lancelot 1991, Pimentel & Machado 1994, Avelar 1996, Souza *et al.* 2001, Rolando & Macambira 2003, Vasquez *et al.* 2008b), e Grupo Tucumã (DOCEGEO 1988, Araújo & Maia 1991, Vasquez *et al.* 2008b).

A série TTG mais antiga de Rio Maria é dividida em dois momentos principais de formação, sendo no primeiro momento (2,96 Ga) caracterizada pela cristalização das rochas mais velhas do Tonalito Arco Verde e Trondhjemitó Mogno (Macambira & Lafon 1995, Rolando & Macambira 2003, Almeida *et al.* 2008, Almeida *et al.* 2011), e no segundo momento (2,93 Ga), pela cristalização do Complexo Tonalítico Caracol, Tonalito Mariazinha, e das rochas mais jovens do Tonalito Arco verde (Leite *et al.* 2004, Almeida *et al.* 2011). Trata-se de biotita tonalitos e/ou trondhjemitos deformados, com bandamento composicional orientado NW-SE a E-W, com exceção das rochas do Tonalito Mariazinha que exibem orientação NE-SW a N-S (Guimarães 2009). Segundo Almeida *et al.* (2011) estas rochas derivaram de fontes similares aos metabasaltos do Supergrupo Andorinhas, as quais foram distinguidas em três grupos: (i) altas razões La/Yb, Sr/Y e Nb/Ta, cujas rochas teriam derivado de magmas gerados a altas pressões ($> 1,5$ GPa.), tendo granada e anfibólio no

resíduo; (ii) médias razões La/Yb, cujos magmas seriam gerados a pressões intermediárias (1,0-1,5 GPa.) no campo de estabilidade da granada; e (iii) grupo com baixas razões La/Yb, Sr/Y e Nb/Ta, com magmas gerados em baixas pressões ($\leq 1,0$ GPa.) a partir de fonte anfibolítica, com plagioclásio no resíduo.

Os granitoides de alto-Mg (série *sanukitóide*) são representados pelas rochas do cálcio-alcálicas do Granodiorito Rio Maria (Medeiros & Dall'Agnol 1988, Oliveira *et al.* 2009), e rochas associadas, as quais têm idade mesoarqueana (2,87 Ga – Leite & Dall'Agnol 1994). As unidades associadas eram anteriormente inclusas no contexto do Quartzo-Diorito Parazônia (Guimarães 2009), e granito Rancho de Deus (Dias 2009), anteriormente denominado Tonalito Parazônia (DOCEGEO 1988, Huhn *et al.* 1988).

A Suíte Guarantã (2875 \pm 8 e 2872 \pm 7 Ma – Dias 2009, Almeida *et al.* 2010) é caracterizada pelas rochas do Granito Guarantã, granodioritos Azulona e Trairão (Dias 2009, Almeida *et al.* 2010). As rochas do Granodiorito Grotão (Guimarães 2009) são geoquimicamente similares a esta suíte, entretanto, não há idades geocronológicas para esta unidade. Almeida *et al.* (2010) admite que as rochas da Suíte Guarantã sejam produto da mistura em diferentes proporções de líquidos trondhjemiticos e líquidos graníticos com altos conteúdos de Ba e Sr, afins dos *sanukitóides*.

Os leucogranitos potássicos de afinidade cálcio-alcálica são caracterizados pelos monzo-sienogranitos do Granito Xinguara de idade 2865 \pm 1 Ma (Leite *et al.* 2004), e pelas rochas monzograníticas do Granito Mata Surrão (Dall'Agnol *et al.* 2006), de idade 2872 \pm 10 Ma (Rodrigues *et al.* 1992). Segundo Leite (2001) o Granito Xinguara seria originado a partir da fusão parcial de rochas da série TTG mais antiga (Arco verde, Caracol, Mariazinha), sendo que o líquido residual conteria plagioclásio, hornblenda, biotita e quartzo, embora o modelo cuja hornblenda fosse a principal fase mineral no resíduo seja mais bem discutido, em função do padrão côncavo dos ETR pesados, o qual sugere fracionamento de hornblenda.

A associação TTG mais jovem é representada pelo Trondhjemitito Água Fria, o qual é geoquimicamente similar ao Complexo Tonalítico Caracol e TTGs arqueanos típicos, embora seja mais enriquecido em K e possua idade de cristalização mais nova (2864 \pm 21 Ma – Leite 2001, Leite *et al.* 2004).

Os sedimentos do Grupo Rio Fresco representam uma sequência transgressiva com clásticos grosseiros na base e finos até químicos no topo (DOCEGEO 1988). Estes recobrem parte do embasamento arqueano de Rio Maria.

Os granitos tipo-A anorogênicos do Domínio Rio Maria são representados pelos corpos Seringa, Gradaús, São João e pelos granitos da Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1999,

2005, Oliveira 2001). Estes são acompanhados temporalmente por enxames de diques máficos e félsicos.

1.2.2 Geologia do Domínio Carajás

O Domínio Carajás (Figura 2b), localizado na porção norte da Província Carajás, é caracterizado por rochas do Mesoarqueano assim como em Rio Maria, mas diferente deste domínio, é intensamente afetado por eventos neoarqueanos (Feio 2011, Dall’Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008b). Assim como no sul da província, o Domínio Carajás é caracterizado por rochas supracrustais tipo *greenstone belts*, grande variedade de granitoides, rochas sedimentares e granitoides tipo-A anorogênicos. A compartimentação tectônica deste bloco é representada pela Bacia Carajás ao norte, e embasamento granítico do Subdomínio de Transição ao sul.

Os *greenstone belts* do Grupo Sapucaia são caracterizadas por rochas meta-máficas, meta-ultramáficas e metassedimentares, metamorfasadas em fácies xisto verde (DOCEGEO 1988, Costa *et al.* 1994). Apesar de estarem no limite tectônico entre os domínios Rio Maria e Carajás são vinculadas ao Supergrupo Andorinhas (DOCEGEO 1988), interpretadas por Vasquez *et al.* (2008b) como rochas do Domínio Rio Maria. Embora rochas afins desta unidade tenham sido descritas no Subdomínio de Transição (Oliveira *et al.* 2010, Feio 2011), tornando o posicionamento estratigráfico desta unidade controverso.

O embasamento do Domínio Carajás é representado pelas rochas metamórficas de alto grau do Ortogranulito Chicrim-Cateté (Vasquez *et al.* 2008b), e rochas gabróicas da série *charnockítica* do Diopsídio-Norito Pium (Ricci & Carvalho 2006, Santos *et al.* 2012), este último, antigamente relacionado ao Complexo Pium (Hirata *et al.* 1982, Araújo *et al.* 1988, Araújo & Maia 1991), datados em 3002 ± 14 e 2859 ± 9 Ma (Pidgeon *et al.* 2000), idades estas interpretadas como de cristalização e metamorfismo, respectivamente. Porém, novos dados geocronológicos recém-obtidos (Santos *et al.* 2012) mostraram idades consideradas como de cristalização em 2746 ± 1 Ma, dados estes que tornam controversa a discussão sobre origem ígnea ou metamórfica desta unidade, bem como seu posicionamento estratigráfico.

Dentre os granitoides mais antigos, destacamos as rochas do Tonalito Bacaba, composto predominantemente por tonalitos que contém hornblenda e biotita em sua mineralogia, que foram datados em 3005 ± 8 Ma (Moreto *et al.* 2011).

O Complexo Xingu foi o nome utilizado inicialmente para denominar a associação litológica heterogênea de maior expressão no Cráton Amazônico constituída por gnaisses, migmatitos, granitoides variados, rochas supracrustais tipo *greenstone belt*, e complexos

básicos a ultrabásicos (Silva *et al.* 1974, Cordeiro & Saueressig 1980, Ianhez *et al.* 1980, Medeiros Filho & Meireles 1985, DOCEGEO 1988, Araújo & Maia 1991), para os quais obteve-se uma idade 2972 ± 16 Ma em granodiorito na região de Tucumã (Avelar *et al.* 1999), e 2859 ± 4 Ma em metagranitoides na região de Curionópolis (Machado *et al.* 1991), idade esta interpretada como de migamatização. O avanço do conhecimento sobre a geologia deste complexo permitiu o reconhecimento de que na verdade a unidade carecia de dados para individualização, o que levou ao abandono do termo Complexo Xingu no domínio Bacajá (Macambira *et al.* 2001, Vasquez *et al.* 2005, Vasquez *et al.* 2008b) e no Domínio Rio Maria (Leite 2001, Dall'Agnol *et al.* 2006, Vasquez *et al.* 2008b), ficando restrito apenas Domínio Carajás (Vasquez *et al.* 2008b), onde os trabalhos recém-desenvolvidos mostraram que o Complexo Xingu nesta região também está passível de individualização em novas unidades.

O Granito Canaã dos Carajás (Feio *et al.* 2012) é caracterizado por leucogranitos fortemente deformados, dobradas e milonitizados segundo o *trend* E-W, e afetados por zonas de cisalhamento E-W e NE-SW, que apresentam assinatura cálcio-alcalina e foram datados em 2959 ± 6 Ma (Feio *et al.* 2012).

Trondhjemitos Rio Verde é a denominação dada aos trondhjemitos que ocorrem na região de Canaã dos Carajás, no Subdomínio de Transição (Feio *et al.* 2012). São rochas foliadas, e com bandamento composicional marcado pela alternância de faixas tonalíticas e trondhjemiticas, com geoquímica similar aos típicos TTGs arqueanos, e que foram datados em 2929 ± 3 Ma e 2868 ± 4 Ma (Feio *et al.* 2012).

O Complexo Tonalítico Campina Verde (Feio *et al.* 2012) é caracterizado por duas associações litológicas distintas, ambas deformadas E-W, que estão em contato com as vulcânicas do Supergrupo Itacaiúnas e o Tonalito Bacaba: biotita tonalitos a granodioritos com dioritos e monzogranitos subordinados; e biotita-hornblenda tonalitos com granodioritos e monzogranitos subordinados. Geoquimicamente, estas rochas são distintas dos típicos TTGs arqueanos, e definem uma série cálcio-alcalina expandida (Feio *et al.* 2012), que foram datadas em 2872 ± 1 Ma e 2850 ± 7 Ma (Feio *et al.* 2012).

O Granito Cruzadão (Feio *et al.* 2012) é caracterizado por leucogranitos deformados NW-SE e E-W, que estão em contato litológico com as rochas do Diopsídio-Norito Pium, sendo seccionadas pelo granito anorogênico Rio Branco, e com as rochas dos granitos Bom Jesus e Canaã dos Carajás. Têm assinatura geoquímica transicional entre as séries cálcio-alcalina e alcalina (Feio *et al.* 2012), e foram datadas com grande variação temporal, sendo a idade 2845 ± 15 Ma, admitida como idade mínima de cristalização destas rochas.

O granito gnáissico Bom Jesus (Feio *et al.* 2012) é caracterizado por monzogranitos e sienogranitos foliados e bandados com orientação NE-SW e E-W, que foram afetados por zonas de cisalhamento miloníticas. São rochas cálcio-alcálicas que foram datadas em 2833 ± 6 Ma (Feio *et al.* 2012), sendo esta, interpretada como idade mínima de cristalização.

As rochas do Granito Serra Dourada (Feio *et al.* 2012) são caracterizadas por leucomonzogranitos médios a grossos, pouco deformados, que ora apresentam foliação vertical de orientação E-W, e estão em contato intrusivo no Tonalito Bacaba (Nascimento 2006, Moreto *et al.* 2011, Feio *et al.* 2012). São rochas de assinatura geoquímica cálcio-alcálica, datadas em 2860 ± 22 Ma (Moreto *et al.* 2011) e 2831 ± 6 Ma (Feio *et al.* 2012).

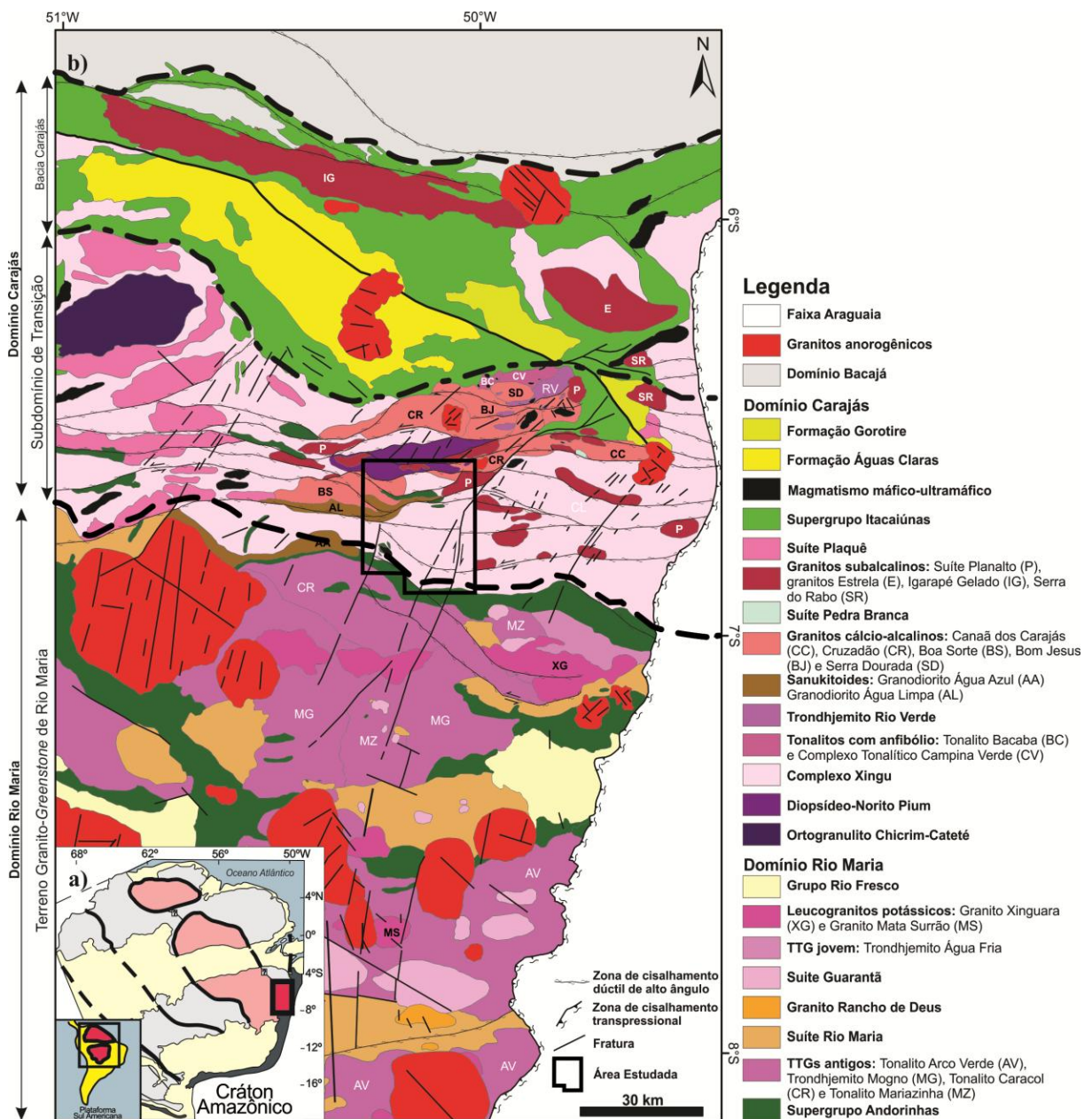


Figura 2. a) Localização da Província Carajás no Crátão Amazônico. Modificado de Tassinari & Macambira (1999); b) Mapa geológico da Província Carajás. Modificado de Vasquez *et al.* (2008b), Almeida *et al.* (2010), Feio *et al.* (2012) e Gabriel *et al.* submetido.

As rochas metavulcanossedimentares do Supergrupo Itacaiúnas são caracterizadas por vulcânicas máficas a ácidas, com assinaturas geoquímicas que variam desde toleítica a cálcio-alcalinas, sobrepostas por rochas metassedimentares de natureza clástica a química (formações ferríferas bandadas), datadas em torno de 2,76 Ga (Machado *et al.* 1991). As rochas desta unidade são desmembradas nos grupos Igarapé Salobo, Grão-Pará, Igarapé Bahia, Igarapé Pojuca, Rio Novo e Buritirama (DOCEGEO 1988).

A Suíte Pedra Branca (Feio *et al.* 2012) é caracterizada por tonalitos e trondhjemitos fortemente deformados, mostrando bandamento magmático (Gomes & Dall'Agnol 2007), que estão intimamente associados às rochas da Suíte Planalto. Trata-se de granitoides sódicos de assinatura toleítica, que foram datados em 2765 ± 39 Ma (Sardinha *et al.* 2004), e 2750 ± 5 Ma (Feio *et al.* 2012).

Os granitos subalcalinos sintectônicos de idade neoarqueana expressivamente descritos no Subdomínio de Transição são caracterizados pelas rochas do Complexo Granítico Estrela, Suíte Planalto, e granitos Serra do Rabo e Igarapé Gelado. O Complexo Granítico Estrela é composto por monzogranitos cuja idade de cristalização é dada por evaporação de zircão em 2763 ± 7 Ma (Barros *et al.* 2001, Barros *et al.* 2009). O Granito Planalto (Huhn *et al.* 1999, Oliveira 2003) é caracterizado por rochas graníticas deformadas e milonitizadas nas bordas, que foram identificadas nas proximidades de Vila Planalto, em Canaã dos Carajás. Estas rochas foram datadas em 2747 ± 2 Ma (Huhn *et al.* 1999). Vários *stocks* graníticos similares a este granito foram identificados na porção sul do Domínio Carajás (Gomes 2003, Oliveira *et al.* 2010), e em seu trabalho, Feio *et al.* (2012) os engloba numa suíte que recebeu o nome de Suíte Planalto. O Granito Serra do Rabo é constituído de álcali-feldspato granitos com sienogranitos subordinados que ocorre próximo à terminação leste da Falha Carajás. Estes foram datados em 2743 ± 2 Ma (Sardinha 2002, Barros *et al.* 2009). O Granito Igarapé Gelado é constituído de granodioritos e monzogranitos, com tonalitos, leucomonzogranitos e sienogranitos subordinados, que ocorrem no extremo norte do Domínio Carajás (Barbosa 2004). Esta unidade foi datada e interpretada por uma idade mínima de cristalização em 2731 ± 26 Ma (Barros *et al.* 2004).

A Suíte Plaquê foi inicialmente citada por Araújo *et al.* (1988) para descrever serras alinhadas E-W, compostas de muscovita-biotita leucogranitos peraluminosos, datados por Avelar (1996) em 2727 ± 29 Ma, e que segundo Jorge João & Araújo (1992) seriam produto de retrabalhamento crustal, a partir dos gnáisses do Complexo Xingu. Contudo, mapeamentos de semi-detalle realizados na região de Canaã dos Carajás mostraram que a ocorrência desta unidade havia sido superestimada, de tal forma que se observou que as serras constituídas de

anfíbólio-biotita monzo-sienogranitos subalcalinos relacionadas à Suíte Planalto (Gomes 2003, Oliveira *et al.* 2010, Feio *et al.* 2012), haviam sido indiscriminadamente inclusos na Suíte Plaquê.

O magmatismo máfico-ultramáfico intrusivo de idade nearqueana do Domínio Carajás pode ser desmembrado nas rochas da Suíte Intrusiva Cateté, Complexo Intrusivo Luanga e Gabro Santa Inês. A Suíte Intrusiva Cateté (Macambira & Vale 1997) é constituída por corpos alongados de gabros, noritos, piroxenitos, serpentinitos e peridotitos, alinhados E-W e N-S. A unidade por sua vez pode ser dividida nos corpos das serras do Onça, Puma, Jacaré, Jacarezinho, Igarapé Carapanã, Fazenda Maginco, Ourilândia, Vermelho, entre outras sem denominação formal, sendo praticamente todas hospedeiras de importantes mineralizações de Ni. A idade da unidade é dada pela datação da Serra do Onça em 2766 ± 6 Ma (Lafon *et al.* 2000). O Complexo Intrusivo Luanga é caracterizado por rochas ultrabásicas e básicas acamadadas que ocorrem nas proximidades da Serra Pelada (Jorge João *et al.* 1982, Medeiros Filho & Meireles 1985), as quais foram datadas em 2763 ± 6 Ma, idade esta interpretada como de cristalização/intrusão (Machado *et al.* 1991). O Gabro Santa Inês é constituído por gabros porfiríticos, leucogabros, microgabros e anortositos fracamente foliados e alongados segundo NE-SW, no extremo oeste do Domínio Carajás. A unidade não tem idade certa, mas é posicionada no Nearqueano por Vasquez *et al.* (2008b), com base na idade de diques e corpos máficos correlatos, que foram datados em $\sim 2,71$ Ga (Meireles *et al.* 1982, Macambira *et al.* 1990, Santos 2002).

Sobrepostas ao embasamento do Domínio Carajás, ocorrem às rochas sedimentares da Formação Águas Claras, que são divididas estratigraficamente com base nas diferenças litológicas e ambientes de formação (Nogueira *et al.* 1995): (i) membro inferior que é formado por pelitos, siltitos e arenitos, possivelmente depositados em plataforma marinha; e (ii) membro superior, caracterizado por arenitos litorâneos (parte inferior), e fluviais (parte superior). A unidade é considerada do Arqueano, e foi posicionada no topo do Grupo Grão-Pará (Pinheiro & Holdsworth 2000).

A Formação Gorotire é constituída de arenitos arcoseanos imaturos, associados aos conglomerados polimíticos depositados por leques aluviais dominados por fluxo de detritos em sistemas fluviais entrelaçados de um *gráben* assimétrico (Lima & Pinheiro 2001). Esta unidade estaria relacionada à Falha Carajás, tendo se formado durante reativação mesoproterozóica.

Os granitos anorogênicos da Suíte Serra dos Carajás são similares àqueles afins já descritos na Província, particularmente no Domínio Rio Maria, mas apresentam

peculiaridades geoquímicas que sugerem fontes e história de cristalização distintos dos demais (Dall'Agnol *et al.* 1994). Sendo representada pelos granitos Central, Carajás, Cigano, Pojuca e Rio Branco (Dall'Agnol *et al.* 2006, Santos *et al.* 2013).

1.3 JUSTIFICATIVA

O reconhecimento de grande diversidade litológica na porção sul do Domínio Carajás aponta para um problema recorrente na província, onde se constata que o Complexo Xingu corresponde a uma associação de unidades ainda não individualizada, e não a um verdadeiro complexo, como verificado no Domínio Rio Maria, onde foi atestado que associações TTG e granitoides arqueanos diversos, individualizados a partir deste complexo, diferenciam-se entre si, em seus aspectos petrográficos, geoquímicos e idades de formação. Por outro lado, é importante salientar a proximidade da área desta pesquisa com o provável limite tectônico entre os domínios Rio Maria e Carajás, uma área chave para o entendimento entre estes dois terrenos e as unidades que os compõem.

Os trabalhos recém-desenvolvidos na região apontaram para a existência de uma crosta tonalítica-trondhjemitica meso a neoarqueana (Gomes & Dall'Agnol 2007, Oliveira *et al.* 2010, Santos *et al.* 2010, Silva *et al.* 2010), além de uma expressiva ocorrência de leucogranitos com idades entre 2.89-2.73 Ga (Santos *et al.* 2010, Sousa *et al.* 2010, Faresin *et al.* 2010, Gabriel 2009, Rodrigues *et al.* 2010). Destacam-se na área de Nova Canadá, associações leucograníticas arqueanas distinguidas a partir do antigo Complexo Xingu, cujos diferentes aspectos de campo, texturais, petrográficos sugerem que se tratam de unidades geológicas distintas: (a) biotita leucogranodiorito heterogranular grosso; (b) biotita leucogranito enriquecido em quartzo, de textura equigranular média. Os dados geocronológicos preliminares apontaram idades mesoarqueanas (2,89 Ga – Faresin *et al.* 2010) e neoarqueanas (2,74–2,73 Ga – Sousa *et al.* 2010, Santos *et al.* 2010) para estes leucogranitos. Além disso, biotita trondhjemitos de afinidade TTG e anfibólio biotita granito, possivelmente relacionado ao magmatismo subalcalino do tipo Planalto, também foram verificados na área estudada.

As recentes unidades individualizadas na área de Nova Canadá necessitam de estudos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos mais apurados, que permitam comparações dos granitoides ali descritos com aqueles afins de outras áreas da Província Carajás e até mesmo de outros crátons, permitindo dessa forma, o posicionamento estratigráfico das diferentes litologias, como unidades geológicas independentes ou não. Isto contribuirá para o avanço na

compreensão sobre o magmatismo arqueano e a evolução tectônica da Província Carajás, bem como no entendimento das relações tectônicas entre os domínios Rio Maria e Carajás.

1.4 OBJETIVOS

Levando-se em conta o estágio atual do conhecimento sobre as rochas granitoides da área de Nova Canadá, porção sul do Domínio Carajás, o objetivo geral deste trabalho é refinar a geologia, e os estudos petrográficos dos principais litotipos individualizados a partir do Complexo Xingu, bem como caracterizar geoquimicamente os principais tipos granitoides, definir suas séries magmáticas e ambientes de formação, com o intuito de se obter uma melhor definição dos limites das unidades mapeadas. Para tanto, deverão ser atingidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Elaborar mapa geológico em ambiente SIG em escala 1:50.000, das principais unidades geológicas individualizadas na área de Nova Canadá;
- b) Descrever as principais unidades geológicas individualizadas a partir do Complexo Xingu, caracterizar suas relações de contato e definir o arranjo espacial das estruturas planares e lineares com outras unidades;
- c) Caracterizar petrograficamente e classificar os principais litotipos, definindo suas variedades com base em dados composições modais, análise textural e mineralógica, e discutir as transformações tardi a pós-magmáticas e feições deformacionais presentes;
- d) Caracterizar geoquimicamente as principais unidades individualizadas, definir suas séries e/ou tipologias magmáticas, para tentar compreender seus possíveis ambientes de formação e processos que controlaram a evolução magmática;
- e) Realizar estudo comparativo com granitoides análogos da Província Carajás e de outros crátons.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

1.5.1 Pesquisa Bibliográfica

Consistiu no levantamento bibliográfico referente à geologia da região enfocada, e atualizado à medida que novos dados foram publicados. Além disso, foram analisados artigos e livros sobre temas relacionados à geologia de terrenos arqueanos, com ênfase em evolução crustal, petrografia, geologia estrutural, geoquímica e geocronologia.

1.5.2 Mapeamento Geológico

Foram realizados trabalhos de cartografia em escala 1:50.000 da área (ver mapa de pontos – Figura 3), acompanhado de coleta sistemática de amostras para estudos petrográficos e geoquímicos. Nesta etapa foram realizadas descrições de afloramentos em seus aspectos litológicos e estruturais, enfatizando-se as relações de contato. Foi realizado ainda exame analógico e digital de imagens de satélite (Landsat 7 e TM), mosaicos de radar (SRTM) e aerogeofísicas. Para a localização dos pontos amostrados foi utilizado aparelho GPS (Global Position System) com precisão de aproximadamente 3 m.

1.5.3 Petrografia

Foi executado exame macroscópico das amostras de rochas, seguido do estudo em microscópio petrográfico que envolveu: identificação e descrição sistemática dos minerais (Kerr 1959, Deer *et al.* 1992); estudo das texturas magmáticas, deformacionais e de alteração (Bard 1980, MacKenzie *et al.* 1982, Hibbard 1995, Passchier & Trouw 1996, Vernon 2007); estimativa da ordem de cristalização dos minerais (Dall’Agnol 1982, Hibbard 1995, Oliveira 2001); obtenção de composições modais (Chayes 1956, Hutchison 1974) com contador automático de pontos da marca Swift (≤ 2.000 pontos por amostra) e classificação das rochas conforme estabelecido pela IUGS (Streckeisen 1976, Le Maitre 2002).

1.5.4 Geoquímica

As análises geoquímicas foram realizadas no laboratório ACME (ANALYTICAL LABORATORIES LTD) pelos pacotes 4A e 4B, cujos métodos de preparação e os limites de detecção podem ser detalhadamente encontrados no site da empresa (www.acmelab.com). Os conteúdos dos elementos maiores e menores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , TiO_2 , Cr_2O_3 , P_2O_5 e perda ao fogo) foram analisados por ICP-ES, enquanto os elementos traço (Rb, Ba, Sr, Zr, Nb, Y, Ga, Hf, Ta, U, Th, Cu, Ni, Cs, Zn, W, Sn, Be, Pb, Bi, F) e terras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, e Lu) foram analisados por ICP-MS. Para transformação de óxidos em cátions (ex.: Cr_2O_3 em Cr) e valores correspondentes de Fe_2O_3 em FeO, utilizou-se os fatores de conversão gravimétrica compilados por Stevens *et al.* (1960). A caracterização geoquímica foi feita com base nos procedimentos de Ragland (1989) e Rollinson (1993), avaliando os comportamentos dos elementos maiores, menores e traço por em diagramas de variação clássicos e propostos na literatura (Shand 1950, Harker 1965, O’Connor 1965, Debon & Le Fort 1983, Irvine & Baragar 1971, Barker 1979, Martin 1994, De La Roche 1980, Cox *et al.* 1979) utilizando os campos de ocorrência de diversas

associações magmáticas definidas em outras áreas da Província Carajas, e em outros crátons (Frost *et al.* 2006, Jayananda *et al.* 2006, Prabhakar *et al.* 2009, Opiyo-Akech *et al.* 1999, Heilimo *et al.* 2010, Barker & Arth 1976, Peccerillo & Taylor 1976, Sylvester 1989, Almeida *et al.* 2010, Oliveira *et al.* 2009, Evensen *et al.* 1978, Feio 2011, Feio *et al.* 2012), para estabelecer comparações e melhor caracterizar as unidades individualizadas, reconhecendo suas séries magmáticas, ambientes de formação, e os processos que controlaram a evolução magmática destas rochas.

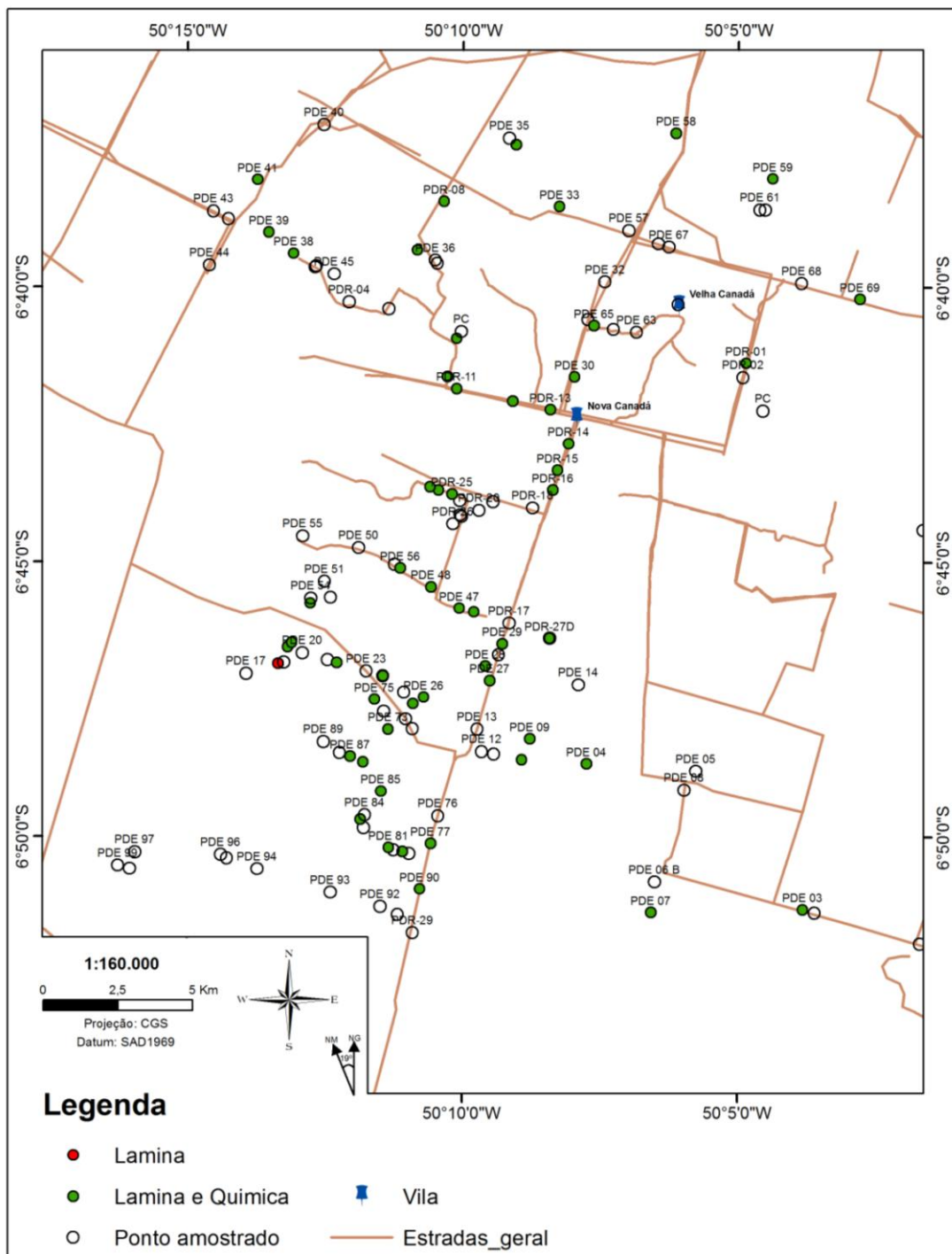


Figura 3. Mapa de amostragem da área de estudo.

CAPITULO II

2 GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DAS ASSOCIAÇÕES LEUCOGRANÍTICAS ARQUEANAS DA ÁREA DE NOVA CANADÁ – DOMÍNIO CARAJÁS

Pablo José Leite dos Santos ^{1,2} (pablosleite@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 aliado aos estudos petrográficos e geoquímicos, permitiram reconhecer na área de Nova Canadá, Sul do Domínio Carajás, dois tipos de leucogranitos que exibem fortes contrastes petrográficos e geoquímicos entre si. O Leucogranodiorito Nova Canadá é o mais expressivo e é formada por leucogranodioritos de textura seriada, com moderado grau de recristalização, enquanto que o Leucogranito Velha Canadá é constituído por granodioritos e monzogranitos ricos em quartzo, de textura equigranular média, fortemente deformados. As relações de contato entre estas unidades não são claras, porém este é marcado pela atuação de extensas zonas de cisalhamento E-W sinistral. O comportamento geoquímico observado para estes dois grupos de leucogranitos são claramente divergentes. Enquanto as rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá são mais enriquecidas em Al_2O_3 , CaO, Na_2O , Ba, Sr e na razão Sr/Y, aquelas do Leucogranito Velha Canadá mostram conteúdos mais elevados de SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Rb, HFSE (Zr, Y e Nb), das razões K_2O/Na_2O , $FeOt/(FeOt+MgO)$, Ba/Sr e Rb/Sr. O padrão de ETR das amostras do Leucogranodiorito Nova Canadá é levemente fracionado, com baixas razões $(La/Yb)_N$ e anomalias Eu ausentes ou discretas. Já as amostras do Leucogranito Velha Canadá são mais enriquecidas em ETR, e caracterizam-se por apresentar dois padrões distintos de ETR: (i) baixas a moderadas razões $(La/Yb)_N$ com anomalias negativas de Eu acentuadas; e (ii) moderadas a altas razões $(La/Yb)_N$, com anomalias discretas de Eu e um padrão côncavo dos ETRP. As afinidades geoquímicas entre as rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá com os granitos da Suíte Garantã do Domínio Mesoarqueano de Rio Maria, sugerem a extensão deste domínio para norte até a localidade de Nova Canadá, enquanto que os leucogranitos de Velha Canadá, provavelmente originados já no neoarqueano, mostram afinidades com os

leucogranitos potássicos do Domínio Carajás, descartando a hipótese de associar a geração destas rochas aos mesmos eventos tectono-magmáticos que atuaram em Rio Maria.

Palavras-chaves: Leucogranitos, Geoquímica, Arqueano, Carajás, Cráton Amazônico, Nova Canadá.

ABSTRACT

GEOLOGY, PETROGRAPHY AND GEOCHEMISTRY OF ARCHEAN LEUCOGRANITES ASSOCIATIONS FROM NOVA CANADA AREA – CARAJAS DOMAIN. The geological mapping ally to the petrographic and geochemical data on Nova Canadá area, south of Carajás Domain, led to recognition of two leucogranite expressive Arquean varieties leucogranitos that are marked by textural and compositional variations. There is a clear distinction between the rocks that occur in the south and north parts of the area studied, where are Nova Canada and Velha Canada localities, respectively. The rocks of Nova Canadá Leucogranodiorite area more expressive and composed by leucogranodiorites of seriated texture with moderate recrystallization degree, while the Velha Canada Leucogranite are composited by granodiorites and monzogranite rocks enriched in modal quartz, with medium even-grained texture, and strongly deformed. Evidence of intrusive contacts between these units is not clear, which are affected by extensive E-W shear zones with sinistral kinematic. In addition to this, the geochemistry behaviors are also divergent. While the Nova Canada Leucogranodiorite rocks are enriched in Al_2O_3 , CaO , Na_2O , Ba , Sr and Sr/Y ratio, those of the Velha Canada Leucogranite show higher contents of SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Rb , HFSE (Zr , Y and Nb), and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$, Ba/Sr e Rb/Sr ratios. The REE pattern of the Nova Canada Leucogranodiorite is slightly fractionated with low $(\text{La}/\text{Yb})_N$ ratios, and null or discrete Eu anomaly. On the other hand, the samples of the Velha Canada Leucogranite are more enriched in REE, being characterized by two distinct patterns: (i) moderate to low $(\text{La}/\text{Yb})_N$ ratios, with accentuated negative Eu anomaly; (ii) high to moderate $(\text{La}/\text{Yb})_N$ ratios and discrete Eu anomaly and a concave pattern of heavy REE. In several aspects the rocks studied show similarities to the different leucogranites bodies identified in the Carajas and Rio Maria domains, as well as in other crátons. Geochemical affinities showed between the Nova Canadá Leucogranodiorite rocks with the Garantã Suite of the mesoarchean Rio Maria domain, suggest the extension of this domain to north until the Nova Canadá area, while that the leucogranites of the Velha Canadá area, that show affinity with the K-leucogranites of the Carajás Domain, discarding the hypothesis to associate the generation of these rocks to the same tectonic-magmatic events indentified in Rio Maria.

Keywords: Leucogranites, Geochemistry, Archean, Carajas, Amazonian Craton, Nova Canadá.

INTRODUÇÃO

Leucogranitos arqueanos constituem menos que 30% das áreas cratônicas hoje conhecidas, e apesar disso, estes litotipos têm importante significado no entendimento da evolução de crátons arqueanos, já que funcionam como marcadores temporais na evolução da crosta, e armazenam informações sobre a dinâmica crosta-manto durante sua formação. Em comparação aos granitoides tipo TTG, esses granitos ainda são pouco estudados, excetuando alguns trabalhos focados principalmente na classificação dos diferentes tipos e discussões sobre suas origens (Cassidy *et al.* 1991, Davis *et al.* 1994, Sylvester 1994, Champion & Sheraton 1997, Champion & Smithies 2001, 2003, 2007; Moyen *et al.* 2003; Jayananda *et al.* 2006, Druppel *et al.* 2009, Oliveira *et al.* 2009, Almeida *et al.* 2010, 2013). O aumento do conhecimento sobre granitoides arqueanos em geral, levou à identificação de importantes características geoquímicas que ajudam na caracterização de granitos e “granitos”, onde estes podem ser cálcio-alcálicos, alcálicos, metaluminosos e peraluminosos (Day & Weiblen 1986, Laflèche *et al.* 1991, Bourne & L'Heureux 1991, Sylvester 1994, Champion & Sheraton 1997, Frost *et al.* 1998, Champion & Smithies 2001, 2007, Moyen *et al.* 2003).

Associações granodioríticas-graníticas recentemente introduzidas na literatura mostram comportamento geoquímico similar aos TTGs arqueanos (Champion & Smithies 2001, 2003, 2007, Almeida *et al.* 2010, 2013). Trata-se de rochas com um padrão de ETR fortemente fracionado, com anomalia negativa de Eu fraca ou ausente, que quando comparadas aos verdadeiros TTGs, apresentam maior conteúdo de LILE, em especial de K e Rb e tendem a ser mais ricas em sílica (68–77%; Champion & Smithies 2001, 2003, 2007). Estas associações foram descritas em vários crátons arqueanos, com os exemplos da Suíte GG (Província Wyoming, Frost *et al.* 2006), granitos do oeste do Cráton Dharwar (Jayananda *et al.* 2006) e Cráton Pilbara (Champion & Smithies 2007), Cráton da Tanzânia (Opiyo-Akech *et al.* 1999) e mais recentemente no Domínio Rio Maria da Província Carajás (Almeida *et al.* 2010, 2013). O termo TTG Transicional, foi atribuído inicialmente a um grupo de granitos identificados nos crátons Pilbara e Yilgarn (Champion & Smithies 2001, 2003) cuja origem ainda é incerta, embora saiba-se que a petrogênese dessas rochas está ligada a uma crosta pré-existente.

Outro grupo de granitos já consagrado na literatura, faz referência aos leucogranitos cálcio-alcálicos de alto-K, uma tipologia tipicamente tardia (Sutcliffe *et al.* 1990, Frost *et al.* 1998, Leite 2001, Moyen *et al.* 2003), muito comum por marcar a estabilização de áreas

cratônicas arqueanas. A origem desses leucogranitos cálcio-alcálicos tardios é discutida a partir da fusão parcial de TTGs (Sylvester 1994, Jahn *et al.* 1988, Champion & Sheraton 1997, Frost *et al.* 1998, Champion & Smithies 1999).

As associações leucograníticas arqueanas identificadas na área de Nova Canadá, porção sul do Domínio Carajás, foram distinguidas a partir do que era definido como Complexo Xingu, a unidade geológica mais expressiva do Cráton Amazônico, acreditada por muitos autores (Silva *et al.* 1974, DOCEGEO 1988, Machado *et al.* 1991, Avelar *et al.* 1999, Vasquez *et al.* 2008b) como uma crosta granítica relativamente homogênea. As características geológicas, petrográficas e geoquímicas dos leucogranitos de Nova Canadá permitiram o reconhecimento de duas unidades distintas, o *Leucogranodiorito Nova Canadá*, como a unidade mais representativa, constituído por rochas muito similares aos Leucogranodioritos-granitos de Rio Maria de Almeida *et al.* (2010) e com os TTGs Transicionais de Champion & Smithies (2001, 2003, 2007). O segundo grupo, denominado *Leucogranito Velha Canadá*, é formado por leucogranitos que ocorrem restritamente ao norte de Nova Canadá, os quais são caracterizados por rochas cálcio-alcálicas com altos conteúdos de sílica e potássio. Há evidências de idades neoarqueanas para estes últimos, o que de certa forma restringe sua origem aos eventos responsáveis pela formação da Bacia Carajás e estabilização do domínio homônimo.

O objetivo deste trabalho é caracterizar os leucogranitos arqueanos que ocorrem na porção sul do Domínio Carajás, utilizando-se de estudos detalhados de geologia, petrografia e geoquímica. Para tanto, se fez necessário realizar comparações do comportamento geoquímico dessas unidades com aquelas afins já estudadas em outras áreas da Província Carajás, assim como em outros crátons, a fim de estabelecer hipóteses sobre a origem e ambiente geodinâmico desses granitoides, e entender sua posição no contexto evolutivo da referida província.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Cráton Amazônico é subdividido em várias províncias geocronológicas (Santos *et al.* 2000, Tassinari & Macambira 2004 – Figura 1a). Dentre estas províncias, destaca-se a Província Carajás como a mais antiga, e detentora de grande potencial metalogenético. A região de Carajás é considerada como uma província geocronológica independente por Santos *et al.* (2000), enquanto Tassinari & Macambira (1999) a incluem no contexto da Província Amazônia Central. A província Carajás (Figura 1b) pode ser dividida em dois domínios tectônicos principais, um mais antigo denominado Domínio Rio Maria (3.0 – 2.86 Ga) e outro

mais novo, denominado Domínio Carajás (2,87 - 2.76 Ga). O Domínio Carajás (Vasquez *et al.* 2008b), está localizado na porção norte da referida província, e seus limites tectônicos setentrional e meridional são traçados com os domínios Bacajá e Rio Maria, respectivamente. O limite entre estes terrenos é discutido com base em dados geofísicos, o qual coincidiria com uma descontinuidade regional E-W ao norte da cidade de Sapucaia e sul de Canaã dos Carajás. Diversos estudos sugerem ainda, a subdivisão do Domínio Carajás em Bacia Carajás e Subdomínio de Transição, que corresponderia ao segmento de crosta localizado entre esta bacia e o Domínio Rio Maria (Feio *et al.* 2012).

O magmatismo Mesoarqueano de Rio Maria é composto pelas associações *greenstone belt* do Supergrupo Andorinhas (Souza & Dall'Agnol 1995c, Souza *et al.* 2001), e uma diversidade de grupos granitoides (Dall'Agnol *et al.* 2006), similares aqueles discutidos nos clássicos terrenos arqueanos. Estes granitoides podem ser divididos em quatro grupos principais (Dall'Agnol *et al.* 2006, Oliveira *et al.* 2009, Almeida *et al.* 2010, 2011): (1) Série TTG Antiga (2.98– 2.93 Ga); (2) Suíte Sanukitóide Rio Maria e rochas associadas (2.87 Ga); (3) Série TTG Jovem (2.86 Ga); (4) Leucogranitos Potássicos de afinidade cálcio-alcálica (2.86 Ga). A posterior reavaliação dos leucogranitos (Almeida *et al.* 2010) permitiu o reconhecimento de um grupo de granitos com características geoquímicas similares aos TTG arqueanos daquela região, distinguindo-os então dos granitos cálcio-alcálicos com alto-K. Posteriormente, este terreno foi intrudido por granitos Tipo-A (1.88 Ga) e diques associados (Dall'Agnol *et al.* 2005, Dall'Agnol & Oliveira 2007).

No Domínio Carajás, o conhecimento sobre a geologia do Subdomínio de Transição ainda é limitado, porém os estudos recentemente realizados nas regiões de Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte, cujo foco foram principalmente as associações granitoides, nos permitem montar um quadro geológico atualizado para a porção sul do Domínio Carajás. A região de Canaã dos Carajás, norte do Subdomínio de Transição, é caracterizada por: (1) associações de granitoides mesoarqueanos (2.96 – 2.83 Ga) representados pelo Tonalito Bacaba (Moreto *et al.* 2011), Granito Canaã dos Carajás, Trondhjemito Rio Verde, Complexo Tonalítico Campina Verde, granitos Cruzadão, Bom Jesus, Serra Dourada (Feio *et al.* 2012) e Granito Boa Sorte (Rodrigues *et al.* 2010), além dos ortognaisses e granitoides do Complexo Xingu de 2.97 – 2.85 Ga (Silva *et al.* 1974, DOCEGEO 1988, Machado *et al.* 1991, Avelar *et al.* 1999, Vasquez *et al.* 2008b); (2) granitoides neoarqueanos (2,75 – 2,73) das suítes Plaquê (Araújo *et al.* 1988, Avelar *et al.* 1999), Planalto (Huhn *et al.* 1999, Oliveira 2003, Gomes 2003, Oliveira *et al.* 2010, Feio *et al.* 2012), e granitoides da série charnockítica (Gabriel *et al.* 2010, Feio *et al.* 2012); (3) granito anorogênico Paleoproterozóico Rio Branco

(Dall’Agnol *et al.* 2005, Santos *et al.* 2013). Na região de Água Azul do Norte, porção sul do Subdomínio de Transição, estudos recentes mostraram que além de rochas granitoides afins daquelas identificadas na área de Canaã dos Carajás e uma grande diversidade de granitos inseridos no contexto do Complexo Xingu, ocorrem ainda granitoides de alto-Mg de afinidade *sanukitoide* (Gabriel & Oliveira submetido).

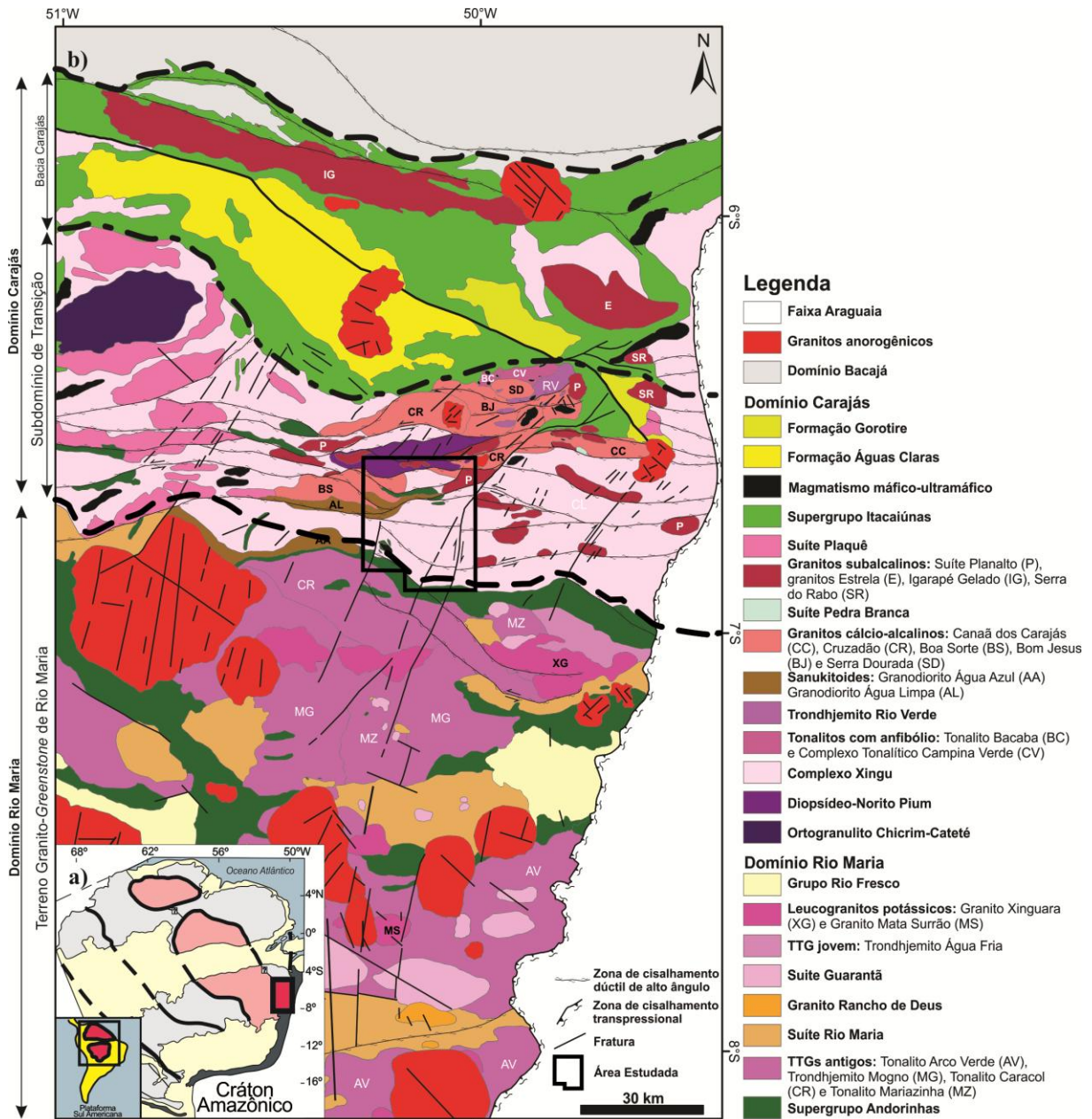


Figura 1. a) Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico. Modificado de Tassinari & Macambira (1999); b) Mapa geológico da Província Carajás, modificado de Vasquez *et al.* (2008b), Almeida *et al.* (2010) e Feio *et al.* (2012), Gabriel & Oliveira submetido.

CARACTERIZAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES LEUCOGRANÍTICAS DE NOVA CANADÁ – PORÇÃO SUL DO DOMÍNIO CARAJÁS

Geologia

O mapeamento geológico realizado na região da Vila Nova Canadá, município de Água Azul do Norte, permitiu o reconhecimento de diversos litotipos, contrariando o que se imaginava para a área anteriormente, vista como domínio de ocorrências dos granitoides indiferenciados do Complexo Xingu. Foram identificadas associações leucograníticas arqueanas distintas, as quais acredita-se terem sido geradas pelo menos em dois momentos distintos. Nos domínios destes leucogranitos ocorrem ainda tonalitos-trondhjemitos e granitoides foliados com anfibólio. Rochas supracrustais e diques máficos também foram identificados. Em função da sua grande expressão e significado para a geologia do Domínio Carajás, serão abordados neste trabalho apenas as associações leucograníticas diferenciadas na figura 2.

Os leucogranitos de Nova Canadá são limitados ao norte pelas rochas máficas do Diopsídio Norito Pium (Santos & Oliveira 2012), e a leste pelas associações tonalíticas-trondhjemiticas contendo hornblenda e biotita (Silva 2013), além dos granitos tipo Planalto (Silva *et al.* 2010, Souza *et al.* 2010). Em direção ao sul, estes leucogranitos fazem limite com as rochas do Grupo Sapucaia, enquanto a oeste, estão em contato com granodioritos e tonalitos porfiríticos com hornblenda (Gabriel & Oliveira submetido). Tais unidades são cortadas por diques máficos com *trends* N-S a E-W.

As primeiras evidências de que os leucogranitos de Nova Canadá poderiam ser individualizados em duas unidades distintas, foram dadas pelas sutis variações texturais observadas, que levaram a uma distinção clara dentre aquelas que ocorrem nas porções sul e norte da área. Foram então distinguidos em: (a) Leucogranito Velha Canadá – composto predominantemente por granodioritos e monzogranitos subordinados, de textura equigranular hipidiomórfica média (~ 3mm), moderadamente deformados, que ocorrem restrito a norte de Nova Canadá, imediatamente ao sul das rochas do Diopsídio-Norito Pium, e seu limite sul segue até o contato com a outra variedade leucogranítica, sendo estabelecido por uma extensa zona de cisalhamento predominantemente E-W, onde aflora um pequeno corpo alojando de anfibólio granito foliado; (b) Leucogranodiorito Nova Canadá – são mais expressivos e formados essencialmente por leucogranodioritos de textura fanerítica inequigranular média a grossa (2 mm a 6 mm), com moderado a fraco grau de recristalização. Suas rochas ocorrem imediatamente ao sul do granito tipo Planalto identificados na porção central da área, e

dominam até o antigo limite estabelecido para as rochas da sequência *greenstone belt* do Grupo Sapucaia a sul (Figura 2), onde hoje ocorrem apenas restos desta crosta metavulcanossedimentar, em uma área também marcada pela atuação de zonas de cisalhamento, agora de orientação NW-SE.

Em geral, os afloramentos destes granitos formam extensos lajedos, onde são comuns relíquias de um embasamento trondhjemítico retrabalhado, bem como de rochas supracrustais.

Os granitos Nova- e Velha Canadá são variavelmente deformados, como resultado da atuação de extensas zonas de cisalhamento de direção preferencial E-W e cinemática sinistral na área, principalmente ao longo do contato entre as duas unidades. As foliações se aproximam do *trend* regional E-W, com inflexões para NE-SW e NW-SE, e mergulhos moderados a fortes (60° a 80°), com sentidos distintos para as duas unidades - para SSW no Leucogranodiorito Nova Canadá, e S ou NE para as rochas leucograníticas de Velha Canadá.

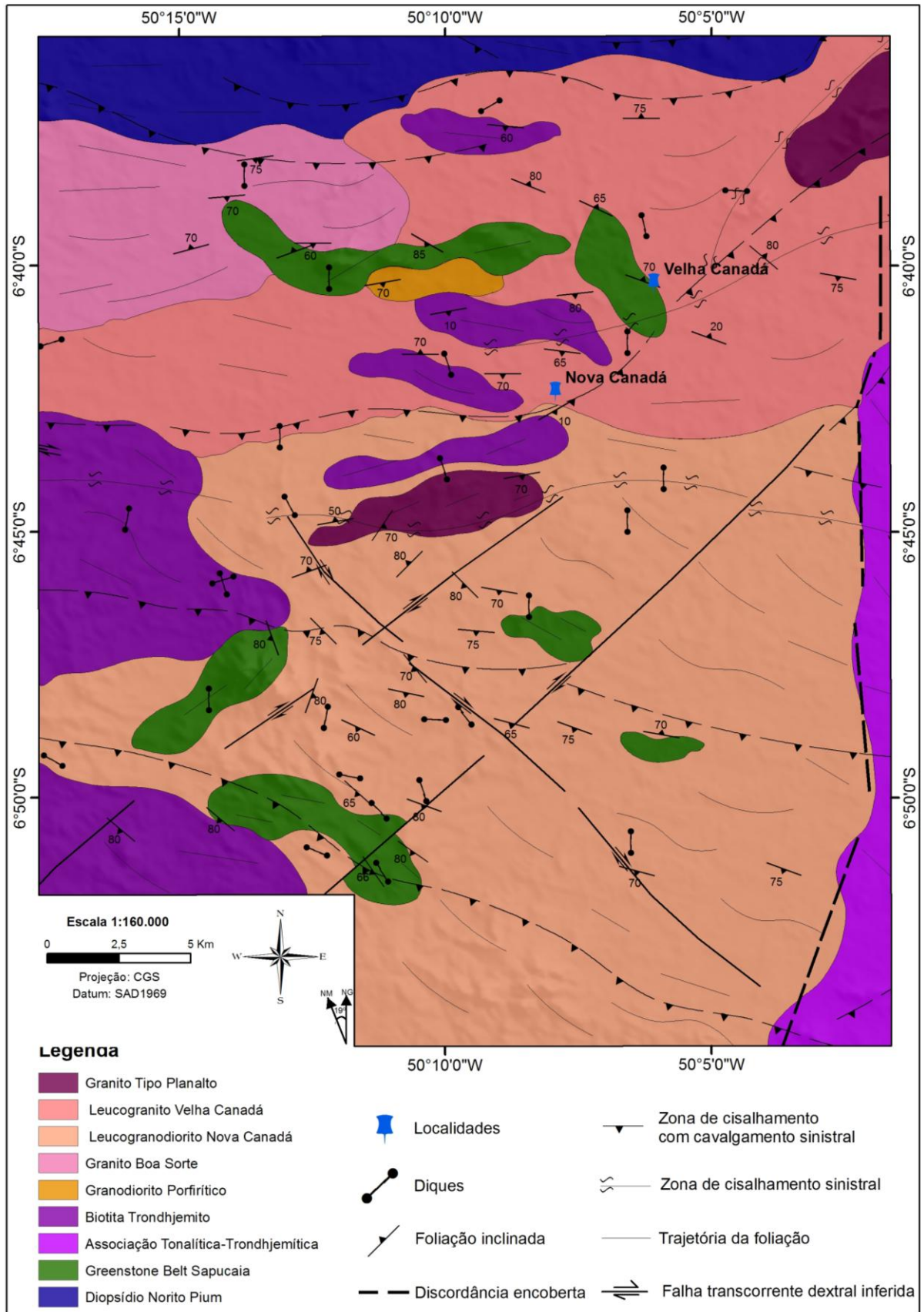


Figura 2. Mapa Geológico da área de Nova Canadá no Domínio Carajás.

Petrografia

Composições modais e classificação

Os granitos da região de Nova Canadá são em geral muito similares, apresentam composição granodiorítica-granítica, sendo distinguidos petrograficamente apenas pelas sutis variações texturais e nos conteúdos modais de quartzo. São predominantemente leucogranodioritos (**M** ~5%) de coloração branco- a rosa-acinzentada. Para classificação destas unidades foram realizadas análises modais em sessenta e seis amostras, que quando plotadas nos diagramas Q-A-P e Q-(A+P)-M (Figura 3), incidem em sua grande maioria no campo dos granodioritos, sendo que algumas delas são mais enriquecidas em K-feldspato e plotam no campo dos monzogranitos. Apesar da monótona variação mineralógica encontrada nestas unidades, nota-se a partir dos dados apresentados na figura 3 e tabelas 1 e 2, que o Leucogranito Velha Canadá é claramente mais enriquecido em quartzo do que o Leucogranodiorito Nova Canadá, apresentando conteúdos modais médios de 31,5% e 25,5%, respectivamente. Dentre os minerais ferromagnesianos, a biotita é a principal fase mineral presente nestas rochas, com conteúdos modais médios de 3,6% e 2,5%. Os minerais acessórios primários são: titanita, minerais opacos, zircão, apatita, allanita e epidoto magmático. Já os secundários são sericita, clinozoisita, escapolita, epidoto secundário, muscovita e mais raramente, clorita.

Associações leucograníticas são pouco descritas no Domínio Carajás, por essa razão, comparações baseadas em dados modais são melhor estabelecidas com as rochas do Domínio Rio Maria (Figura 3), onde Almeida *et al.* (2010) faz um apanhado geral sobre rochas da série TTG, leucogranitos potássicos e descreve ainda um grande grupo de leucogranodioritos-granitos. As comparações entre rochas afins de ambos os domínios podem ser estabelecidas, porém, cabe destacar que os conteúdos modais de quartzo são maiores nas amostras do Leucogranito Velha Canadá em relação às rochas do Domínio Rio Maria. O contrário é observado em relação aos conteúdos de minerais máficos, os quais são maiores nas rochas de Rio Maria. Similarmente ao que foi definido para os leucogranitos de Rio Maria, aqueles de Nova Canadá mostram comportamento análogo aos da série cálcico-alcálica granodiorítica de Lameyre & Bowden (1982) e Bowden *et al.* (1984) – Figura 3.

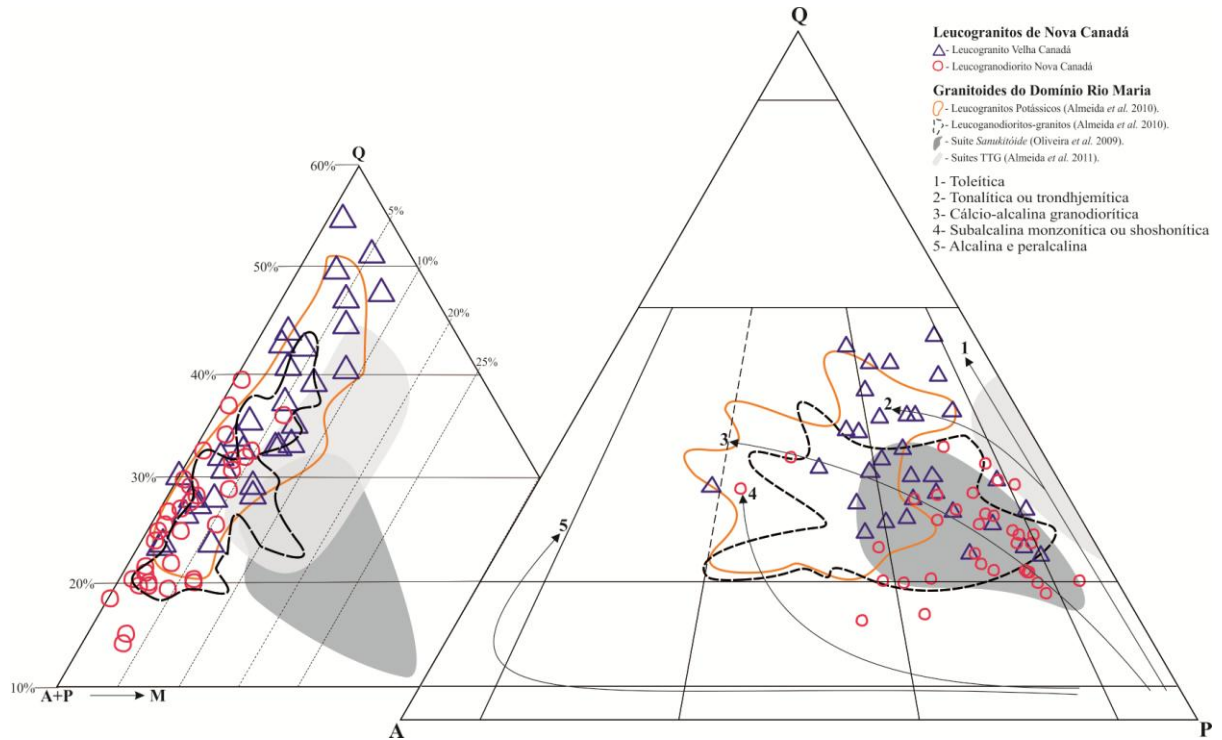


Figura 3. Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen 1976) para as rochas leucograníticas de Nova Canadá. 1 a 5 são *trends* evolutivos das séries granitoides (Lameyre & Bowden 1982, Bowden *et al.* 1984).

Tabela 1. Composições modais das rochas do Leucogranito Velha Canadá.

Litologia	Biotita Leucogranodiorito Equigranular													Biotita Leucomonzogranito Equigranular			
	PDR 10	PDR 08	PDR 13	PDE 59	PDE 69	PDE 56	PDE 39	PD 01	PD 01	PDE 38	ADK 60	PDE 41A	CP 30	PDE 33	PDE 30	PDE 58	PDR 07
Quartzo	23.5	23.7	27.2	28	28.1	30.2	30.3	31.5	32.7	32.9	35.0	42.7	47.4	26.4	29.2	32.1	35.3
Plagioclásio	61.7	58.2	57.6	45.6	46.9	54.0	45.8	48.6	42.6	45.8	38.4	37.1	30.1	43.6	38.6	20.9	33.0
K-feldspato	8.7	16.1	11.2	24.2	21.1	15.6	18.7	15.5	16.9	14.5	19.1	17.5	13.9	27.3	25.3	41.8	28.2
Biotita	6.0	1.8	2.0	1.8	3.7	0.1	3.1	1.4	5.1	6.5	5.8	2.0	7.8	2.4	5.7	3.9	2.9
Anfibólio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
Opaco	0	Tr	0.7	0	0.1	0	0	Tr	0.5	Tr	0.4	Tr	0.1	0.1	0.2	0.2	Tr
Zircão	Tr	0	Tr	0.3	0.1	Tr	0.2	0.5	0	Tr	0.1	0.2	0	Tr	Tr	Tr	0.3
Apatita	Tr	0	Tr	Tr	Tr	0	0	Tr	0	Tr	0	Tr	0	0	Tr	0	0
Titanita	Tr	0	Tr	Tr	0.1	Tr	Tr	0.7	0.5	0.1	0.6	Tr	0	0	0.7	0	0.1
Allanita	0	Tr	0.3	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0.3	Tr	Tr	0	Tr
Epidoto m	0	0	0	0	0	Tr	Tr	Tr	0.7	0	0	0	0	0	0.1	0	Tr
Epidoto s	0	0	0	0	0	Tr	0	0	0	0	0	0	0	Tr	0	0	0
Clinozoisita	0	0	0	0	Tr	Tr	Tr	1.6	Tr	0	Tr	Tr	0	0	0	0	Tr
Muscovita m	Tr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Tr	0
Muscovita s	0	0	0.6	0	Tr	0	0	0	0.4	0	0.1	0	0	Tr	0	Tr	0
Clorita	0	0	0	0	0	0	0	0	Tr	0	0	0	0	0	0	0	0
Escapolita	0	Tr	0	0	0	0	1.7	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0.9	0
A + P	70.4	74.3	68.8	69.8	68	69.6	64.5	64.1	59.5	60.3	57.5	54.6	44	70.9	63.9	62.7	61.2
Quartzo*	25.0	24.2	28.3	28.6	29.2	30.3	32.0	32.9	35.5	35.3	37.8	43.9		27.1	31.4	33.9	36.6
Plagioclásio*	65.7	59.4	60.0	46.6	48.8	54.1	48.3	50.8	46.2	49.1	41.5	38.1	32.9	44.8	41.5	22.0	34.2
K-feldspato*	9.3	16.4	11.7	24.7	22.0	15.6	19.7	16.2	18.3	15.6	20.6	18.0	15.2	28.1	27.2	44.1	29.2
Máficos	6	1.8	3.0	2.1	4.0	0.1	3.3	4.2	6.9	6.6	7.1	2.2	8.2	2.5	6.7	4.1	3.3
Total de Pontos	1800	1800	1800	2000	2000	2000	2000	2000	1635	2000	1700	1800	1798	2000	2000	2000	1800

Abreviações: 0 = mineral não observado; Tr = mineral traço com contagem modal média <0,1%; A = K-feldspato; P = Plagioclásio; m = magmático; s = secundário.

Tabela 2. Composições modais das rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá.

Litologia	Biotita Leucogranodiorito Heterogranular																											
	PDE	PDE	PDE	PDE	PDE	PDE	PDR	PDE	PDE	PDE	PDE	PDE	PDE	PDE	ADK	PDE	PDE	PDE	PDE	PDE	PDE	PDE	PDE	PDE	PDR	PDE	PDR	
Amostra/Mineral	85	79	86	47	75A	07	27A	77	83	26B	87	10	28	24A	121B	29	04	09	03	81	73	90	46	70	53	16	48	12
Quartzo	13.8	14.7	19.0	19.3	19.3	19.8	20.1	20.2	20.8	21.4	23.6	24.5	24.9	25.2	25.2	26.5	26.7	27.6	27.9	28.7	28.9	30.5	31.6	32.3	32.3	33.9	35.8	39.4
Plagioclásio	49.0	56.0	71.4	51.6	68.3	63.6	55.1	63.4	66.9	58.9	59.0	46.4	62.9	62.0	65.3	63.4	61.7	57.2	51.3	51.6	58.7	46.4	53.5	56.9	50.5	56.4	28.2	48
K-feldspato	33.5	25.5	4.5	25.8	9.7	9.8	22.7	10.0	10.0	15	15.4	26.8	9.4	6.7	7.8	8.8	9.3	12.7	17.5	14.3	10.4	18.5	11.1	5.5	16	7.4	29.9	11.9
Biotita	2.9	2.9	3.9	2.4	1.8	5.4	1	5.7	1.7	3.2	0.8	1.2	2.4	5.6	1.1	1.0	1.9	1.7	1.8	4.0	1.1	3	3.0	4.0	0.8	1.8	4.6	0.6
Anfibólio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Opacos	Tr	Tr	0.2	0.2	0.2	0	0.1	0.2	Tr	0.2	0.2	Tr	0	0.1	Tr	0.1	Tr	0.1	0.2	0.2	Tr	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.6	Tr
Zircão	0	Tr	0	0	0	0	Tr	0	0	Tr	0	Tr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Tr	Tr	0	0.8	Tr
Apatita	0	0	Tr	Tr	0	0	0	Tr	0	Tr	0	0	0.3	0	0	0	0	Tr	0	0.1	Tr	Tr	Tr	0	0	Tr	Tr	0
Titanita	0.1	0.2	Tr	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	Tr	0.1	Tr	0.1	Tr	0	0	0.2	0.4	0.2	0.3	0.4	0.1	Tr	0	Tr	0
Allanita	Tr	0.2	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.1	Tr	0.2	Tr	0	Tr	0.1	Tr	0	0	Tr	0.1	0.3	0	Tr	Tr	Tr	0	0	0
Epidoto m	0.5	0.1	0.3	0.1	0.1	1	0.1	0.2	Tr	0.1	Tr	0	0	Tr	0.1	0	0	Tr	0.6	0.1	0.1	0	0.1	0.5	Tr	Tr	0	Tr
Epidoto s	0	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0	Tr	0.2	0.6	0.2	0	0	0.1	0	Tr	Tr	0	0	Tr	0.1	0	0	0	0	0	0	0
Clinzoisita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muscovita m	0	0	0.4	0	0	0	0	Tr	0	0	0	0	0	Tr	0	0	0	0.5	Tr	0.2	0	1.1	0.2	0	Tr	0	0	0
Muscovita s	0	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0.7	0	Tr	Tr	Tr	0.8	0	Tr	Tr	Tr	0.6	0	Tr	Tr	0	Tr	Tr	0	Tr	0	Tr	0
Clorita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Escapolita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Tr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A + P	82.5	81.5	75.9	77.4	78.0	73.4	77.8	73.4	76.9	73.9	74.4	73.2	72.3	68.7	73.1	72.2	71	69.9	68.8	65.9	69.1	64.9	64.6	62.4	66.5	63.8	58.1	59.9
Quartzo*	14.3	15.3	20.0	20.0	19.8	21.2	20.5	21.6	21.3	22.5	24.1	25.1	25.6	26.8	25.6	26.8	27.3	28.3	28.9	30.3	29.5	32.0	32.8	34.1	32.7	34.7	38.1	39.7
Plagioclásio*	50.9	58.2	75.2	53.4	70.2	68.2	56.3	67.7	68.5	61.8	60.2	47.5	64.7	66.0	66.4	64.2	63.2	58.7	53.1	54.5	59.9	48.6	55.6	60.1	51.1	57.7	30.0	48.3
K-feldspato*	34.8	26.5	4.7	26.7	10.0	10.5	23.2	10.7	10.2	15.7	15.7	27.4	9.7	7.1	7.9	8.9	9.5	13.0	18.1	15.1	10.6	19.4	11.5	5.8	16.2	7.6	31.8	12.0
Máficos	3.5	3.4	4.8	2.9	2.3	6.5	1.3	6.2	1.9	3.6	1.3	1.2	2.8	5.7	1.4	1.1	1.9	2.3	2.8	5.1	1.7	4.5	3.8	4.9	1.0	2.1	6.0	0.6
Total de Pontos	2000	1800	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1800	1800	1800	1800	2000	1800	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1800	2000

Abreviações: 0 = mineral não observado; Tr = mineral traço com contagem modal média <0,1%; A = K-feldspato; P = Plagioclásio; m = magmático; s = secundário.

Aspectos texturais

Apesar das diferenças petrográficas citadas anteriormente entre as rochas leucograníticas da área de Nova Canadá, tais como as variações acentuadas no conteúdo modal de quartzo, as fortes similaridades texturais e mineralógicas permitem fazer uma descrição conjunta dos principais aspectos petrográficos destes granitoides. Deste modo, tais unidades caracterizam-se por apresentar textura granular hipidiomórfica média a grossa, e eventualmente protomilonítica, definida pela ocorrência de porfiroclastos de feldspatos imersos em matriz formada por agregados policristalinos de quartzo e feldspatos nas rochas mais intensamente deformadas e recristalizadas, as quais são afetadas pelas principais zonas de cisalhamento instaladas na área. Estas afetam sobretudo as rochas do Leucogranito Velha Canadá favorecendo a presença de cristais oclares de feldspatos, quartzo fitado (*quartz ribbon*) e matriz com textura granoblástica nestas rochas (Figuras 4d, f). A seguir serão apresentados os principais aspectos texturais dos diferentes minerais identificados nestes granitoides, ressaltando, quando necessário, as particularidades de cada variedade petrográfica.

Plagioclásio 1 (Plg₁) – formam em geral cristais hipidiomórficos, e xenomórficos quando apresentam bordas recristalizadas. São bastante desenvolvidos, de granulação média (1,0 mm a 4,0 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 de oligoclásio cálcico (**An₂₅₋₃₀**) e ocorrem geralmente como porfiroclastos, que apresentam predominantemente macla da albita com ocorrência subordinada da albita-periclina e albita-*Carlsbad* (Figura 4f). 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. Ocasionalmente estes cristais apresentam pequenas inclusões de quartzo, biotita, minerais opacos, apatita, allanita e zircão, principalmente ao longo de suas bordas mais sódicas. Os cristais finos (0,1 mm a 1,0 mm) de **Plagioclásio 2 (Plg₂)** são neoformados, xenomorfos, com contatos regulares e retos com junção tríplice entre si e com quartzo, ocorrendo ainda bordejando ou inclusos nos fenoclastos, compondo uma matriz granoblástica fina juntamente com quartzo e álcali feldspato.

Feldspato alcalino – ocorre geralmente como cristais hipidiomórficos, com dimensões entre 1,0 e 6,0mm e de contornos e contatos irregulares entre si e com os demais minerais. É do tipo

microclina com maclamento xadrez difuso e feições de exsolução (micropertitas) do tipo *string* de Smith (1974). Nos contatos plagioclásio/feldspato alcalino observa-se o desenvolvimento de mirmequitas em bulbos (Phillips 1980), em geral invadindo os cristais de feldspato alcalino. Feições poiquilíticas são comuns, onde os cristais maiores de feldspato alcalino (**Mc₁**) englobam aqueles menores de quartzo e plagioclásio (Figura 4e). Inclusões de biotita, allanita e minerais opacos também podem ocorrer. Nas rochas mais intensamente deformadas formam finos cristais neoformados (0,3 mm a 0,6mm – **Mc₂**) que compõem junto com **Pl₂** e **Qtz₃** uma matriz granoblástica. Em virtude da forte recristalização dos minerais possui ocorrência restrita, comumente entre fraturas ou contatos intergrãos.

Quartzo – foram individualizados quatro tipos: os cristais de **Qtz₁** são inequigranulares de granulação fina à média (0,5 mm 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 e com forte extinção ondulante (*quartz ribbon*). Os cristais de **Qtz₂** ocupam as porções mais centrais dos cristais de feldspato alcalino como inclusões de forma arredondada e de fraca extinção ondulante. Os cristais de **Qtz₃** são neoformados e ocorrem como agregados policristalinos finos, por vezes preenchendo fraturas ou contornando os porfiroclastos (Figura 4e, f). O **Qtz₄** possui forma de vermiculas ou gotículas, de pequenas dimensões (< 0,1 mm), formando intercrescimento mirmequítico com a borda sódica preservada do **Pl₁** (Figura 4f).

Biotita – é o mineral ferromagnésiano mais abundante nos leucogranitos estudados. Ocorre como finos cristais idiomórficos de dimensões entre 0,1 mm e 1,2 mm e mostram sinais de cloritização. Está associada a epidoto, apatita, titanita e zircão, compondo os agregados máficos destes granitoides. Seus contatos são retos com a titanita e epidoto indicando equilíbrio entre estas fases. Ocorre ainda orientadas bordejando os porfiroclastos de plagioclásio, juntamente com os demais minerais acessórios, principalmente nas variedades mais deformadas (Figura 4d).

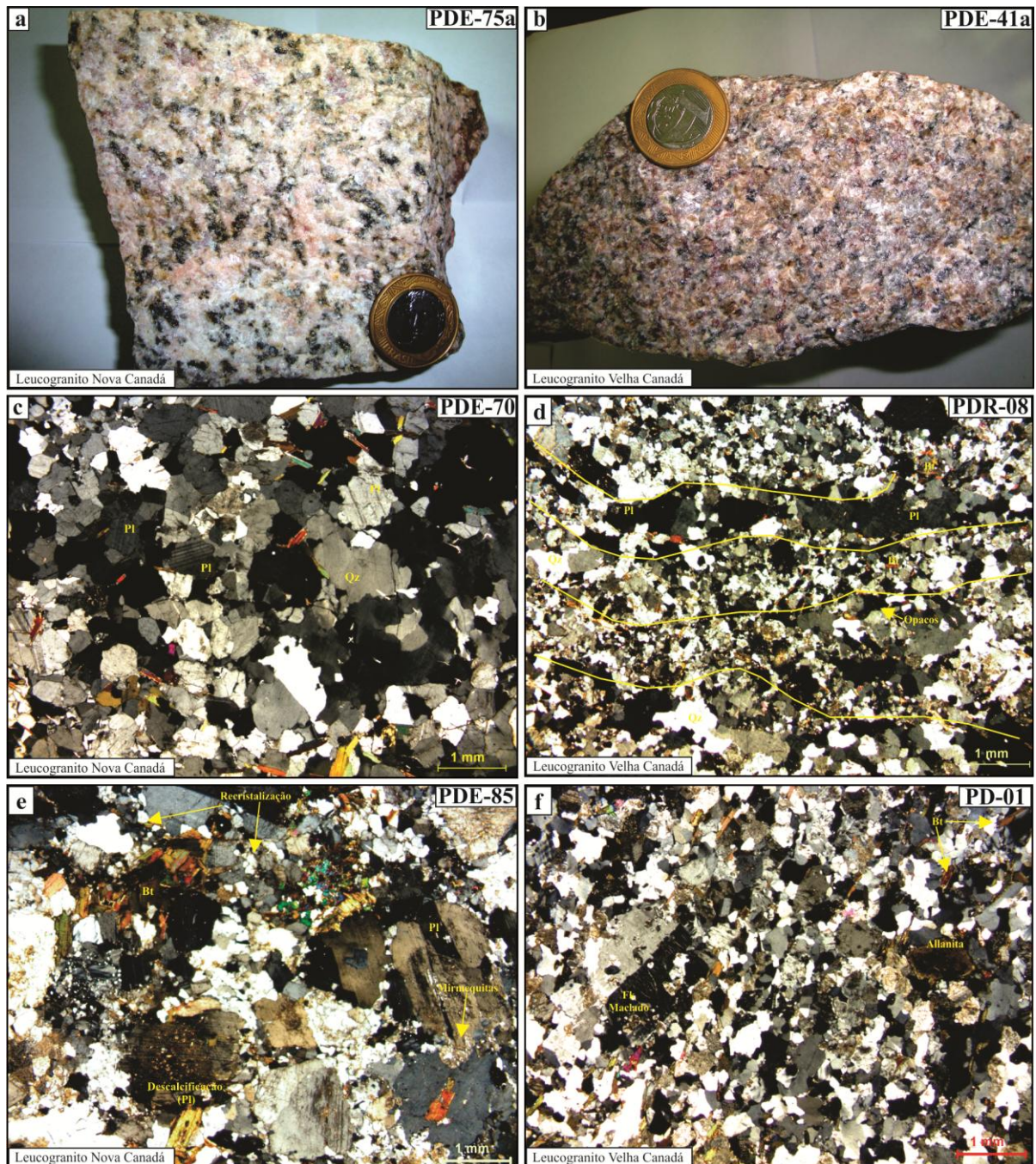


Figura 4. Aspectos petrográficos dos leucogranitos da área Nova Canadá: (a, b) aspectos macroscópicos dos leucogranitos Nova Canadá e Velha Canadá, respectivamente; (c) microtextura dos granitos Nova Canadá, mostrando textura ígnea preservada, com cristais de quartzo, e feldspatos limpos de alteração; (d) aspecto recrystalizado do Leucogranito Velha Canadá destacando a ocorrência de bandas de cisalhamento; (e) concentração de minerais máficos (biotita+epidoto+minerais opacos) no Leucogranito Nova Canadá; (f) aspecto recrystalizado do Leucogranito Velha Canadá, mostrando fenocristal de feldspato alcalino maclado e desenvolvimento de micropertitas.

Os **minerais acessórios** primários são: (i) zircão e apatita, que geralmente ocorrem como finos cristais idiomórficos, de dimensões submilimétricas, acompanhando frequentemente a biotita, estando por vezes inclusos nesta; (ii) minerais opacos são representados por cristais hipidiomórficos geralmente associados à biotita, titanita, allanita,

podendo ainda estarem inclusos nos feldspatos da primeira geração e bordejados por titanita, formando textura tipo corona; (iii) os cristais de titanita são subautomórficos, e se destacam principalmente nos leucogranitos Velha Canadá, onde exibem formas bipiramidais e maclamento. Quando associada aos minerais opacos e biotita, e mais raramente com a clinozoisita, suas relações texturais sugerem origem a partir de transformações tardi-magmáticas; (iv) Allanita forma normalmente cristais idiomórficos, prismáticos, metamíticos de dimensões milimétricas, e envolvidos por manto de **Ep₂**; (v) os minerais de epidoto ocorrem na forma de quatro variedades texturais distintas: (a) como cristais idiomórficos, prismáticos e de contatos retos com a biotita e minerais opacos, o que pode sugerir equilíbrio durante a cristalização destas fases ainda no estágio magmático (**Ep₁**); (b) sob a forma de cristais xenomórficos, mantendo cristais de allanita, o que sugere origem em condições tardi-magmática (**Ep₂**); e (c) cristais muito finos, como produto de saussuritização do plagioclásio já no estágio *subsólido* (**Ep₃**); e (vi) muscovita primária que ocorre como raros cristais finos, de contornos retos com a biotita, o que pode sugerir origem magmática para a mesma.

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

Ordem de cristalização dos diferentes minerais

A sequência de cristalização dos minerais presentes nos leucogranitos da área de Nova Canadá foi deduzida a partir das análises texturais das associações mineralógicas, suas relações de contato e inclusões, assim como nos efeitos dos processos pós-magmáticos e deformacionais atuantes no estágio *subsólido* (Figura 5). Sendo assim, a cristalização dessas rochas inicia com a formação dos minerais acessórios primários, como zircão, apatita e opacos (magnetita e ilmenita). Estes são idiomórficos e acham-se inclusos em feldspatos e biotita, comportando-se como fases precoces no líquido. Allanita e Ep₁ são as próximas fases acessórios a cristalizar, pois além da forma idiomórfica, também mostram-se inclusos na biotita, indicando serem formados anteriormente à mica. Seguindo a ordem de cristalização tem-se a geração do Ep₂ que ocorre mantendo os cristais de allanita. Relações de inclusões indicam que os minerais opacos cristalizam ligeiramente após a apatita e anteriormente à allanita.

Os minerais félsicos essenciais parecem iniciar a sua formação logo após os acessórios mais precoces. Formaram-se sucessivamente Plg₁, Qtz₁ e Mc₁. A ausência de inclusões no

Plg₁, bem como seu zoneamento normal e presença de núcleos descalcificados, evidenciam o estágio precoce de cristalização deste mineral. Nota-se ainda que estes minerais são representados cristais bem desenvolvidos e com formas hipidiomórficas evidenciando a existência de uma porcentagem expressiva de líquido no magma. No entanto, o Qtz₁ parece iniciar sua cristalização um pouco antes ou em parte simultaneamente, no mesmo intervalo de temperatura da Mc₁, uma vez que este último por vezes engloba cristais de Qtz₂ em suas porções centrais.

A cristalização da biotita e muscovita magmática iniciam após o Plg₁, Qtz₁ e Mc₁, 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. A atuação das transformações pós-magmáticas é observada através da saussuritização (sericita + Ep₃ + muscovita ± escapolita) do Plg₁, da desestabilização da biotita (cloritização + Ep₃) e pelo desenvolvimento de micropertitas nos feldspatos. Tais transformações evidenciam o influxo de fluidos ricos em H₂O e Na₂O no sistema. Os cristais xenomórficos de titanita associados às lamelas de biotita e os intercrescimentos mirmequíticos (Qtz₄), são de formação tardia durante o estágio *subsolidus*, sendo que 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 (Plg₂) e quartzo (Qtz₃), além de microclina (Mc₂) nestas rochas.

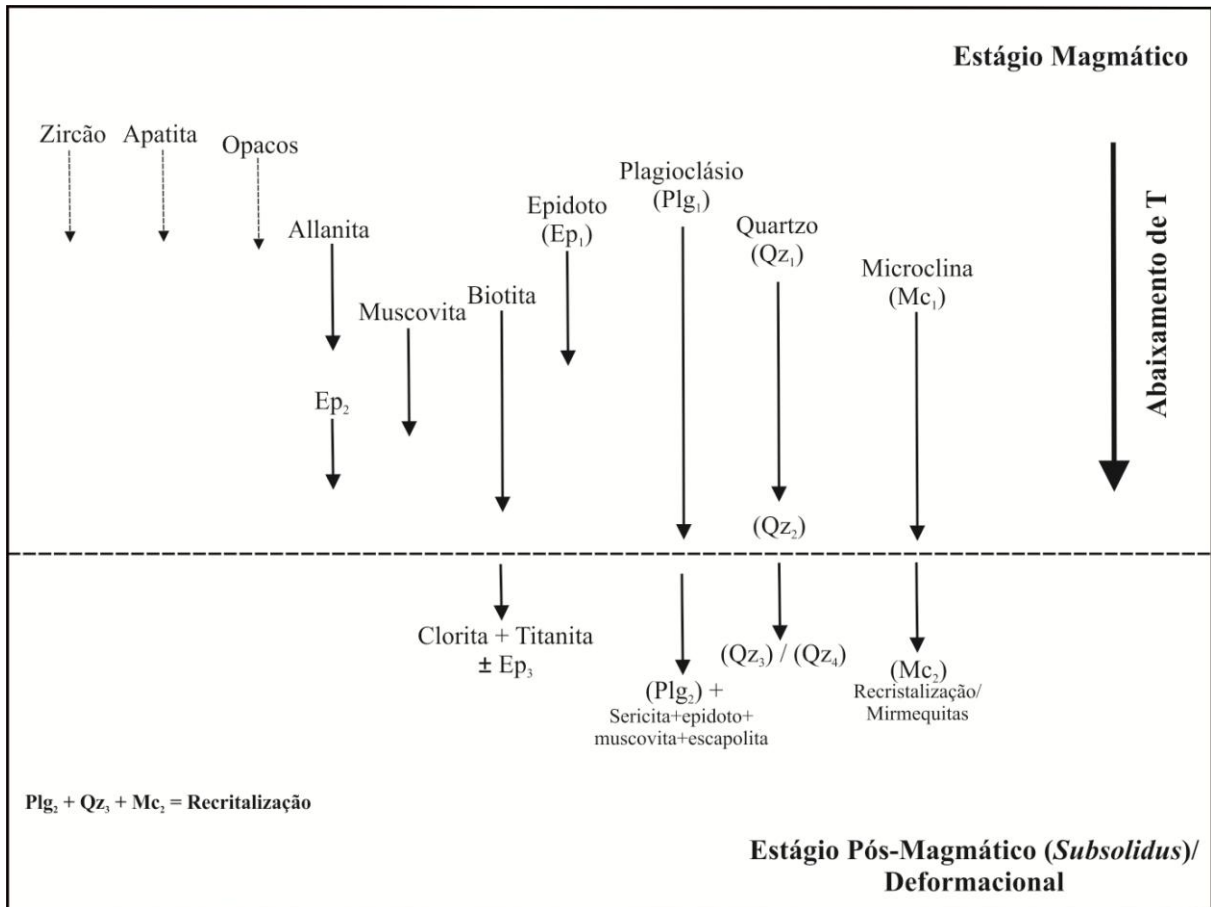


Figura 5. Ordem de cristalização para as rochas leucograníticas da área de Nova Canadá.

Geoquímica

Os resultados geoquímicos discutidos a seguir foram obtidos a partir da análise química em rocha total de 45 amostras representativas dos leucogranitos estudados, sendo que 17 dessas análises foram destinadas ao Leucogranito Velha Canadá e 28 às rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá (Tabelas 3 e 4, respectivamente). As análises foram realizadas no Laboratório ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTDA, onde 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 leucograníticas de Nova Canadá estão resumidas nas tabelas 3 e 4. Os conteúdos de elementos maiores destes granitos revelam uma composição bastante similar, porém, diferenças marcantes podem ser observadas dentre as unidade estudadas. Os conteúdos de SiO₂ das rochas do Leucogranito Velha Canadá variam entre 71,57% e 76,33%, enquanto que os valores nas rochas do

Leucogranodiorito Nova Canadá são ligeiramente inferiores e mais restritos (70,08% - 73,59%). Apenas a amostra PDR-12 mostrou alto conteúdo deste elemento ($\text{SiO}_2 = 75,08\%$), esta foi descartada por estar próximo a uma zona silicificada. Comportamento divergente similar é observado para os conteúdos de Fe_2O_3 , TiO_2 e K_2O , que são claramente mais elevados nos granitos de Velha Canadá (0,63% a 2,94%; 0,07% a 0,37%; 3,48% a 5,90%, respectivamente) em relação aqueles de Nova Canadá (0,43% a 1,60%; 0,03% a 0,19%; 2,02% a 4,06%). Por outro lado, os conteúdos de Al_2O_3 , CaO e Na_2O são mais elevados nos granitos de Nova Canadá (14,94% a 16,37%; 1,31% a 2,45%; 4,70% a 5,91%, respectivamente) do que naqueles de Velha Canadá (12,83% a 15,95%; 0,70% a 2,02%; 2,98% a 4,49%). Os valores obtidos para os primeiros permitem classificá-los no grupo de alto Al_2O_3 (Barker & Arth 1976, Barker 1979), principalmente quando comparados com aqueles encontrados nas típicas séries cálcio-alcálicas (Irvine & Baragar 1971, Ringwood 1975, Wilson 1989).

Em geral, as rochas destas unidades são leucocráticas com teores de elementos ferromagnesianos ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{TiO}_2$) sempre inferiores a 4,0%. As rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá mostram os menores valores, com teores que variam entre 0,54% e 2,4%. Os valores do #Mg nos leucogranitos estudados são, em geral, bastante coincidentes, porém, nota-se uma maior concentração de teores moderados a altos (0,41 - 0,58) nas rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá, enquanto que naquelas do Leucogranito Velha Canadá valores considerados baixos também são frequentes (0,23 - 0,61). Os conteúdos de MgO mostram comportamento similar, variando entre 0,18% e 0,68%, sendo as razões $\text{FeOt}/(\text{FeOt} + \text{MgO})$ em geral mais elevadas nas rochas de Velha Canadá (0,72 a 0,92) em relação às de Nova Canadá (0,70 a 0,83). Os diagramas de Harker da figura 6, que mostram as variações nos conteúdos dos elementos maiores e menores em função daqueles de SiO_2 , ressaltam as diferenças composicionais entre os dois leucogranitos supracitados. Além disso, nota-se que a disposição de suas amostras nestes diagramas é marcada por uma clara correlação negativa entre os conteúdos de SiO_2 e aqueles dos demais óxidos, definindo *trends* não colineares, e por vezes paralelos entre os dois conjuntos de rochas (Figura 6a-j). Exclui-se deste contexto, a correlação positiva observada entre os conteúdos de K_2O e a sílica para as rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá (Figura 6f).

Tabela 3. Composição química das rochas do Leucogranito Velha Canadá.

LEUCOGRANITO VELHA CANADÁ																			
Variedade	Leucogranitos com alta razão La/Yb									Leucogranitos com baixa razão La/Yb									MÉDIA
Litologia	GRANODIORITO								MONZOGRANITO		GRANODIORITO					MONZOGRANITO			
Amostra	PDE	CP	PDE	PDE	PDR	PDE	PDR	PDR	PDE	PDE	PD	ADK	PDR	PDR	PDE	PDE	PDR		
Elementos	38	30	69	41A	39	08	59	01	33	58	01	60	10	13	56	30	07		
SiO ₂	71.57	72.38	73.12	73.91	73.99	74.31	74.70	75.39	73.66	74.33	71.59	72.02	72.21	72.83	76.33	73.23	73.31	73.46	
TiO ₂	0.26	0.25	0.25	0.09	0.11	0.13	0.11	0.22	0.12	0.08	0.36	0.34	0.37	0.27	0.07	0.31	0.17	0.21	
Al ₂ O ₃	14.81	14.58	13.44	13.48	13.92	13.54	13.36	12.83	13.61	13.20	13.56	13.52	13.43	14.01	13.18	13.38	13.69	13.62	
Fe ₂ O ₃	1.63	1.62	1.96	1.27	1.14	1.34	1.30	1.61	1.58	1.35	2.70	2.94	2.48	2.41	0.63	2.15	1.77	1.76	
MnO	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	
MgO	0.68	0.34	0.42	0.25	0.39	0.22	0.21	0.19	0.25	0.29	0.65	0.60	0.66	0.26	0.05	0.43	0.35	0.37	
CaO	1.71	1.46	1.30	1.05	1.25	1.28	1.16	0.77	1.19	2.02	1.63	1.69	1.68	1.36	0.70	1.36	1.14	1.34	
Na ₂ O	4.49	3.89	3.04	3.07	3.80	3.47	3.24	3.60	3.29	3.52	3.33	3.76	3.39	4.23	4.40	3.43	2.98	3.58	
K ₂ O	3.78	4.65	5.37	5.79	4.57	4.89	5.12	4.17	5.33	4.04	4.72	3.97	4.41	3.48	4.07	4.64	5.90	4.64	
P ₂ O ₅	0.08	0.06	0.05	0.02	0.05	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.08	0.10	0.09	0.03	<0.01	0.06	0.06	0.05	
LOI	0.80	0.60	0.80	0.70	0.50	0.60	0.60	0.80	0.70	0.90	1.10	0.80	1.00	0.60	0.50	0.70	0.40	0.71	
Total	99.83	99.83	99.77	99.68	99.76	99.81	99.84	99.67	99.80	99.79	99.72	99.79	99.76	99.51	99.94	99.77	99.78	99.77	
Ba	674.0	984.0	998.0	1455.0	1112.0	842.0	747.0	1390.0	681.0	1126.0	1090.0	646.0	1070.0	1938.0	32.0	782.0	844.0	965.35	
Rb	176.3	157.9	153.9	112.5	174.7	163.4	182.4	105.2	173.9	95.4	143.6	169.2	141.6	88.1	158.0	194.3	155.3	149.75	
Sr	266.2	204.4	151.5	249.2	347.3	139.6	142.1	380.4	134.7	243.5	222.4	169.6	222.1	461.8	44.4	168.9	215.2	221.37	
Zr	78.8	162.9	215.7	117.6	74.0	116.1	139.1	205.1	142.4	138.0	281.9	287.3	274.4	368.3	34.7	243.8	174.8	179.70	
Nb	7.8	11.3	5.0	1.9	3.1	14.5	7.0	6.5	8.0	3.3	9.6	19.4	10.0	11.4	11.2	10.4	10.7	8.89	
Y	9.9	6.1	7.2	3.5	7.6	9.1	5.4	13.3	8.2	3.9	18.8	37.6	20.6	33.0	29.6	38.6	26.3	16.39	
Ga	17.8	20.1	14.1	13.4	15.6	14.9	13.8	14.7	15.5	13.3	14.9	17.3	14.0	17.1	18.2	14.5	14.3	15.50	
Sc	4.0	3.0	3.0	1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	5.0	3.0	4.0	3.0	3.0	1.0	2.71	
Th	9.2	23.4	29.8	48.5	12.7	29.9	46.9	63.8	37.9	48.9	11.2	26.6	12.1	35.6	21.5	20.0	39.1	30.42	
U	2.5	4.2	1.5	5.5	3.2	7.4	28.2	0.9	7.5	8.3	0.6	3.3	0.9	5.9	27.6	1.6	7.1	6.84	
V	14.0	21.0	19.0	13.0	13.0	<8	<8	9.0	10.0	17.0	26.0	29.0	24.0	13.0	<8	23.0	14.0	17.50	
La	23.10	41.90	54.20	53.00	30.00	33.60	30.80	147.90	54.90	5.10	55.20	52.60	59.20	184.10	22.90	77.80	52.20	57.56	
Ce	41.30	79.70	109.70	72.50	41.30	67.60	82.30	232.00	107.50	8.90	118.90	113.60	121.70	300.70	51.30	153.00	103.40	106.20	
Pr	4.67	7.70	11.14	8.52	5.59	7.06	6.59	30.45	11.88	0.95	12.25	13.04	13.53	36.69	7.42	17.47	10.96	12.11	
Nd	13.70	23.90	36.80	26.50	18.30	25.50	21.70	94.70	39.50	3.20	42.80	46.90	45.30	121.30	29.90	60.50	40.60	40.65	
Sm	2.19	3.01	4.98	2.95	2.93	4.16	4.01	12.30	6.24	0.64	6.64	8.83	7.77	17.48	7.68	9.28	6.94	6.35	
Eu	0.49	0.62	0.54	0.49	0.59	0.50	0.48	0.87	0.45	0.36	0.66	0.89	0.74	0.91	0.36	0.80	0.86	0.62	
Gd	1.51	1.73	2.80	1.58	2.17	2.99	2.80	6.63	3.34	0.63	5.04	6.95	5.17	10.50	6.53	6.64	5.00	4.24	
Tb	0.23	0.22	0.34	0.15	0.27	0.39	0.30	0.72	0.39	0.10	0.76	1.16	0.81	1.35	1.04	1.05	0.82	0.59	
Dy	1.19	1.11	1.50	0.59	1.26	1.98	1.21	2.76	1.54	0.66	3.63	6.77	4.38	5.93	5.73	5.62	4.73	2.98	
Ho	0.24	0.19	0.24	0.09	0.26	0.36	0.19	0.41	0.26	0.13	0.72	1.29	0.69	1.00	1.05	1.04	0.86	0.53	
Er	0.67	0.56	0.72	0.18	0.66	0.88	0.52	1.10	0.71	0.33	1.97	3.79	2.07	2.90	2.93	2.98	2.53	1.50	
Tm	0.10	0.09	0.10	0.04	0.10	0.16	0.06	0.12	0.11	0.05	0.26	0.58	0.30	0.45	0.48	0.46	0.38	0.23	
Yb	0.54	0.55	0.70	0.25	0.59	0.97	0.44	0.89	0.80	0.43	1.54	3.66	1.80	2.95	3.04	2.60	2.14	1.41	
Lu	0.08	0.08	0.13	0.05	0.10	0.16	0.08	0.11	0.13	0.08	0.19	0.48	0.20	0.46	0.47	0.34	0.28	0.20	
A/CNK	1.02	1.04	1.02	1.02	1.03	1.02	1.03	1.08	1.02	0.95	1.00	1.00	1.00	1.06	1.02	1.02	1.02	1.02	
K ₂ O/Na ₂ O	0.84	1.20	1.77	1.89	1.20	1.41	1.58	1.16	1.62	1.15	1.42	1.06	1.30	0.82	0.93	1.35	1.98	1.33	
FeO/(FeO+MgO)	0.68	0.81	0.81	0.82	0.72	0.85	0.85	0.88	0.85	0.81	0.79	0.82	0.77	0.89	0.92	0.82	0.82	0.82	
Fe ₂ O ₃ +MgO+TiO ₂	2.57	2.21	2.63	1.61	1.64	1.69	1.62	2.02	1.95	1.72	3.71	3.88	3.51	2.94	0.75	2.89	2.29	2.33	
#Mg	0.61	0.44	0.44	0.42	0.56	0.38	0.37	0.30	0.37	0.44	0.41	0.51	0.50	0.28	0.23	0.42	0.42	0.42	
Sr/Y	26.89	33.51	21.04	71.20	45.70	15.34	26.31	28.60	16.43	62.44	11.83	4.51	10.78	13.99	1.50	4.38	8.18	23.68	
Rb/Sr	0.66	0.77	1.02	0.45	0.50	1.17	1.28	0.28	1.29	0.39	0.65	1.00	0.64	0.19	3.56	1.15	0.72	0.92	
Rb/Zr	2.24	0.97	0.71	0.96	2.36	1.41	1.31	0.51	1.22	0.69	0.509	0.589	0.516	0.239	4.553	0.797	0.888	1.20	
Ba/Sr	2.53	4.81	6.59	5.84	3.20	6.03	5.26	3.65	5.06	4.62	4.90	3.81	4.82	4.20	0.72	4.63	3.92	4.39	
Rb/Y	17.81	25.89	21.38	32.14	22.99	17.96	33.78	7.91	21.21	24.46	7.64	4.50	6.87	2.67	5.34	5.03	5.90	15.50	
Nb/Ta	15.60	5.95	16.67	3.80	6.20	16.11	14.00	13.00	8.00	1.83	12.00	7.46	10.00	6.00	4.87	11.56	3.15	9.19	
(La/Yb) N	28.87	51.42	52.26	143.10	34.32	23.38	47.25	112.17	46.32	8.01	24.19	9.70	22.20	42.12	5.08	20.20	16.46	40.42	
(Ce/Yb) N	19.79	37.51	40.56	75.06	18.12	18.04	48.41	67.47	34.78	5.36	19.98	8.03	17.50	26.38	4.37	15.23	12.51	27.59	
(La/Sm) N	6.64	8.76	6.85	11.31	6.45	5.09	4.84	7.57	5.54	5.02	5.23	3.75	4.80	6.63	1.88	5.28	4.74	5.90	
(Gd/Er) N	1.83	2.51	3.16	7.13	2.67	2.76	4.38	4.90	3.82	1.55	2.08	1.49	2.03	2.94	1.81	1.81	1.61	2.85	
ΣETR	90.0	161.4	223.9	166.9	104.1	146.3	151.5	531.0	227.8	21.6	250.6	260.5	263.7	686.7	140.8	339.6	231.7	235.17	
ΣETR Leves	85.5	156.8	217.4	164.0	98.7	138.4	145.9	518.2	220.5	19.2	236.5	235.9	248.2	661.2	119.6	318.9	215.0	223.50	
ΣETR Pesados	4.6	4.5	6.5	2.9	5.4	7.9	5.6	12.7	7.3	2.4	14.1	24.7	15.4	25.5	21.3	20.7	16.7	11.67	
Eu/Eu*	0.78	0.76	0.40	0.63	0.69	0.41	0.42	0.27	0.27	1.71	0.34	0.34	0.34	0.19	0.15	0.30	0.43	0.50	

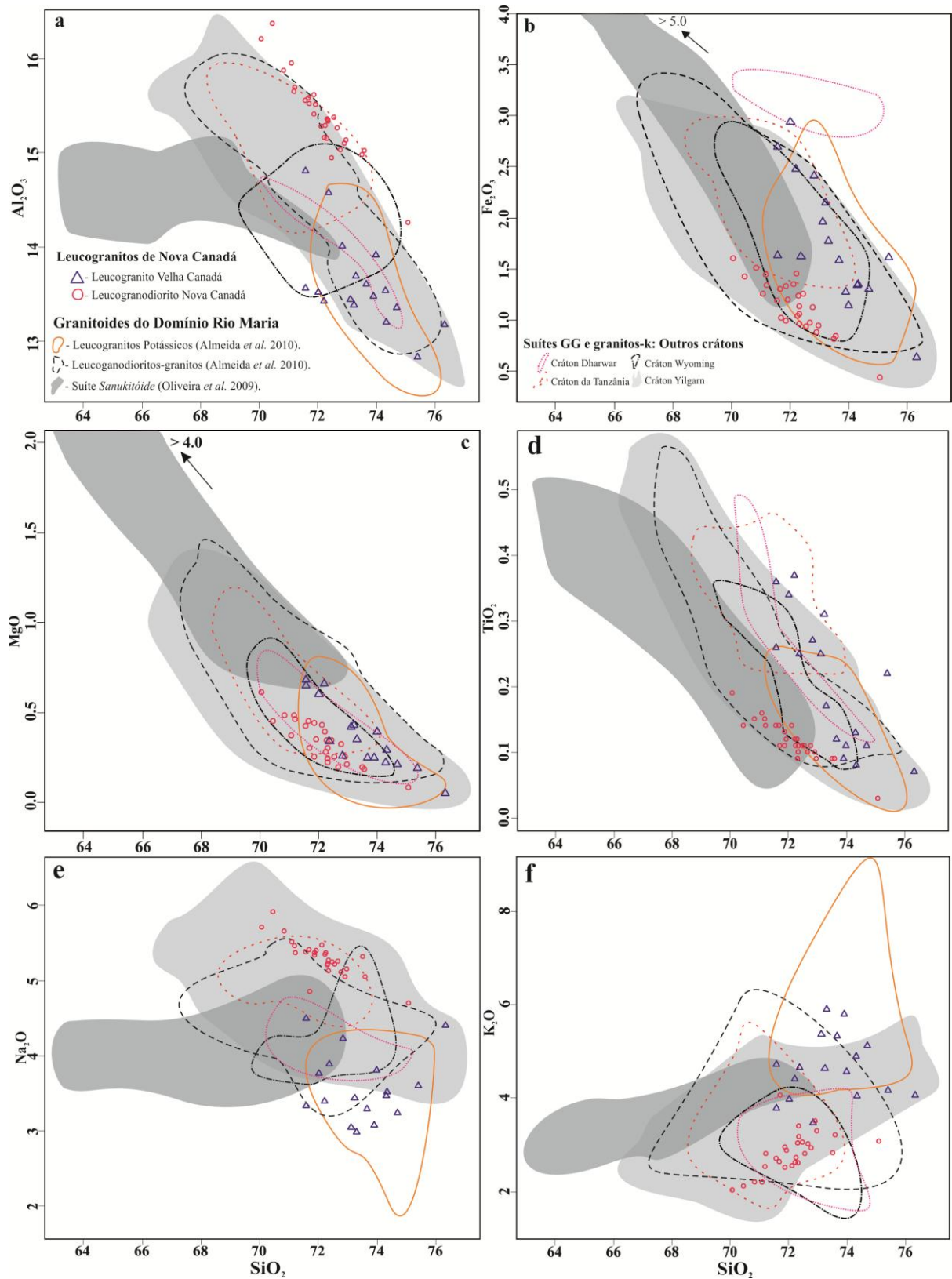
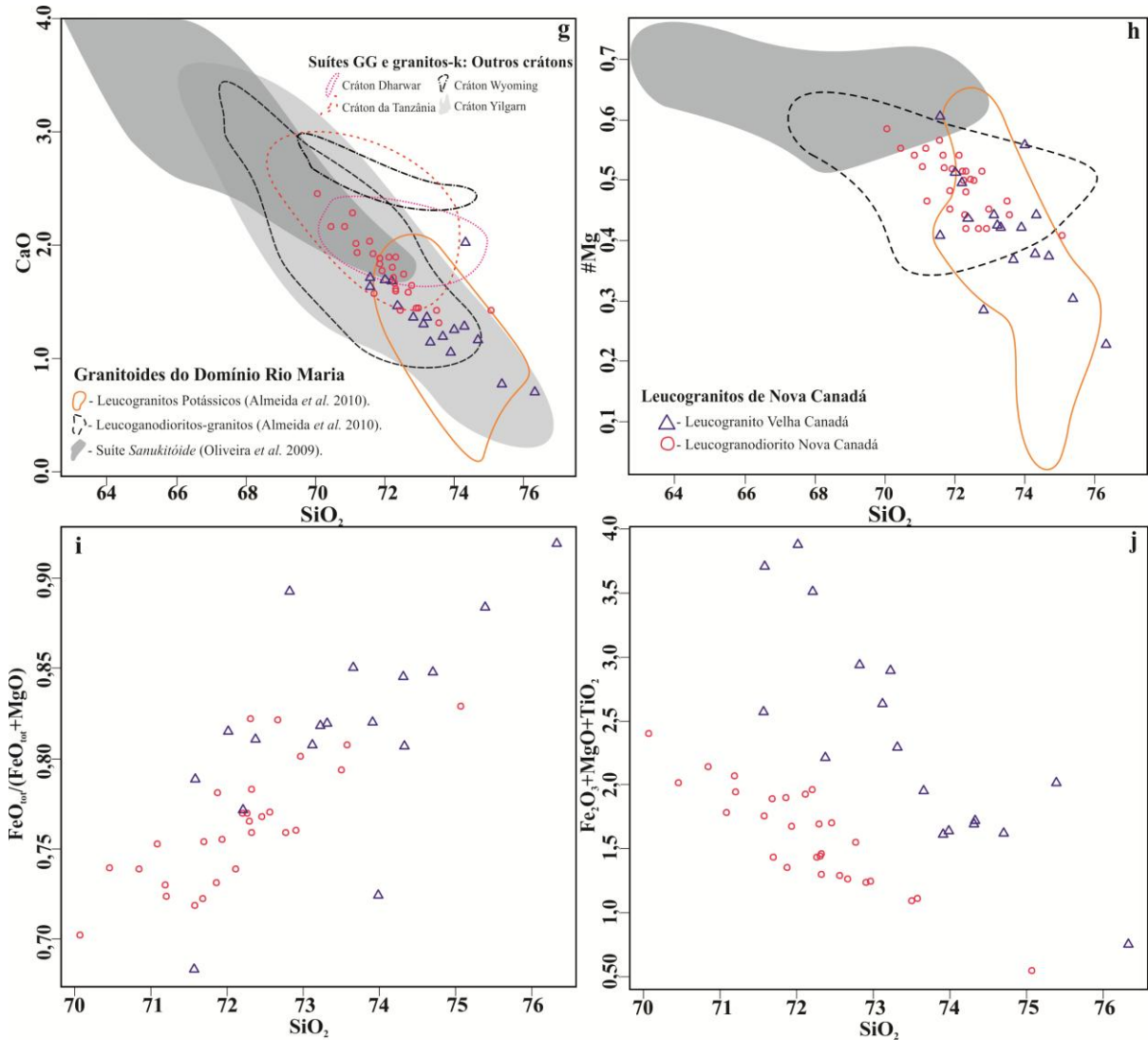


Figura 6. (a-g) diagramas Harker para elementos maiores dos leucogranitos da área de Nova Canadá; (h-j) os somatórios dos elementos ferromagnesianos e #Mg vs. SiO_2 . Os campos de ocorrência dos Leucogranodioritos-granitos da Suíte Guaratã, Leucogranitos Potássicos (Almeida *et al.* 2010) e Suíte *Sanukitóide* Rio Maria (Oliveira *et al.* 2009) do Domínio Rio Maria, e os campos da Suíte GG da Província Wyoming (Frost *et al.* 2006), dos TTGs Transicionais dos crátons Dharwar (Jayananda *et al.* 2006, Prabhakar *et al.* 2009), da Tanzânia (Opiyo-Akech *et al.* 1999) e do Cráton Yilgarn (Suítas Goongarrie e Menangina, e plútons Barr Smith e Union Jack – Heilimo *et al.* 2010) são usados para comparações.

Continuação Figura 6.



Elementos traço

Nas séries magmáticas, a distribuição dos elementos traço é amplamente controlada pelas fases minerais fracionadas durante a evolução magmática, constituindo assim um bom indicador dos processos petrogenéticos (Hanson 1989). Os conteúdos dos principais elementos traço verificados nas tabelas 3 e 4, mostram uma clara distinção composicional entre as associações leucograníticas da área de Nova Canadá, similarmente ao que foi discutido para os elementos maiores. Nota-se que o conteúdo de Sr é claramente mais elevado nas amostras do Leucogranodiorito Nova Canadá (453 ppm a 1063 ppm) quando comparado com aqueles do Leucogranito Velha Canadá (44 ppm a 462 ppm). Apesar da dispersão dos conteúdos de Ba nestas rochas (Figura 7a), nota-se que as rochas leucograníticas de Nova Canadá são mais enriquecidas neste elemento (805 ppm – 2710 ppm) em relação as rochas de Velha Canadá (32 ppm – 1938 ppm). Por outro lado, neste último, os teores de Rb (88 ppm –

194 ppm), Y (3,5 ppm a 38,6 ppm), Zr (34,7 ppm a 368 ppm) e Nb (1,9 ppm a 19,4 ppm) são consideravelmente mais elevados em relação aqueles do Leucogranodiorito Nova Canadá [Rb (39,6 ppm a 108 ppm), Y (0,8 ppm a 22 ppm), Zr (38,6 ppm a 90 ppm) e Nb (0,6 ppm a 4,5 ppm)], os quais podem ser considerados moderados para o primeiro e baixos para este último, quando comparados a granitos alcalinos crustais (Pearce *et al.* 1984, Whalen *et al.* 1987, Eby 1992, Sylvester 1994).

O comportamento dos principais elementos traço destas associações leucograníticas mostra ampla distribuição nos diagramas de Harker (Figura 7a-f). Nestes, a disposição das amostras pertencentes ao Leucogranodiorito Nova Canadá define claramente *trends* evolutivos em relação à sílica, enquanto que aquelas do Leucogranito Velha Canadá são mais dispersas e não mostram correlações claras com a sílica. Neste sentido, Ba, Sr e Zr mostram correlação negativa com SiO₂ para as amostras do Leucogranodiorito Nova Canadá, indicando comportamento compatível desses elementos com as fases fracionantes durante a evolução do magma formador dessas rochas, enquanto que Rb, Y e Nb enriquecem nas fases residuais.

Os diagramas que utilizam as razões Ba/Sr vs. K₂O/Na₂O e Rb/Sr, Rb/Zr e Sr/Y vs. Rb (Figura 8a-d) distinguem claramente os dois grupos de rochas estudados. Nestes, as razões Ba/Sr e Rb/Sr apresentam valores médios nitidamente superiores no Leucogranito Velha Canadá (4,39 e 0,92 e, respectivamente) em relação ao Leucogranodiorito Nova Canadá (1,94 e 0,10), onde definem *trends* paralelos e positivos com a razão K₂O/Na₂O e Rb, respectivamente (Figuras 8a-d). Comportamento similar é observado para a razão Rb/Zr (Figura 8c), que possui valores médios coincidentes entre as duas variedades (1,20 e 1,10). Já os valores da razão Sr/Y são mais elevados nas rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá (176,17) em relação aqueles observados nas rochas do Granito Velha Canadá (23,68), este comportamento discrepante pode ser visualizado em *trends* fortemente negativos para os primeiros e mais discretos para os últimos quando analisados em relação ao Rb (Figura 8d). Nota-se também acentuado aumento das razões K₂O/Na₂O no Leucogranito Velha Canadá (média de 1,33) em relação ao leucogranodiorito de Nova Canadá (média de 0,54).

As diferenças marcantes nos teores de Sr, Y e, conseqüentemente na razão Sr/Y (Tabelas 3 e 4 e Figura 8d), podem refletir diferenças na profundidade de fusão para geração destas rochas (Drummond & Defant 1990) ou ligeiras diferenças na composição da fonte (Moyen 2009).

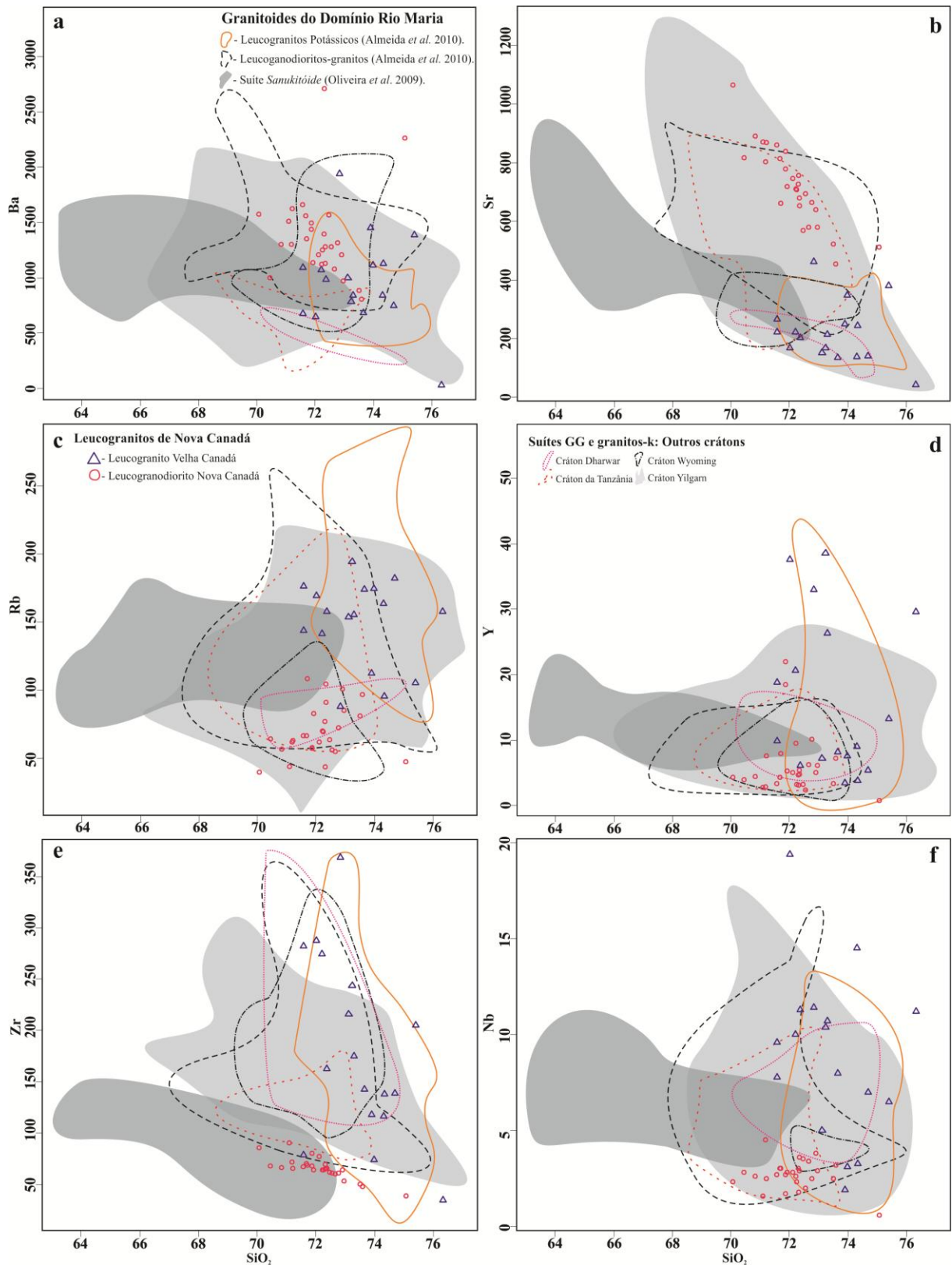


Figura 7. Diagramas Harker para elementos traço dos leucogranitos de Nova Canadá. Campos dos leucogranitos da Suíte Guaratã, Leucogranitos Potássicos (Almeida *et al.* 2010), e Sanukitóide Rio Maria (Oliveira *et al.* 2009) do Domínio Rio Maria. Os campos da Suíte GG da Província Wyoming (Frost *et al.* 2006), dos TTGs Transicionais dos crátons Dharwar (Jayananda *et al.* 2006, Prabhakar *et al.* 2009), da Tanzânia (Opiyo-Akech *et al.* 1999) e do Cráton Yilgarn (Heilimo *et al.* 2010) também são usados para comparações.

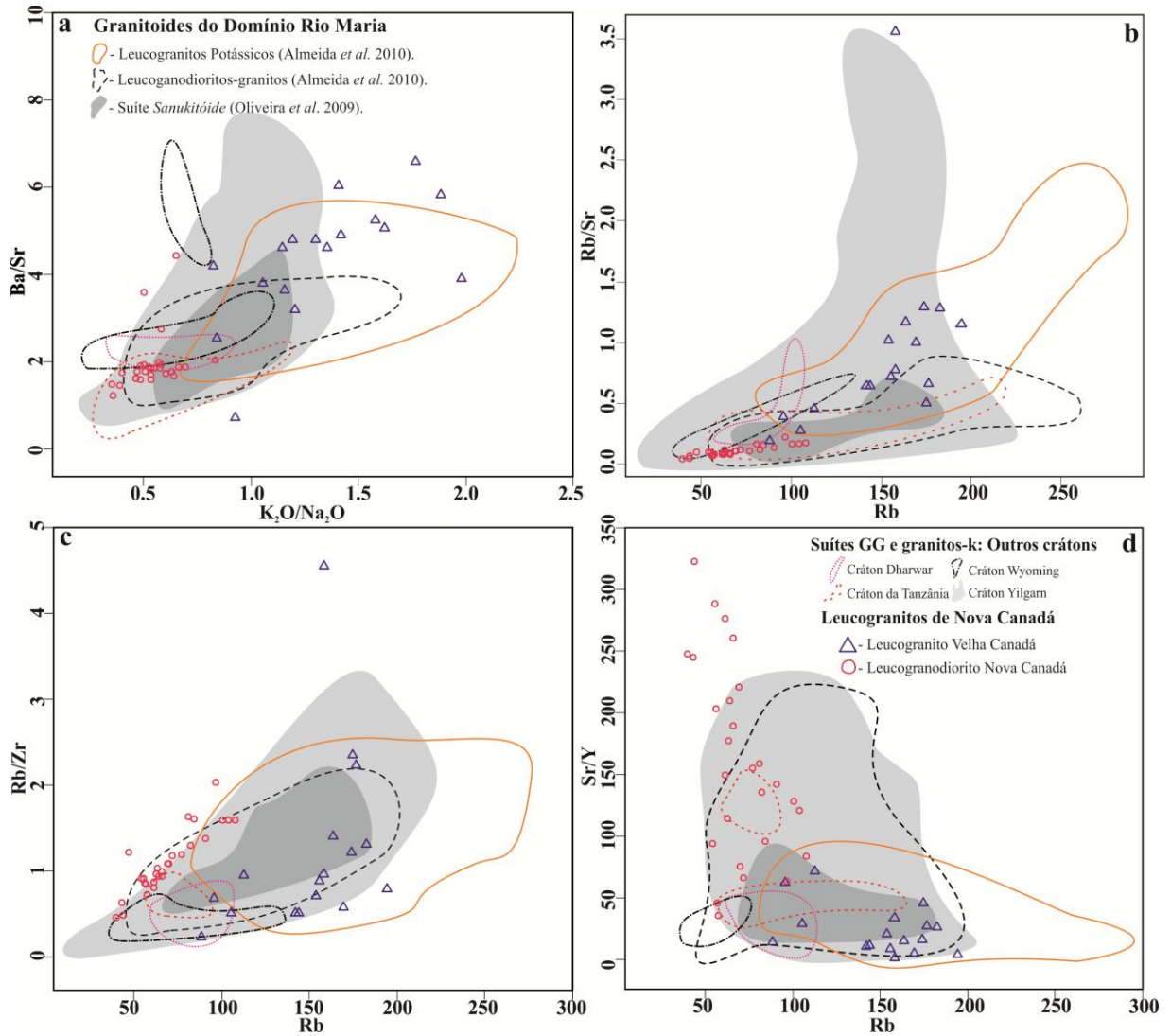


Figura 8. Diagramas Harker para as rochas leucograníticas de Nova Canadá com alguns elementos traço e razões entre estes elementos. Campos dos Leucogranitos da Suíte Guaratã e Leucogranitos Potássicos (Almeida *et al.* 2010), e *Sanukitóide* Rio Maria (Oliveira *et al.* 2009) de Rio Maria. Os campos da Suíte GG da Província Wyoming (Frost *et al.* 2006), dos TTGs Transicionais dos crátoms Dharwar (Jayananda *et al.* 2006, Prabhakar *et al.* 2009), da Tanzânia (Opiyo-Akech *et al.* 1999) e do Cráton Yilgarn (Heilimo *et al.* 2010) também são usados para comparações.

Elementos terras raras (ETR)

Os resultados analíticos obtidos para elementos terras raras (ETR; Tabelas 3 e 4) foram normalizados em relação aos condritos, conforme os valores de Evensen *et al.* (1978). Apesar dos padrões de ETR descritos para as associações leucograníticas da área de Nova Canadá mostrarem um enriquecimento em elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos terras raras pesados (ETRP), o que indicaria maior fracionamento destes últimos durante a formação e/ou diferenciação de seus magmas, nota-se a presença de dois padrões claramente distintos para estas rochas (Figura 9). As amostras do Leucogranodiorito Nova Canadá configuram padrões de ETR levemente fracionados, com razões $(La/Yb)_N$ baixas à moderadas (5,3 – 79,6) e anomalias Eu ausentes ou discretamente negativas [$(0,53 \leq Eu/Eu^* \leq 0,99)$ – Tabela 4], e mais restritamente, positivas (Eu/Eu^* entre 1,13 – 1,70), enquanto que no Leucogranito Velha Canadá, suas amostras são mais enriquecidas em ETR ($\Sigma ETRL = 223,5$; $\Sigma ETRP = 11,7$) em relação às de Nova Canadá ($\Sigma ETRL = 43,4$; $\Sigma ETRP = 3,9$), com razões $(La/Yb)_N$ baixas à altas (5,1 – 143,1). Dentre as amostras pertencentes ao Leucogranito Velha Canadá, aquelas com baixas razões $(La/Yb)_N$ (5,1 – 24,2) mostram forte fracionamento de Eu, com anomalias negativas acentuadas ($0,15 \leq Eu/Eu^* \leq 0,43$), enquanto que nas amostras com moderadas (28,9 – 52,3) à altas (112,2 – 143,1) razões $(La/Yb)_N$, tais anomalias são discretas ($0,40 \leq Eu/Eu^* \leq 0,78$), e mais raramente negativas ($Eu/Eu^* = 0,27$), ou até mesmo positiva ($Eu/Eu^* = 1,70$) – Tabela 3 e Figura 9b. Estas últimas destacam-se por apresentar um maior fracionamento de ETRP em relação aquelas do grupo de baixa razão $(La/Yb)_N$, resultando em um padrão côncavo dos ETRP.

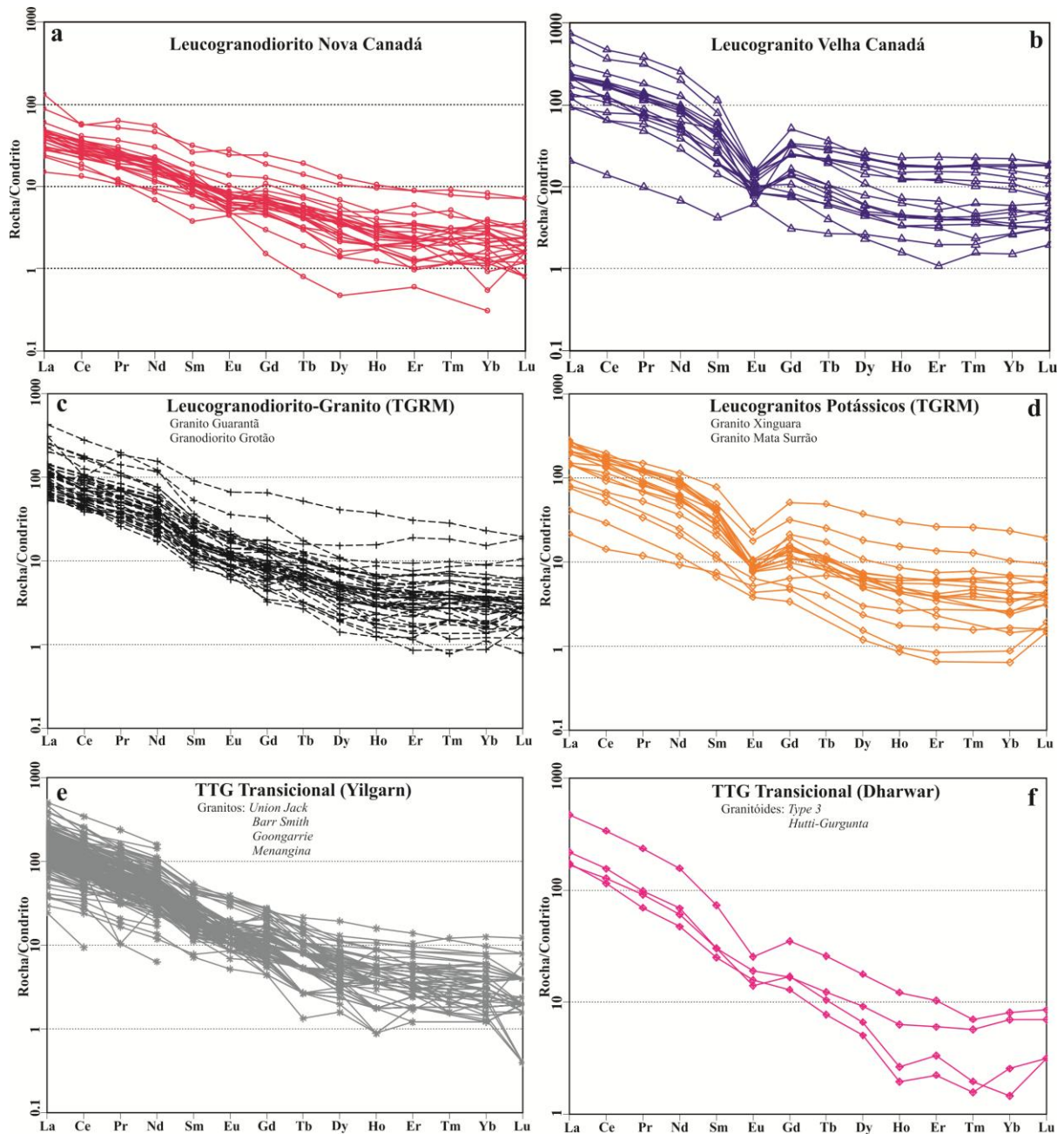


Figura 9. Padrões de ETR com valores normalizados pelo condrito de Evensen *et al.* (1978), para as rochas leucograníticas de Nova Canadá: (a) Leucogranito Nova Canadá; (b) Leucogranito Velha Canadá; (c, d) Suíte Guarantã e Leucogranitos Potássicos do Domínio Rio Maria, respectivamente (Almeida *et al.* 2010); (e, f) TTGs Transicionais dos crátons Yilgarn (Heilimo *et al.* 2010) e Dharwar (Jayananda *et al.* 2006; Prabhakar *et al.* 2009), respectivamente.

Caracterização da série magmática

A classificação química das rochas leucograníticas da área de Nova Canadá, baseada nos diagramas R1-R2 (De La Roche *et al.* 1980 – Figura 10a) e TAS (Cox *et al.* 1979 – Figura 10b), indicam que as mesmas são saturadas em sílica e de natureza subcalina, e incidem no campo dos granitos *stricto sensu*. Já no diagrama P – Q (Debon & Le Fort 1983 – Figura 10c) estas rochas seguem o *trend* definido pelas rochas cálcio-alcálicas, com as amostras de Velha Canadá incidindo nos campos dos granitos e adamelitos, e aquelas de Nova

Canadá plotando no campo dos granodioritos, e mais restritamente no domínio das rochas tonalíticas, neste último caso, isso seria reflexo de seu caráter menos evoluído, e conseqüentemente dos baixos conteúdos de K e de feldspato alcalino modal presentes nas mesmas (Tabelas 2 e 4). Esta tendência também é refletida no diagrama normativo Ab-An-Or (O'Connor 1965 – Figura 10d), com o Leucogranodiorito Nova Canadá atestando seu caráter mais sódico.

Segundo o diagrama ACNK vs. ANK (Figura 10e), baseado em parâmetros de Shand (1950), estas rochas são levemente peraluminosas, o que é consistente com a mineralogia identificada, com biotita ± muscovita como minerais varietais. Já no diagrama K₂O vs. SiO₂ (Peccerillo & Taylor 1976 – Figura 10f), os granitoides estudados mostram forte afinidade geoquímica com as rochas da série cálcio-alcalina, onde as amostras do Leucogranodiorito Nova Canadá concentram-se no campo das rochas cálcio-alcalinas típicas de médio K, e aquelas do Leucogranito Velha Canadá estão restritas ao campo de rochas com alto K, por serem mais enriquecidas em K₂O. As razões K₂O/Na₂O observadas no Leucogranodiorito Nova Canadá são moderadas (0,35 – 0,84), enquanto que naquelas de Velha Canadá, são em geral, elevadas (0,82 – 1,98).

A forte natureza cálcio-alcalina dessas rochas é refletida no diagrama AFM (Irvine & Baragar 1971 – Figura 10g), no qual as amostras dos dois grupos de leucogranitos exibem enriquecimento relativo em álcalis e se alinham segundo *trend* comum às séries cálcio-alcalinas. No diagrama K-Na-Ca (Barker & Arth 1976 – Figura 10h), a afinidade cálcio-alcalina dessas rochas tende a se repetir, sendo que as amostras do Leucogranodiorito Nova Canadá mesmo não mostrando um enriquecimento significativo em K₂O, fogem inteiramente do clássico *trend* trondhjemítico das séries TTG.

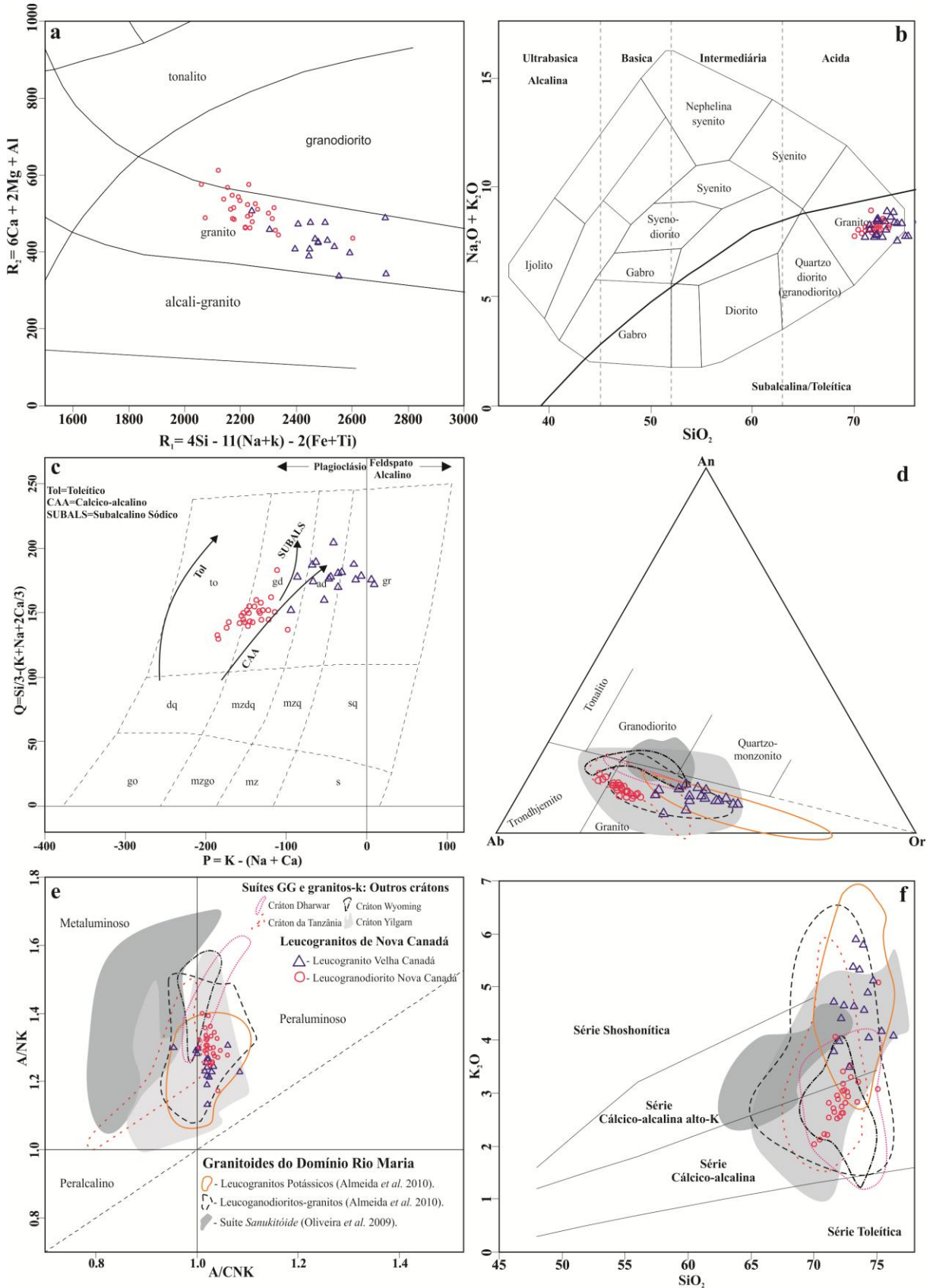
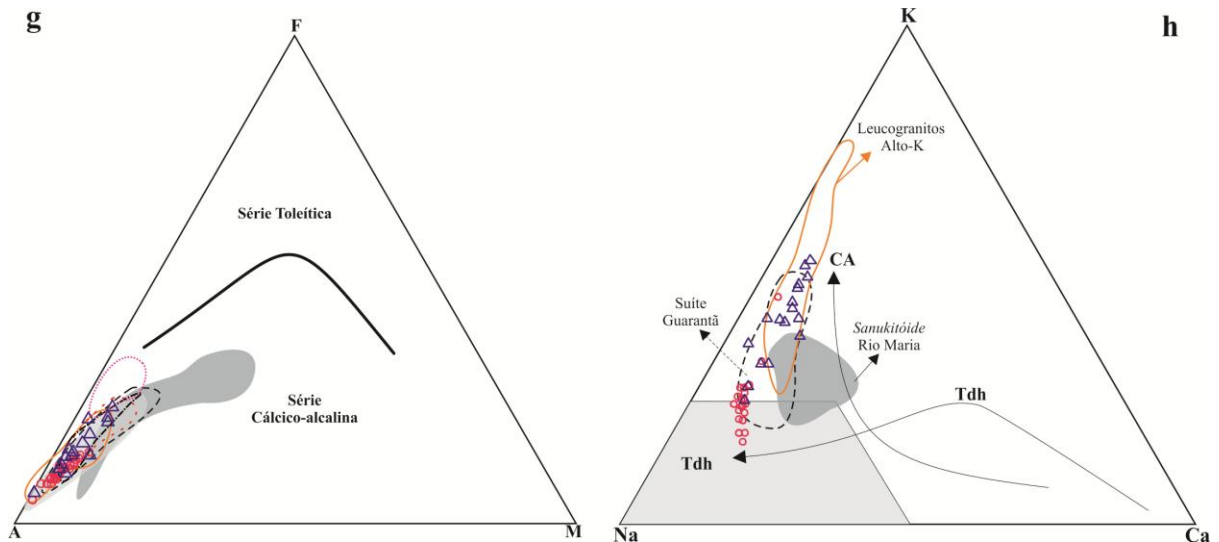


Figura 10. Diagramas mostrando a caracterização geoquímica das leucogranitos de Nova Canadá: a) diagrama R1-R2 (De La Roche 1980); b) diagrama TAS (Cox *et al.* 1979); c) diagrama P-Q (Debon & Le Fort 1983); d) diagrama Ab-An-Or normativo (O'Connor 1965; com campos de Barker 1979); e) diagrama $[Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)]_{mol}$ vs. $[Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)]_{mol}$ (Shand 1950); f) diagrama K_2O vs. SiO_2 (campos de Peccerillo & Taylor 1976); g) diagrama AFM (A = Na_2O+K_2O ; F = $FeO+0,9*Fe_2O_3$; M = MgO) com campos

de Irvine & Baragar (1971): Th = Toleítos, CA = cálcio-alcalino; (h) diagrama K-Na-Ca; campo Tdh dos TTGs típicos (Martin 1994), Tdh = trend trondhjemítico de Barker & Arth (1976) e CA = trend cálcio-alcalino. Nas figuras d-h constam os campos de granitos afins no Domínio Rio Maria e outros crátons.

Continuação Figura 10.



No diagrama $100 * (\text{MgO} + \text{FeO} + \text{TiO}_2) / \text{SiO}_2$ vs. $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}) / (\text{FeO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ de Sylvester (1989 – Figura 11) as amostras do Leucogranodiorito Nova Canadá plotam preferencialmente no campo dos granitos cálcio-alcalinos e fortemente peraluminosos, contudo, estas rochas não mostram caráter fortemente peraluminoso e seus conteúdos de Ba e Sr corroboram para a afinidade das mesmas com granitos cálcio-alcalinos arqueanos. Por outro lado, as amostras do Leucogranito Velha Canadá incidem no campo ambíguo dos granitos alcalinos e cálcio-alcalinos fortemente fracionados, no entanto, o forte empobrecimento em HFSE (Zr, Y, Nb) confirma a afinidade cálcio-alcalina discutida anteriormente para estas rochas. Com base na classificação de granitos cálcio-alcalinos arqueanos de Sylvester (1994), aqueles de Nova Canadá, que apresentam padrão de ETR fracionado com anomalia de Eu nula ou discretamente negativa são similares ao subgrupo de granitos cálcio-alcalino CA1, enquanto que o Leucogranito Velha Canadá são mais afins do subgrupo CA2.

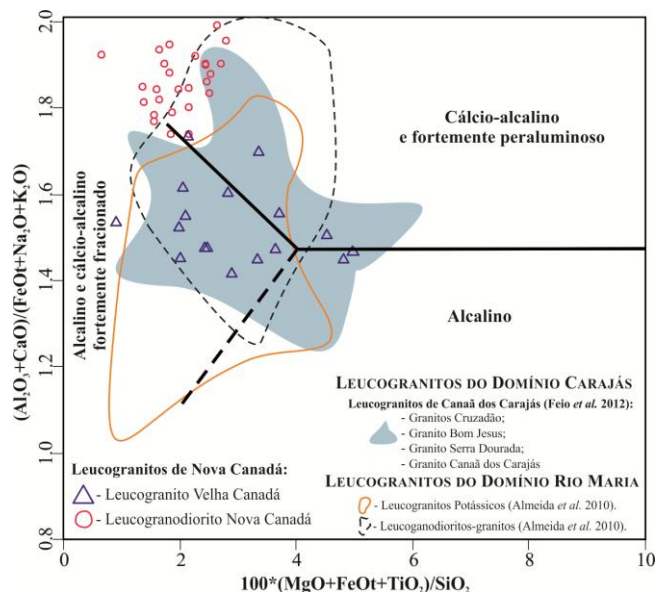


Figura 11. Diagrama de discriminação dos elementos maiores para leucogranitos (Sylvester 1989).

COMPARAÇÕES COM GRANITOIDES DA PROVÍNCIA CARAJÁS E OUTROS CRÁTONS ARQUEANOS

Os dados apresentados anteriormente apontam para a existência de duas unidades leucograníticas bastante distintas, que divergem principalmente no que diz respeito aos seus conteúdos de SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Rb, HFSE (Zr, Y e Nb), das razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$, Ba/Sr e Rb/Sr , e padrões ETR ($\sum\text{ETR}$; razões Eu/Eu^* e La/Yb), que são mais elevados nas rochas do Leucogranito Velha Canadá em relação aquelas do Leucogranodiorito Nova Canadá, que por sua vez é mais enriquecido em Al_2O_3 , CaO , Na_2O , Ba, Sr e na razão Sr/Y , além de mostrar menor fracionamento de ETR (baixas razões La/Yb) e anomalias de Eu ausentes ou discretas. Com base nestas informações, e com o intuito de definir um quadro geológico mais preciso para a porção sul do Domínio Carajás, foram realizados estudos comparativos entre os granitoides estudados e aqueles correlacionados às rochas da Suíte Guarantã e Leucogranitos Potássicos, ambos do Domínio Rio Maria de Almeida *et al.* (2010), além dos leucogranitos da área de Canaã dos Carajás, do Domínio Carajás ou Subdomínio de Transição de Feio *et al.* (2012). Granitoides análogos de outros crátons também foram selecionados para comparação, como aqueles do centro-oeste dos Estados Unidos (Wyoming), oeste da Austrália (Província Yilgarn), leste africano (Tanzânia); e sul da Índia (Dharwar).

Dentre os vários grupos de leucogranitos da Província Carajás utilizados para comparação neste trabalho, nota-se que as rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá apresentam algumas semelhanças com os leucogranodiorito-granitos da Suíte Guarantã de Rio Maria, principalmente no que diz respeito aos seus aspectos texturais, com a presença

marcante de fenocristais de K-feldspato, além dos altos conteúdos de Ca, Ba e Sr apresentados por estas rochas (Figuras 6g e 7a, b). Nota-se ainda em alguns diagramas, que os teores de MgO, Fe₂O₃, TiO₂, CaO, Ba, Rb e HFSE das amostras mais empobrecidas em sílica do Leucogranodiorito Nova Canadá, tendem a se superpor com aqueles das rochas mais evoluídas da Suíte *Sanukitóide* Rio Maria (Oliveira *et al.* 2009). Em relação aos leucogranitos de outros crátons arqueanos, o comportamento geoquímico do Leucogranodiorito Nova Canadá, também o aproxima dos TTGs Transicionais dos crátons Yilgarn (Heilimo *et al.* 2010) e da Tanzânia (Opiyo-Akech *et al.* 1999), sobretudo pelos seus altos conteúdos de CaO e Al₂O₃ e baixos de HFSE, além das altas razões Sr/Y e baixas de K₂O/Na₂O, Rb/Sr e Ba/Sr (Figura 8a-d). Adicionalmente, os padrões de ETR pouco fracionados, com ausência de anomalias de Eu e baixas razões (La/Yb)_N, ratificam claramente a existência de notáveis analogias entre os granitoides de afinidade cálcio-alcálica mencionados acima (Figura 9a, c, d, e, f). Feições análogas também são observadas no Granito Canaã dos Carajás, porém tendem a ser levemente mais empobrecidos em ETRP (Feio *et al.* 2012 – Figura 12f).

O padrão geoquímico desenhado pelas amostras do Leucogranito Velha Canadá é claramente distinto daquele fornecido pelos granitoides de alto Ba e Sr discutidos acima. Seus conteúdos moderados de Fe₂O₃, TiO₂, K₂O, Rb e HFSE, e baixos de Al₂O₃, CaO, Na₂O, Ba e Sr, mostram que o granito de Velha Canadá possui fortes afinidades com os leucogranitos potássicos tipo Xinguara e Mata Surrão de Rio Maria (Figura 6a-j, 7a, b), assim como aqueles da região da Canaã dos Carajás. Porém, quando comparado aos leucogranitos potássicos de outros crátons, esta afinidade não é tão clara. Nota-se, que as similaridades entre as amostras do Leucogranito Velha Canadá com aquelas dos crátons Dhawar (Jayananda *et al.* 2006, Prabhakar *et al.* 2009) e Wyoming (Frost *et al.* 2006), se dariam principalmente pelos comportamentos similares de Al₂O₃, TiO₂, Na₂O, Ba, Sr e HFSE, e com aquelas do Cráton Yilgarn, pela superposição com o campo definido pelas amostras de baixo conteúdo de Ca. A afinidade geoquímica do granito de Velha Canadá com os leucogranitos potássicos de Rio Maria e o Granito Cruzadão de Canaã dos Carajás, também é atestada através dos padrões de distribuição do ETR fortemente coincidentes entre estas rochas (Figura 12a-d). Assim como os granitos do Cráton Dhawar, os demais granitos de Canaã dos Carajás (Bom Jesus e Serra Dourada), exibem padrão de distribuição de ETR semelhante ao grupo com moderadas à altas razões (La/Yb)_N do Leucogranito Velha Canadá (Figura 12a, b, g, h), onde observa-se um maior fracionamento de ETRP em relação aos ETRL e anomalias negativas de Eu moderadas a fracas, ou até mesmo ausentes (Figura 12).

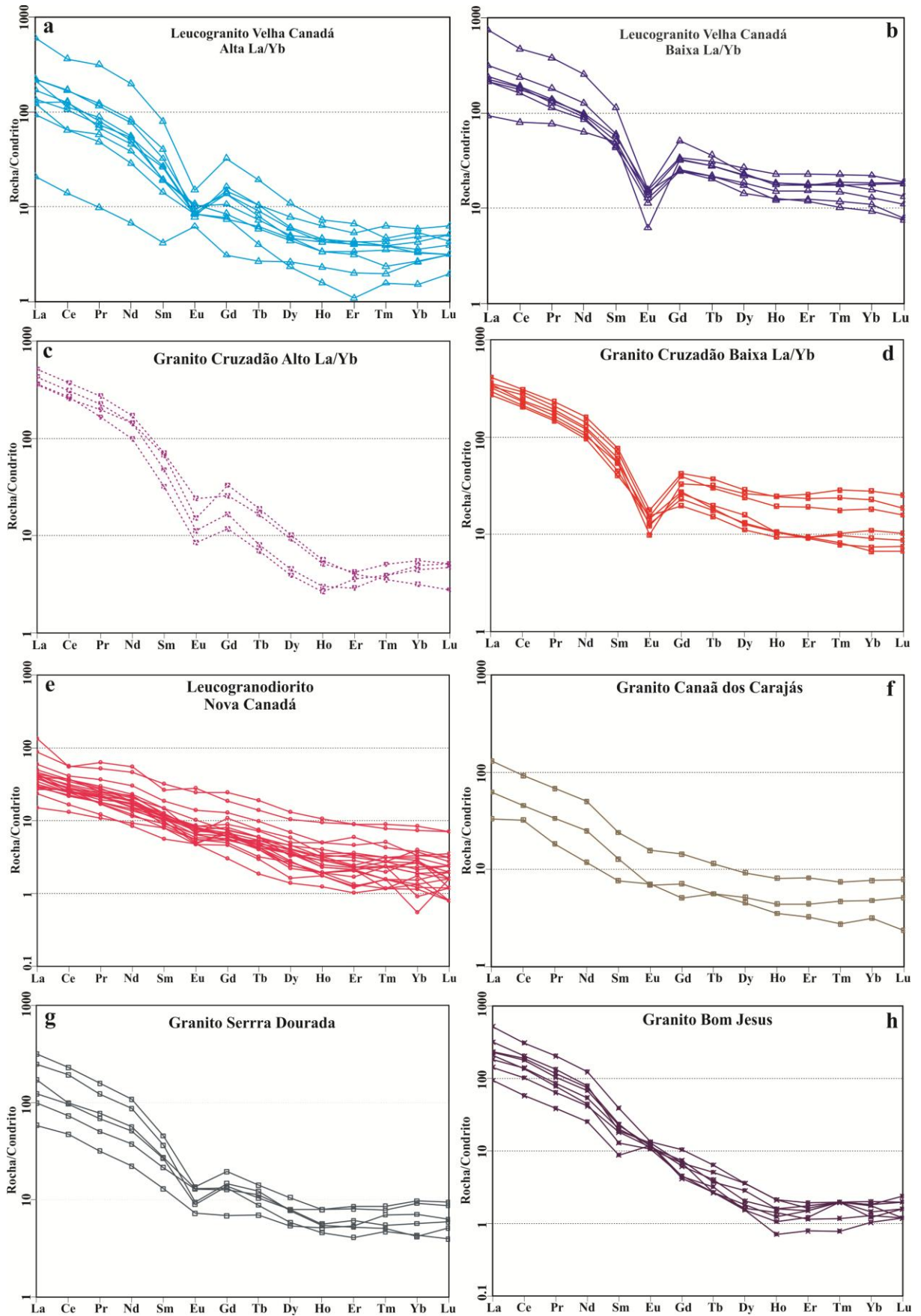


Figura 12. Padrões de ETR com valores normalizados pelo condrito de Evensen *et al.* (1978), para as rochas leucograníticas de Nova Canadá: (a, b) variações observadas no Leucogranito Velha Canadá, mostrando granitos com alta e baixa razões La/Yb; (c, d) variedades alta e baixa razão La/Yb para o Granito Cruzadão na área de

Canaã dos Carajás (Feio *et al.* 2012); (e) Leucogranito Nova Canadá; (f, g e h) outros padrões observados na área de Canaã dos Carajás (Feio *et al.* 2012).

CONSIDERAÇÕES SOBRE A ORIGEM DOS LEUCOGRANITOS ARQUEANOS DA ÁREA DE NOVA CANADÁ

As fortes similaridades dos leucogranitos individualizados na área de Nova Canadá com aqueles recentemente descritos na literatura para a região de Rio Maria (Almeida *et al.* 2010), nos dão condições para fazer algumas considerações sobre a origem das mesmas, seguindo a mesma linha de raciocínio que estes autores. Os diferentes padrões geoquímicos identificados nas rochas estudadas sugerem o a atuação de fontes e processos de formação distintos, os quais que serão abordados para cada variedade. Para a origem dos leucogranodioritos-granitos com alto Ba e Sr da Suíte Garantã de Rio Maria, os quais possuem fortes afinidades geoquímicas com o Leucogranodiorito Nova Canadá, Almeida *et al.* (2010) atribuem a seguinte hipótese: (I) cristalização fracionada a partir de líquidos *sanukitóide* com fracionamento de hornblenda, plagioclásio, clinopiroxênio e minerais óxidos de Fe e Ti gerando monzogranitos enriquecidos em Ba e Sr; e (II) processos de mistura entre esses líquidos graníticos com afinidade *sanukitóide* e trondhjemitos. As ocorrências expressivas de rochas com tais características e idades similares (Figura 2), favorecem a aplicação desta hipótese na área de Nova Canadá (Gabriel & Oliveira submetido, Santos & Oliveira em preparação). Porém, como já foi observado por Almeida *et al.* (2010), o fato do magma *sanukitóide* ter gerado rochas de composição essencialmente granodioríticas, o que sugere uma forte superposição entre seus conteúdos de quartzo e feldspatos com aqueles dos granitos de alto Ba e Sr, pode fragilizar a aplicação do modelo de cristalização fracionada, já que em processos de cristalização fracionada é comum os líquidos residuais sofrerem um enriquecimento acentuado em SiO₂ e K₂O, dando origem a rochas mais evoluídas. A hipótese de origem do magma formador do Leucogranodiorito Nova Canadá por fusão parcial de fonte TTG pode ser descartada pela ausência de anomalia negativa de Eu nestes 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).

Diversos estudos experimentais sob condições anídras têm demonstrado que líquidos graníticos podem ser gerados a partir de fusão parcial dos metatonalitos (Rutter & Wyllie, 1988, Skjerlie & Johnston 1992, Singh & Johannes 1996, Gardien *et al.* 1995, 2000, Patiño Douce 2005). Esta hipótese também tem sido admitida para a origem das rochas graníticas de alto-K do Domínio Rio Maria (Leite *et al.* 1999, Leite 2001), onde admite-se que o

Leucogranito Xinguara seja produto da fusão de associações TTG e afins do *Sanukitóide* Rio Maria. Em todos os casos, o líquido residual conteria plagioclásio, hornblenda, biotita e quartzo, embora o modelo cuja hornblenda fosse a principal fase mineral retida no resíduo tenha sido melhor aceito, devido o padrão côncavo dos ETRP, que sugere fracionamento deste mineral. Tal hipótese pode ser sugerida para explicar a formação das rochas com alto La/Yb do Leucogranito Velha Canadá, as quais seriam formadas a partir de magmas afins daqueles dos granitos de alto-K, e que são caracterizadas por padrões mais empobrecidos em ETR, que têm discreta ou moderada anomalia de Eu, e mostra um padrão côncavo dos ETRP. Para este padrão, fontes tipo TTG cujo resíduo seja mais enriquecido em anfibólio em relação à biotita são admitidas (Leite 2001). Já para o grupo de baixa razão La/Yb do Leucogranito Velha Canadá, que é caracterizado por rochas mais enriquecidas em ETR, e que apresentam anomalias de Eu fortemente negativas, pode-se sugerir que estas rochas tenham sido formadas em baixas pressões, provavelmente dentro do campo de estabilidade do plagioclásio. Para estas rochas pode-se admitir uma fonte análoga à rochas TTG de Rio Maria, cuja concentração de biotita no resíduo seja maior em relação ao anfibólio, já que o padrão de ETR pesados não sugere o fracionamento deste último.

No diagrama de Shand (1950; Figura 10e) as rochas formadoras dos leucogranitos da área de Nova Canadá são levemente peraluminosas, com razões A/CNK variando entre 1,01 e 1,08 (Tabelas 3 e 4). A ausência de minerais aluminosos e de origem magmática, como muscovita, alumino-silicatos, granada e/ou cordierita indica que estas não se tratam de granitos afins daqueles do tipo-S ou fortemente peraluminosos (Chappell & White 1974, Miller 1985, Sylvester 1994). Neste sentido, Chappell *et al.* (2012) mostram que muitos granitos tipo-I são levemente peraluminosos, apesar de possuírem fontes tipicamente metaluminosas. Este fato estaria relacionado às condições de pressão e temperatura atuantes durante o processo de fusão da fonte, que ocorreria por desidratação, em pressões abaixo do campo de estabilidade da granada, onde biotita e anfibólio fundiriam incongruentemente gerando piroxênio e um líquido félsico peraluminoso. Em temperaturas mais elevadas, Ca e outros componentes do clinopiroxênio seriam adicionados ao líquido, que eventualmente se tornaria metaluminoso (Chappell *et al.* 2012).

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das observações de campo, dos dados petrográficos e geoquímicos gerados e discutidos neste trabalho, assim como aqueles disponíveis na literatura, foi possível estabelecer um novo quadro geológico para a área de Nova Canadá, com mudanças significativas ao que foi sugerido anteriormente (Figura 2). Dentro do que era considerado como domínio de ocorrência dos granitoides do Complexo Xingu, foram identificadas ocorrências expressivas de associações leucograníticas, com frequentes relíquias de uma crosta TTG retrabalhada. Tais associações mostram diferentes níveis de recristalização, como resposta à deformação neoarqueana relacionada à inversão da Bacia Carajás (Pinheiro & Holdsworth 1997).

Os leucogranitos identificados na área de Nova Canadá apresentam variações texturais e composicionais, que levaram a uma clara distinção dentre aqueles que ocorrem nas porções centro-sul e norte da área, onde encontram-se as localidades de Nova Canadá e Velha Canadá, respectivamente. Aqueles de Nova Canadá são mais expressivos e são formados por leucogranodioritos de textura seriada, com moderado grau de recristalização, e dominam até o limite com o *greenstone belt* Sapucaia, a sul (Figura 2), enquanto que aqueles de Velha Canadá são granodioritos e monzogranitos ricos em quartzo modal, de textura equigranular média, fortemente deformados, que ocorrem restritamente a norte de Nova Canadá e imediatamente ao sul das rochas do Diopsídio-Norito Pium. Evidências de contatos intrusivos entre estas unidades são ausentes, os quais são marcados pela atuação de extensas zonas de cisalhamento E-W de cinemática sinistral.

O comportamento geoquímico observado para estes dois grupos de leucogranitos são claramente divergentes. Enquanto as rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá são mais enriquecidas em Al_2O_3 , CaO, Na_2O , Ba, Sr e na razão Sr/Y, aquelas do Leucogranito Velha Canadá mostram conteúdos mais elevados de SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Rb, HFSE (Zr, Y e Nb), das razões K_2O/Na_2O , $FeOt/(FeOt+MgO)$, Ba/Sr e Rb/Sr. Os baixos conteúdos de minerais acessórios, como allanita e zircão, refletem diretamente no comportamento dos elementos traços das rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá (baixas razões La/Yb; Rollinson 1993). Apesar dos padrões de ETR destas rochas mostrarem um enriquecimento ETRL em relação aos ETRP, o que indica maior fracionamento destes últimos durante a formação e/ou diferenciação de seus magmas, os padrões de ETR apresentados por estas rochas também apontam para a existência de duas unidades leucograníticas bastante distintas. As amostras do Leucogranodiorito Nova Canadá configuram padrões de ETR levemente

fracionados, com baixas razões $(La/Yb)_N$ e anomalias Eu ausentes ou discretas, já aquelas do Leucogranito Velha Canadá são mais enriquecidas em ETR, e caracterizam-se por apresentar dois padrões distintos de ETR: (i) baixas à moderadas razões $(La/Yb)_N$ com anomalias negativas de Eu acentuadas; e (ii) moderadas à altas razões $(La/Yb)_N$, com anomalias discretas de Eu e um padrão côncavo dos ETRP.

Os padrões de ETR apresentados por estes grupos sugerem que para as rochas do Leucogranito Velha Canadá, as fases com alta afinidade por ETRP, como anfibólio e/ou granada, ocorreram no resíduo da fusão, e que o plagioclásio foi uma importante fase fracionante durante a evolução magmática das mesmas, dado a intensidade das anomalias negativas de Eu. Por outro lado, a participação deste último foi restrita dentre as fases fracionantes nas rochas com moderada à alta razão $(La/Yb)_N$, o que resultaria em anomalias de Eu nulas ou discretas (cf. Ragland 1989, Rollinson 1993). Os diferentes padrões de ETR encontrados nestas rochas podem sugerir que as mesmas foram originadas a partir de diferentes graus de fusão de uma mesma fonte, ou que seus líquidos foram gerados em diferentes níveis crustais. Por sua vez, o discreto fracionamento de ETRP e anomalia de Eu identificados nas rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá, indicam a ausência de anfibólio no resíduo da fusão e a mínima participação do plagioclásio como fase fracionante para a geração das mesmas. Vários autores atribuem a presença ou ausência desses minerais no resíduo à diferentes condições de pressão atuantes durante a fusão de protólitos crustais (Rapp *et al.* 1991, Rapp & Watson 1995, Almeida *et al.* 2010, Chappell *et al.* 2012).

Os padrões geoquímicos distinguidos para as rochas leucograníticas da área de Nova Canadá se assemelham, sob diversos aspectos, aos diferentes corpos de leucogranitos mesoarqueanos da Província Carajás e de outros crátons. Aqueles atribuídos ao Leucogranito Velha Canadá mostram fortes afinidades com os leucogranitos potássicos (granitos Xinguara e Mata Surrão) do Domínio Rio Maria, e com as variedades distinguidas nos granitos Cruzadão, Bom Jesus e Serra Dourada de Canaã dos Carajás, além daqueles do Cráton Dhawar e dos de baixo-Ca do Cráton Yilgarn. Já os padrões fornecidos pelas amostras do Leucogranodiorito Nova Canadá, são claramente afins daqueles dos leucogranodioritos-granitos de alto Ba e Sr da Suíte Garantã de Rio Maria, assim como dos TTGs transicionais de alto-Ca dos crátons Yilgarn e da Tanzânia. A assinatura geoquímica dessas rochas também às aproximam dos subgrupos CA1 (Nova Canadá) e CA2 (Velha Canadá) de granitos cálcio-alcalinos de Sylvester (1994).

As similaridades petrográficas e geoquímicas entre os leucogranitos da área de Nova Canadá e do Domínio Rio Maria, sugerem que a área de Nova Canadá represente uma

extensão do Domínio Rio Maria. As idades Pb-Pb em zircão obtidas para estas unidades, de fato sugerem que o Leucogranodiorito de Nova Canadá tenha se formado durante o Mesoarqueano (2895 ± 2 – 2857 ± 2 ; Oliveira *et al.* 2010), porém, aquelas obtidas para o Leucogranito Velha Canadá são mais jovens, e sugerem que este tenha sido gerado já no Neoarqueano (2747 ± 2 Ma; Santos *et al.* 2010), durante a formação da Bacia Carajás, e provavelmente associado ao mesmo evento térmico responsável pela geração dos granitos neoarqueano tipo Planalto (Feio *et al.* 2012), o que descartaria a hipótese de associar a geração das rochas de Velha Canadá aos mesmos eventos tectono-magmáticos que atuaram em Rio Maria. A mudança no limite tectônico entre os domínios Carajás e Rio Maria, com extensão deste último para norte, até a localidade de Nova Canadá, só poderá ser confirmada a partir da obtenção de dados geocronológicos e isotópicos mais consistentes.

AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG-IG-UFGA) pelo apoio nas diversas etapas deste trabalho; ao Instituto de Geociências e ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (IG e PPGG - UFGA) pelo suporte técnico; à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor; ao CNPq por concessão de bolsas de produtividade em pesquisa (D. C. Oliveira - Processos no 502074/2009-4 e 311610/2012-9); à Faculdade de Geologia do Campus de Marabá pelo apoio às atividades de campo. Este trabalho é uma contribuição para o convênio Vale/FAPESPA edital 01/2010, ICAAF: 053/2011 e ao INCT de Geociências da Amazônia (GEOCIAM–CNPq/MCT/FAPESPA – Processo no 573733/2008-2).

REFERÊNCIAS

- 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. *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.
- Almeida, J. A. C., Dall'Agnol, R., Leite, A. A. S. 2013. 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.
- Araújo, O. J. B., Maia, R. G. N., Jorge João, X. S., Costa, J. B. S. 1988. A megaestrutura arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: SBG, Congresso Latino-Americano de Geologia, 7, Anais, Belém, p.324-338.

- Avelar, V. G.; Lafon, J. M.; Correia 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*, v. 29, n. 4, p. 453-460.
- 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: F. BARKER (Ed.) *Trondhjemites, dacites and related rocks*. Amsterdam, Elsevier. P.1-12.
- Barros, C. E. M. & Dall'Agnol, R. 1994. Deformação de rochas granitoides em regime dúctil: o exemplo do Gnaiss Estrela, região de Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*. 23:315-332.
- Bourne, J. H., L'Heureux, M., 1991. The petrography and geochemistry of the Clericy pluton: an ultrapotassic pyroxenitesyenite suite of Late Archaean age from the Abitibi region, Quebec. *Precambrian Research* 52, 37–51.
- 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.
- Cassidy, K. F., Barley, M. E., Groves, D. I., Perring, C. S., Hallberg, J. A., 1991. An overview of the nature, distribution and inferred tectonic setting of granitoids of the late- Archaean Norseman–Wiluna Belt. *Precambrian Research* 51, 51–83.
- Champion, D. C., Sheraton, J. W., 1997. Geochemistry and Nd isotope systematics of Archaean granites of the Eastern Goldfields, Yilgarn Craton, Australia: implications for crustal growth processes. *Precambrian Research* 83, 109–132.
- Champion, D. C., Smithies, R. H., 1999. Archean granites of the Yilgarn and Pilbara Cratons, Western Australia: secular changes. In Barbarin, B. (Ed), *The Origin of Granites and Related Rocks*. Fourth Hutton Symposium, France. Abstracts, p.137.
- Champion, D. C., Smithies, R. H., 2001. Archaean granites of the Yilgarn and Pilbara cratons, Western Australia. In: Cassidy, K.F., Dunphy, J.M., Van Kranendonk, M.J. (Eds.), *Proceedings of the Fourth International Archaean Symposium*. AGSO Geoscience Australia, Perth, Australia, pp. 134–136. Record 2001/37.
- 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*. AGSO Geoscience Australia, pp. 19–24. 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.
- Chappell, B. W & White, A. J. R. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8:173-174.
- Chappell, B. W., Bryant, C. J. & Wyborn, D. 2012. Peraluminous I-type granites. *Lithos*, 153 142-153.
- Cox, K. G., Bell, J. D. & Pankhurst, R. J. 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen & Unwin.
- 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. A. C. de; Althoff, F. J.; Leite, A. A. da S. L.; Oliveira, D. C.; Barros, C. E. M., 2006. Archaean 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-UFPA/SBG-NO, p 97-150.
- Dall'Agnol, R., Oliveira, D. C., 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos* 93, 215–233.
- Davis, W.J., Fryer, B.J., King, J.E., 1994. Geochemistry and evolution of Late Archaean plutonism and its significance to the tectonic development of the Slave Craton. *Precambrian Research* 67, 207–241.
- Day, W. C., Weiblen, P. W., 1986. Origin of Late Archaean granite: geochemical evidence from the Vermilion granitic complex of Northern Minnesota. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 93, 283–296.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., Marchal, M., 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using RjRj-diagram and major-element analyses — its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology* 29, 183–210.
- Debon, F., Le Fort, P., 1983. A chemical–mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences* 73, 135–149.
- DOCEGEO 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Província Mineral de Carajás-Litoestratigrafia e principais depósitos minerais, Anexo aos anais, CVRD, Belém, p.11-59.
- Drummond, M. S., Defant, M. J., 1990. A model for trondhjemite–tonalite–dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archaean to modern comparisons. *Journal of Geophysical Research* 95, 21503–21521.
- Druppel, K., McCready, A. J., Stumpf, E. F., 2009. High-K granites of the Rum Jungle Complex, N-Australia: Insights into the Late Archean crustal evolution of North Australian Craton. *Lithos* 111, 203–219.
- Eby, G.N., 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenesis and tectonic implications. *Geology* 20, 641–644.
- Evensen, N. M., Hamilton, P. T., O’Nions, R. K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochemical et Cosmochemical Acta*, 39:55–64.
- Faresin, A. C., Oliveira, D. C., Macambira, M. J. B. 2010. Geologia, e geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu e da Sequência Greenstone Belt da região de Nova Canadá, Província Mineral de Carajás, In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, Anais, Belém, CDrom.
- 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/precambres.2012.04.007.
- Frost, C. D., Frost, B. R., Chamberlain, K. R., Hulsebosch, T. P., 1998. The Late Archean history of the Wyoming province as recorded by granitic magmatism in the Wind River Range, Wyoming. *Precambrian Research* 89, 145–173.
- 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. Geologia, petrografia e geocronologia de granitoides do Complexo Xingu da região nordeste de Água Azul do Norte-PA, Província Mineral de Carajás. In: CBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, CDrom.
- Gabriel E.O. & Oliveira D.C. submetido. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos de alto magnésio da região de Água Azul do Norte, porção sul do Domínio

- Carajás. In: E.O. Gabriel. Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética dos granitoides arqueanos da porção nordeste de Água Azul do Norte (PA) – Província Carajás. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 108p.
- Gardien, V., Thompson, A. B., Grujic, D., Ulmer, P., 1995. Experimental melting of biotite+plagioclase+quartz±muscovite assemblages and implications for crustal melting. *Journal of Geophysical Research — Solid Earth* 100, 15581–15591.
- Gardien, V., Thompson, A. B., Ulmer, P., 2000. Melting of biotite+plagioclase+quartz gneisses: the role of H₂O in the stability of amphibole. *Journal of Petrology* 41, 651–666.
- Gomes, A. C. B., 2003. Geologia, Petrografia e Geoquímica dos Granitoides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 160p. (Tese de Mestrado).
- 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).
- Heilimo, E., Halla, J., Hölttä, P., 2010. Discrimination and origin of the sanukitoid series: geochemical constraints from the Neoproterozoic western Karelian Province (Finland). *Lithos* 115, 27–39.
- Huhn, S. B.; Macambira, M. J. B; Dall’Agnol, R. 1999. Geologia e Geocronologia Pb/Pb do granito Alcalino Arqueano Planalto, Região da Serra do Rabo, Carajás – PA. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 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.
- Jahn, B. M., Auvray, B., Shen, H. Q., Liu, D. Y., Zhang, Z. Q., Dong, Y. J., Ye, X. J., Zhang, Q. Z., Cornichet, J., Macé, J., 1988. Archaean crustal evolution in China: the Taishan complex, and evidence for juvenile crustal addition from long-term depleted mantle, *Precambrian Research* 38, 381-403.
- 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.
- Lafleche, M. R., Dupuy, C., Dostal, J., 1991. Archaean orogenic ultrapotassic magmatism: an example from the southern Abitibi greenstone belt. *Precambrian Research* 52, 71–96.
- Lameyre J. & Bowden P. 1982. Plutonic rock type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 14: 169-186.
- Leite, A. A. S., Dall’Agnol, R., Althoff, F. J., 1999. Geoquímica e Aspectos Petrogenéticos do GRANITO Xinguara, Terreno Granito-Greenstone Arqueano de Rio Maria - Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29 (3) p: 429-436.
- Leite, A. A. S., 2001. Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitoides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico. Federal University of Para. 330p. PhD Thesis. Graduated Program on Geology and Geochemistry, Institute of Geosciences (in Portuguese).
- Leite, A. A. S., Dall’Agnol, R., Macambira, M. J. B., Althoff, F. J. 2004. 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.
- Machado, N., Lindenmayer, Z. G., Krogh, T. E., Lindenmayer, D., 1991. U–Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research* 49, 329–354.

- Martin, H. 1994. The Archean grey gneisses and the gneisses of continental crust. In: CONDIE, K. C. (ed.) *Developments in precambrian geology 11. Archean crustal evolution*, Amsterdam, Elsevier. p. 205-259.
- Miller, C.F., 1985, Are strongly peraluminous magmas derived from mature sedimentary (pelitic) sources?: *Journal of Geology*, v. 93, p. 673–689
- 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.
- Moyen, J. F., Martin, H., Jayananda, M., Auvray, B., 2003. Late Archean granites: a typology based on the Dharwar Craton (India). *Precambrian Research* 127, 103–123.
- Moyen, J. F., 2009. High Sr/Y and La/Yb ratios: the meaning of the “adakitic signature”. *Lithos* 112: 556–574.
- 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., 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, CDrom (in Portuguese).
- Oliveira, M. A. 2003. Caracterização petrográfica, estudo de suscetibilidade magnética e natureza dos minerais óxidos de Fe e Ti do Granito Planalto, Serra dos Carajás-PA. Trabalho de Conclusão de Curso. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 47p.
- Oliveira, M.A., Dall'Agnol, R., Althoff, F. J., Leite, A. A. S., 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite–Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 27, 146–160.
- Opiyo-Akech, N., Tarney, J., Hoshino, M., 1999. Petrology and geochemistry of granites from the Archean terrain north of Lake Victoria, western Kenya. *Journal of African Earth Sciences* 29 (2), 263–300.
- Patiño Douce, A. E., 2005. Vapor-absent melting of tonalite at 15–32 kbar. *Journal of Petrology* 46, 275–290.
- Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, v.25, p.956-983.
- Peccerillo, A., Taylor, S. R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58, 63–81.
- Phillips E. R. 1980. On polygenetic myrmekite. *Geological Magazine*, 117 (1): 29-36.
- Pinheiro, R.V.L., Holdsworth, R.E., 1997. Reactivation of Archean strike-slip fault systems, Amazon region, Brazil. *Journal of the Geological Society* 154, 99–103.
- Prabhakar, B. C., Jayananda, M., Shareef, M., Kano, T., 2009. Petrology and geochemistry of Late Archean granitoids in the northern part of Eastern Dharwar, southern India: implications for transitional geodynamic setting. *Journal of the Geological Society of India* 74, 299–317.
- Ragland, P. C. 1989. *Basic analytical Petrology*. 2. New York, Oxford University Press.
- Rapp, R. P., Watson, E. B. & Miller, C. F. 1991. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalites. *Precambrian Research*, 51, 1-25.

- Rapp, R. P & Watson E. B., 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8–32 kbar: implications for continental growth and crust–mantle recycling. *Journal of Petrology* 36: 891- 931.
- Ringwood, A. E., 1975. *Composition and Petrology of the Earth's Mantle*. MacGraw-Hill Editor. 618 pp.
- 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.
- Rollinson, H. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, Zimbabwe, p.1-344.
- Rutter, M. J., Wyllie, P. J., 1988. Melting of vapour-absent tonalite at 10 kbar to simulate dehydration-melting in the deep crust. *Nature* 331, 159–160.
- Santos, J. O. S., Hartmann, L. A., Gaudette, H. E., Groves, D. I., Mcnaughton, N. J., Fletcher, I. R. 2000. A new understanding of the provinces of the amazon craton based on integration of field mapping and u-pb and sm-nd geochronology. *Gondwana Research*, 3:453-488.
- Santos, P. A., Feio, G. R. L., Dall’Agnol, R., Costi, H. T., Lamarão, C. N., Galarza, M. A. 2013. Petrography, magnetic susceptibility and geochemistry of the Rio Branco Granite, Carajas Province, southeast of Pará, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 43 (1): 2-15.
- Santos, P. J. L., Oliveira, D. C., Galarza, M. A., Macambira, M. J. B., 2010. Geologia, petrografia e geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu da região de Nova Canadá, Município de Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. In: CBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, 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.
- Santos, P. J. L. & Oliveira D.C. em preparação. Geologia, petrografia e geoquímica das associações leucograníticas arqueanas da área de Nova Canadá – Província Carajás. In: P. J. L. Santos. Geologia, petrografia e geoquímica das associações leucograníticas e TTG arqueanos da área de Nova Canadá, Subdomínio de Transição, Província Carajás - SE do Pará. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 108p.
- Shand, S. J., 1950. *Eruptive Rocks Their Genesis, Composition, Classification e Their Relation to Ore Deposit*, 4 ed. London, 488 pp.
- Silva, A. C. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos da área de Vila Jussara, Província Carajás. Dissertação (Mestrado). Belém: Instituto de Geociências -Universidade Federal do Pará.
- Silva, G. C., Lima, M. I. C., Andrade, A. R. F., Issler, R. S., Guimarães, G. 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC-22 Tocantins. Belém, DNPM, v.4, p.1-143.
- Silva, M. L. T., Oliveira, D. C., Macambira, M. J. B., 2010. Geologia, petrografia e geocronologia do magmatismo de alto K da região de Vila Jussara, Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. . In: CBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, CDrom.
- Singh, J., Johannes, W., 1996. Dehydration melting of tonalites. 2. Compositions of melts and solids. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 125, 26–44.
- Skjerlie, K. P., Johnston, A. D., 1992. Vapor-absent melting at 10 kbar of a biotite-bearing and amphibole bearing tonalitic gneiss—implications for the generation of A-type granites. *Geology* 20, 263–266.
- Smith, J. V. 1974. *Feldspar Minerals*. New York, Springer-Verlag. 690 p.

- Souza, M. C., Oliveira, D. C., Macambira, M. J. B., Galarza, M. A. T., 2010. Geologia, petrografia e geocronologia do granito de alto K da região de Velha Canadá, município de Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. In Anais do 45o Congresso Brasileiro de Geologia: CDrom. SBG, Belém.
- Souza, Z. S. & Dall'Agnol, R. 1995c. Geochemistry of metavolcanic rocks in the Archean greenstone belt of Identidade, SE Pará, Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 76:217-233.
- 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 Archean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the Archean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, 109:293–315.
- Streckeisen, A. L. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review*, 12:1-33.
- Sutcliffe, R. H., Smith, A. R., Doherty, W., Bennett, R. L., 1990. Mantle derivation of Archean amphibole-bearing granitoides and associated mafic rocks: evidence from the southern Superior Province, Canada. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 105, 255-274.
- Sylvester, P. J., 1989. Post-collisional alkaline granites. *Journal of Petrology*, 97:261-280.
- Sylvester, P. J., 1994. Archean granite plutons. In: Condie, K.C. (Ed.), *Archean crustal evolution. Developments in Precambrian Geology*, 11. Elsevier, Amsterdam, pp. 261–314.
- Tassinari, C. G. & Macambira, M. J. B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22(3):174-182.
- Tassinari, C. C. G., Macambira, M. J. B., 2004. A evolução tectônica do Craton Amazonico. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Eds.), *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques Almeida*, São Paulo, pp. 471–486.
- Vasquez, L. V.; Rosa-Costa, L. R.; Silva, C. G.; Ricci, P. F.; Barbosa, J. O.; Klein, E. L.; Lopes, E. S.; Macambira, E. B.; Chaves, C. L.; Carvalho, J. M.; Oliveira, J. G.; Anjos, G. C.; Silva, H. R. 2008b. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Organizadores, Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM.
- Whalen, J. W., Currie, K. L., Chappel, B. W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogical Petrology*, v.95, p.407-419,
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis*. Academic Press, London. 466 pp.

CAPÍTULO III

3 TRONDHJEMITOS DA ÁREA DE NOVA CANADÁ: NOVAS OCORRÊNCIAS DE ASSOCIAÇÕES MAGMÁTICAS TIPO TTG NO DOMÍNIO CARAJÁS

Pablo José Leite dos Santos ^{1,2} (pablosleite@hotmail.com), Davis Carvalho de Oliveira ^{1,2} (davis@ufpa.br)

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

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

RESUMO

O mapeamento geológico realizado na região de Nova Canadá, porção sul do Domínio Carajás, aliado aos estudos petrográficos e geoquímicos permitiram a individualização de associações TTG a partir do que ainda era considerado como Complexo Xingu. Foram distinguidas duas variedades petrográficas, com base em seus diferentes aspectos deformacionais, texturais e composicionais. Em geral trata-se de biotita trondhjemitos, com raras ocorrências de muscovita em sua associação mineralógica. A variedade que domina na porção norte de Nova Canadá é fortemente deformada, com o desenvolvimentos de feições que indicam atuação de pelo menos dois eventos deformacionais em estágios sin- a pós-magmáticos, como bandamentos composicionais, dobras, bandas de cisalhamento e indícios de migmatização. São rochas com maior conteúdo de quartzo, e mais enriquecidas em Na₂O. Já os trondhjemitos do extremo sul da área, distingue-se da variedade anterior pela presença da muscovita, saussuritização do plagioclásio, textura equigranular média e atuação discreta da deformação com o desenvolvimento de uma foliação E-W de baixo angulo. Os trondhjemitos da parte sul da área são mais enriquecidos em Fe₂O₃, MgO, TiO₂, CaO, Zr, Rb, e na razão Rb/Sr em relação aos trondhjemitos da porção norte. Seus conteúdos de elementos ferromagnesianos (Fe₂O₃+MgO+TiO₂) também são mais elevados em relação à variedade da porção norte da área, o que pode refletir seu conteúdo médio de biotita (>3,0%) mais elevado. Estas associações mostram afinidade com os TTG arqueanos da série cálcio-alcálica de alto Al₂O₃, Na₂O e baixo K₂O. A ocorrência restrita das primeiras, aliada à intensa deformação sofrida pelas mesmas, pode indicar que estas rochas tenham sido afetadas por um retrabalhamento crustal, ligado à geração dos leucogranitos descritos na área. A disposição dos *trends* evolutivos deste conjunto de rochas sugere que estas unidades não sejam cogenéticas ou comagmáticas. Estas exibem ainda padrões fracionados de ETR, com

variações nos conteúdos de ETRP, além da ausência de anomalias negativas de Eu e Sr, e baixos conteúdos de Y e Yb. Tais feições são tipicamente atribuídas a magmas gerados por fusão parcial de uma fonte máfica em diferentes profundidades, com aumento da influência da granada no resíduo e a falta de plagioclásio tanto na fase residual como na fracionante.

Os dois grupos de trondhjemitos distinguidos neste trabalho mostram ainda claras afinidades geoquímicas tanto com as associações trodhjemíticas do Domínio Rio Maria quanto com aquelas da região de Canaã dos Carajás. Apesar das rochas das porções norte e sul da área serem afins dos trondhjemitos Mogno (altas razões La/Yb e Sr/Y) e Água Fria (moderadas razões La/Yb e Sr/Y) de Rio Maria respectivamente, nota-se uma clara afinidade das rochas de Canaã dos Carajás com as rochas trodhjemíticas da porção norte da área de Nova Canadá. Apesar das afinidades geoquímicas apresentadas, a mudança no limite tectônico entre os domínios Carajás e Rio Maria, com extensão deste último para norte, até a localidade de Nova Canadá, só poderá ser confirmada a partir da obtenção de dados geocronológicos e isotópicos consistentes.

Palavras-chave: TTG, Geoquímica, Arqueano, Carajás, Cráton Amazônico, Nova Canadá.

ABSTRACT

TRONDHJEMITES FROM NOVA CANADA AREA: NEW OCCURRENCE OF TTG MAGMATICS ASSOCIATIONS IN THE CARAJAS DOMAIN. The geological mapping carried out in the southern portion of Carajas Domain, ally to the petrographic and geochemical data allowed the individualization of two TTG-type associations, which have previously been correlated to rocks of the Xingu Complex. Two varieties of trondhjemites were distinguished: (a) biotite-trondhjemite with deformational features like compositional banding, folds and evidence of migmatization, suggesting the presence at least two compressional events during the sin- and post magmamtic stages; and (b) (muscovite) biotite-trondhjemite that differs from the previous one by the presence of muscovite, plagioclase saussuritization, medium even-grained texture and discrete deformation features with development of a low-angle foliation with E-W direction. The restrict occurrence of the first one, ally with intense deformation and eventual anatexie processes that affected these rocks, can indicate a crustal rework linked to generation of the leucogranites described in the Nova Canadá area. The trondhjemites of the southern part of area are more enriched in Fe_2O_3 , MgO, TiO_2 , CaO, Zr, Rb, an in the Rb/Sr ratio compared to those of the northern part, which show higher modal contents of quartz and are more enriched in Na. The arrangement of trends defined by the set of analyzed samples, suggests that theses varieties are not cogenitc or comagmatic. These rocks also show fractionated REE patterns, with variations in the heavy REE contents and strong light REE enrichment, besides the absence of the negative Eu and Sr anomalies, and low contents of Yb and Y. Such aspects are typically attributed to magmas generated from partial melting of a mafic source at different depths, with increasing of the garnet influence in the residue, as well as the lack of plagioclase in both residual and fractionating phases. In general, both trondhjemites show affinities with high-Al and low-K calc-alkaline TTG series. The two groups of trondhjemites distinghished in this work, also show geochemical affinities with both those of the mesoarchean Rio Maria domain and the Canaã dos Carajás area. Despite the rocks of the northern and southern portions are akin of the Mogno (higher ratios La/Yb and Sr/Y) and Água Fria (moderate ratios La/Yb and Sr/Y) Trondhjemites of the Rio Maria respectively, there is a clear affinity of the Canaã dos Carajás rocks with those trondhjemitics of the northern portion of the Nova Canadá. Although has been observed a strong geochemical affinity between the Nova Canada rocks and those of the Rio Maria and Canaã dos Carajás, the change in the tectonic boundary between the Carajás

and Rio Maria domains, with the extension of the latter to the north, until the locality of Nova Canadá, can only be confirmed from the acquisition of geochronological and isotopic data.

Keywords: TTG, Granitoids, Geochemistry, Archean, Carajás, Nova Canadá.

INTRODUÇÃO

Estima-se que no mínimo 60% da crosta continental foi formada ainda no Arqueano por retrabalhamento de uma crosta oceânica primitiva, originando sequências Tonalito-Trondhjemitó-Granodiorito (TTG), as quais constituem em torno de 80% dos terrenos arqueanos ainda preservados (Taylor & McLennan 1995, Rollinson 2010). Tais rochas, segundo alguns autores (Barker 1979, Polat 2012) apresentam as seguintes características: caráter félsico a intermediário (geralmente $>65\%$ SiO_2); altas razões $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ($>1,5$), La_N/Yb_N e Sr/Y ; , baixos a moderados conteúdo de LILE, Yb_N e Y; anomalias negativas de Ti-Nb-Ta; e ausência de enriquecimento em K nos membros mais félsicos. Estas podem ainda ser divididas de acordo com seu conteúdo de alumínio, em subgrupos de alta e baixa alumina (Barker & Arth 1976).

As rochas com alto alumínio são caracterizadas por granitoides com pelo menos 15% de Al_2O_3 em rochas com conteúdo de $\sim 70\%$ de SiO_2 . São caracterizadas ainda por pelo elevado conteúdo de Sr e Eu, forte fracionamento dos elementos terras raras (baixo conteúdo de elementos terras raras pesados - ETRP), e altas razão Sr/Y. Essas características sugerem a presença de granada e anfibólio e ausência de plagioclásio como fases residuais ou fracionadas durante a petrogênese dessas rochas. Os TTGs de alto alumínio são dominantes nos crátons arqueanos (Martin 1994) e são originados em condições de alta pressão (Champion & Smithies 2003). Seguindo os mesmos critérios observados no subgrupo de alto alumínio, os TTGs com baixo alumínio são caracterizados por baixos conteúdos de Sr e Eu, menor fracionamento de elementos ETRP, e baixa razão Sr/Y. Essas feições sugerem não haver participação efetiva de granada no processo de formação desses magmas, sendo estes controlados pela presença de plagioclásio como fase fracionada ou residual (Champion & Smithies 2003).

A origem das sequências TTG pode ser descrita em diversos modelos genéricos listados por Martin (1993): (i) cristalização fracionada de um magma basáltico; (ii) fusão parcial direta do manto; (iii) fusão parcial de grauvacas maduras; (iv) fusão parcial de eclogito ou granulito básico; (v) fusão parcial de anfibolito com granada. Há modelos ainda mais específicos, titulados por esse mesmo autor, mas que não serão abordados neste tópico.

A área de Nova Canadá, porção NE do município de Água Azul do Norte, está inserida no contexto geológico da porção sul do Domínio Carajás, ou Subdomínio de Transição (Feio 2011) entre este domínio e o Domínio Rio Maria, onde os trabalhos de mapeamento geológico mostraram que o Complexo Xingu de Silva *et al.* (1974) é formado

por granitoides de naturezas distintas, marcados por variados graus de deformação/recristalização, gerados no Meso- e Neoarqueano (~2,88-2,75 Ga – Oliveira *et al.* 2010, Santos *et al.* 2010). A partir deste complexo, foram individualizados na área leucogranitos arqueanos com alto Ba/Sr e de alto-K, intrusivos em uma crosta trondhjêmica, além de pequenos corpos de anfibólio-biotita granito foliado (Santos & Oliveira em preparação).

Os trondhjemitos arqueanos de Nova Canadá necessitam de estudos de detalhe que permitam sua melhor caracterização, e conseqüente individualização. Além disso, é importante verificar se estas rochas têm relação com os típicos TTGs arqueanos, ou se fazem parte de associações arqueanas distintas. Neste trabalho serão abordados os estudos sobre a geologia, petrografia e geoquímica destes trondhjemitos, aliados a estudos geoquímicos comparativos com unidades afins e já estudadas em outras regiões da Província Carajás, com o intuito de definir a natureza e origem dessas rochas e suas relações com outras adjacentes, contribuindo dessa forma para o melhor entendimento sobre sua posição no contexto evolutivo da referida província.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Cráton Amazônico é subdividido em várias províncias geocronológicas (Tassinari & Macambira 2004, Santos *et al.* 2000 – Figura 1a). Entre estas províncias, destaca-se a Província Carajás como a mais antiga, e detentora de grande potencial metalogenético. A região de Carajás é considerada como uma província geocronológica independente por Santos *et al.* (2000), enquanto Tassinari & Macambira (1999) a incluem no contexto da Província Amazônia Central. A província Carajás (Figura 1b) pode ser dividida em dois domínios tectônicos principais, um mais antigo denominado Domínio Rio Maria (3.0 – 2.86 Ga) e outro teoricamente mais novo, denominado Domínio Carajás (2.76 – 2.55 Ga). O Domínio Carajás (Vasquez *et al.* 2008b), área de interesse desta pesquisa, está localizado na porção norte da Província Carajás, e seus limites tectônicos setentrional e meridional são traçados com os domínios Bacajá e Rio Maria, respectivamente. O limite entre estes terrenos é discutido com base em dados geofísicos, o qual coincidiria com uma descontinuidade regional ~EW ao norte de Sapucaia e sul de Canaã dos Carajás. Diversos estudos sugerem subdivisão de Carajás em outros dois blocos conhecidos como Bacia Carajás e Subdomínio de Transição (Dall’Agnol *et al.* 1997, 2006, Vasquez *et al.* 2008b, Feio *et al.* 2012).

O magmatismo de Rio Maria é composto pelas associações *greenstone belt* do Supergrupo Andorinhas (Souza & Dall’Agnol 1995c, Souza *et al.* 2001), e uma diversidade

de grupos granitoides (Dall’Agnol *et al.* 2006), similares aqueles discutidos nos clássicos terrenos arqueanos. Estes granitoides podem ser divididos em quatro grupos principais (Dall’Agnol *et al.* 2006, Oliveira *et al.* 2009, Almeida *et al.* 2010): (1) Série TTG Antiga (2.98– 2.93 Ga); (2) Suíte *Sanukitóide* Rio Maria e rochas associadas (2.87 Ga); (3) Série TTG Jovem (2.86 Ga); (4) Leucogranitos Potássicos de afinidade cálcio-alcálica (2.86 Ga). A posterior reavaliação dos leucogranitos (Almeida *et al.* 2010) permitiu o reconhecimento de leucogranodioritos-leucomonzogranitos com características geoquímicas ora similares aos granitoides TTG, outrora semelhantes às rochas sanukitóides. Este grupo de rochas foram incluídas dentro da Suíte Guarantã. Posteriormente, o terreno teria sido intrudido por granitos Tipo-A (1.88 Ga) e diques associados (Dall’Agnol *et al.* 2005; Dall’Agnol & Oliveira 2007).

O Domínio Carajás é caracterizado pelas associações metavulcanossedimentares neoarqueanas da Bacia Carajás, embasamento Mesoarqueano caracterizado pelo Ortogranulito Chicrim-Cateté (Vasquez *et al.* 2008b), Diopsídio-Norito Pium (Hirata *et al.* 1982, Pidgeon *et al.* 2000, Santos *et al.* 2010), rochas mais antigas do Tonalito Bacaba (Moreto *et al.* 2011), granitoides e gnaisses indiferenciados do Complexo Xingu (Machado *et al.* 1991). Já no Neoarqueano, este domínio é caracterizado por intrusões das suítes Intrusiva Cateté (Macambira & Vale 1997), Suíte Pedra Branca (Sardinha *et al.* 2004, Gomes & Dall’Agnol 2007) e dos plútons das Suítes Plaqué e Planalto (Avelar *et al.* 1999, Huhn *et al.* 1999, Oliveira 2003, Gomes 2003, Sardinha *et al.* 2004, Vasquez *et al.* 2008b, Oliveira *et al.* 2010, Feio *et al.* 2012). Posteriormente, este domínio foi afetado por intrusões paleoproterozóicas (1.88 Ga) de granitos tipo-A e corpos máfico-ultramáficos associados.

A exceção da área de Canaã dos Carajás (Feio *et al.* 2012) e das minas de Cu do Sossego (Moreto *et al.* 2011), o quadro geológico da porção sul do Domínio Carajás ainda é pouco conhecido, e observa-se que ao contrário de Domínio Rio Maria, rochas tonalíticas-trondhjemíticas, ou mesmo àquelas relacionadas à série TTG são escassas em Carajás, enquanto que intrusões graníticas são mais expressivas. Os dados a serem discutidos neste trabalho relatam algumas discretas ocorrências de rochas trondhjemíticas arqueanas, que ocorrem como janelas do embasamento, nos domínios dos leucogranitos. A síntese a seguir detalha o quadro geológico dos granitoides das regiões de Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte.

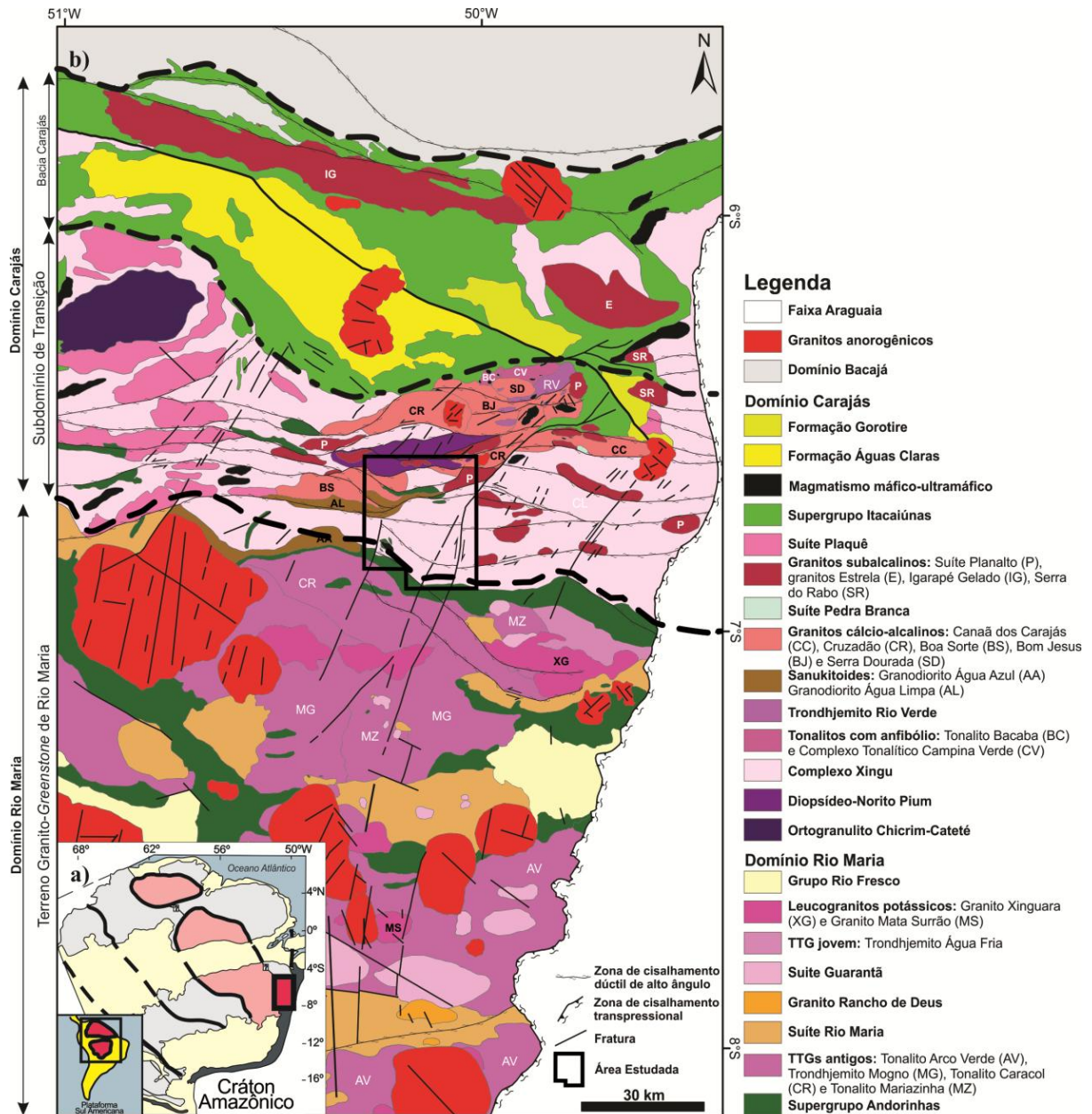


Figura 1. a) Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico. Modificado de Tassinari & Macambira (1999); b) Mapa geológico da Província Carajás, modificado de Vasquez *et al.* (2008b), Almeida *et al.* (2010) e Feio *et al.* (2012); Gabriel & Oliveira submetido.

ROCHAS TONALÍTICAS-TRONDHJEMÍTICAS DO DOMÍNIO CARAJÁS

A geologia do Domínio Carajás é marcada principalmente por volumosas intrusões graníticas, enquanto que as rochas da série TTG, ou associações tonalíticas-trondhjemíticas atípicas (por exemplo os granitoides sódicos com alto Zr, Y e Ti; Gomes & Dall'Agnol, 2007) são menos frequentes. Os trabalhos recém-realizados na região de Canaã dos Carajás descrevem unidades tonalíticas-trondhjemíticas afins dos clássicos TTGs arqueanos, e também aquelas sem nenhuma relação com esta série, onde podem ser citadas as rochas do Tonalito Bacaba (Moreto *et al.* 2011, Feio *et al.* 2012), composto predominantemente por

tonalitos que contém hornblenda e biotita em sua mineralogia, e que foram datados em 3005 ± 8 Ma (Moreto *et al.* 2011); do Trondhjemito Rio Verde (Feio *et al.* 2012) caracterizado por rochas cálcio-alcálicas de médio a baixo-K com bandamento composicional e geoquímica similar aos típicos TTGs arqueanos, e que foram datados em 2929 ± 3 Ma e 2868 ± 4 Ma (Feio *et al.* 2012); Complexo Tonalítico Campina Verde (Feio *et al.* 2012) caracterizado por duas associações litológicas distintas, formado por biotita \pm hornblenda tonalitos a granodioritos com dioritos e monzogranitos subordinados, ambas deformadas na direção E-W, e que estão em contato com as rochas vulcânicas do Supergrupo Itacaiúnas e do Tonalito Bacaba. Geoquimicamente, estas rochas são distintas dos típicos TTGs arqueanos, e definem uma série cálcio-alcálica expandida (Feio *et al.* 2012), que foram datadas em 2872 ± 1 Ma e 2850 ± 7 Ma (Feio *et al.* 2012); e finalmente, as rochas da Suíte Pedra Branca (Feio *et al.* 2012), que são caracterizadas por tonalitos e trondhjemitos fortemente deformados, mostrando bandamento magmático, que estão intimamente associados às rochas da Suíte Planalto. Trata-se de granitoides sódicos cálcio-alcálicos de assinatura toleítica e de baixo K_2O , que foram datados em 2765 ± 39 Ma (Sardinha *et al.* 2004), e 2750 ± 5 Ma (Feio *et al.* 2012). Esta unidade se diferencia das típicas associações TTG em função dos com altos conteúdos de Zr e Y (Gomes & Dall'Agnol 2007).

Na porção sul do Domínio Carajás, rochas tonalítica-trondhjemíticas intrudidas por corpos leucograníticos, tem sido descritas próximo à cidade de Água Azul do Norte (Gabriel & Oliveira submetido), e na área de Vila Nova Canadá (Oliveira *et al.* 2010, Santos *et al.* 2010) nos domínios de leucogranitos. Na área de Vila Jussara, a sul da cidade de Canaã dos Carajás, diversos autores descrevem volumosas ocorrências de tonalitos-trondhjemitos fortemente recristalizados, contendo biotita e hornblenda como as principais fases máficas (Oliveira *et al.* 2010, Santos *et al.* 2010, Silva *et al.* 2010, Silva 2013). Estudos geocronológicos preliminares sugerem idade média 2875 ± 1.3 Ma para estes litotipos (Santos *et al.* 2010, Silva 2013).

CARACTERIZAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES TRONDHJEMÍTICAS DE NOVA CANADÁ

Geologia

O mapeamento geológico em escala detalhe (1:50.000) juntamente com estudos petrográficos e geoquímicos realizado na área de Nova Canadá permitiram reconhecer cinco litotipos, com aspectos geológicos texturais distintos, são eles: (a) associações leucograníticas arqueanas geradas em dois momentos distintos (Santos & Oliveira em preparação); (b) biotita

trondhjemitos com variados graus de deformação e significativas variações texturais; (c) hornblenda-biotita granitos foliados restritos; (d) rochas supracrustais (metabasaltos); e (e) diques máficos. Neste trabalho serão abordadas apenas os trondhjemitos.

As informações de campo sugerem a existência de duas variedades de rochas trondhjemíticas, ambas deformadas segundo o *trend* E-W, com inflexões para NW-SE e NE-SW, cujas relações de contato não estão bem estabelecidas. A primeira variedade é caracterizada por um biotita trondhjemito que ocorre como uma janela do embasamento predominantemente em meio às rochas do Leucogranito Velha Canadá (Santos & Oliveira em preparação), ao norte da área, onde possui ocorrência mais expressiva (Figura 2), e mais restritamente ao sul, em meio às rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá (Santos & Oliveira em preparação). Em geral, este tipo ocorre como corpos lenticulares de pequenas dimensões (até ~4km), mostrando uma forte recristalização e o desenvolvimento de uma foliação de baixo ângulo segundo o *trend* E-W. Em zonas onde a atuação da deformação foi mais intensa, observa-se o desenvolvimento de um bandamento composicional ainda no estágio tardi-magmático (sintectônico). A ocorrência de bandas de cisalhamento e dobras de arrasto/intrafoliais revelam que estas rochas foram afetadas por mais de um evento deformacional (Figura 4a). É comum também a ocorrência de veios leucograníticos e diques máficos seccionando esta unidade.

A segunda variedade de trondhjemitos é caracterizada por rochas de textura equigranular média a fina (Figura 4b), de coloração cinza-escuro, e deformação incipiente com desenvolvimento de uma foliação E-W de baixo ângulo. Trata-se de muscovita-biotita trondhjemitos que ocorrem intimamente associados às rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá, na porção sul da área. Apesar de formarem corpos rochosos, podem também ser encontrados em blocos e matacões isolados. Diferente da primeira variedade, as relações de contato com as demais unidades não são claras. Estas rochas mostram corpos mais espessos e maciços, onde a foliação/deformação é incipiente, pouco observada macroscopicamente. Não foram verificados efeitos de cisalhamento, tampouco relações de intrusão, e especialmente não há relação entre estas variedades.

Apesar das diferenças marcantes entre as duas variedades de rochas trondhjemíticas relatadas aqui, as mesmas serão descritas em conjunto, uma vez que não divergem composicionalmente.

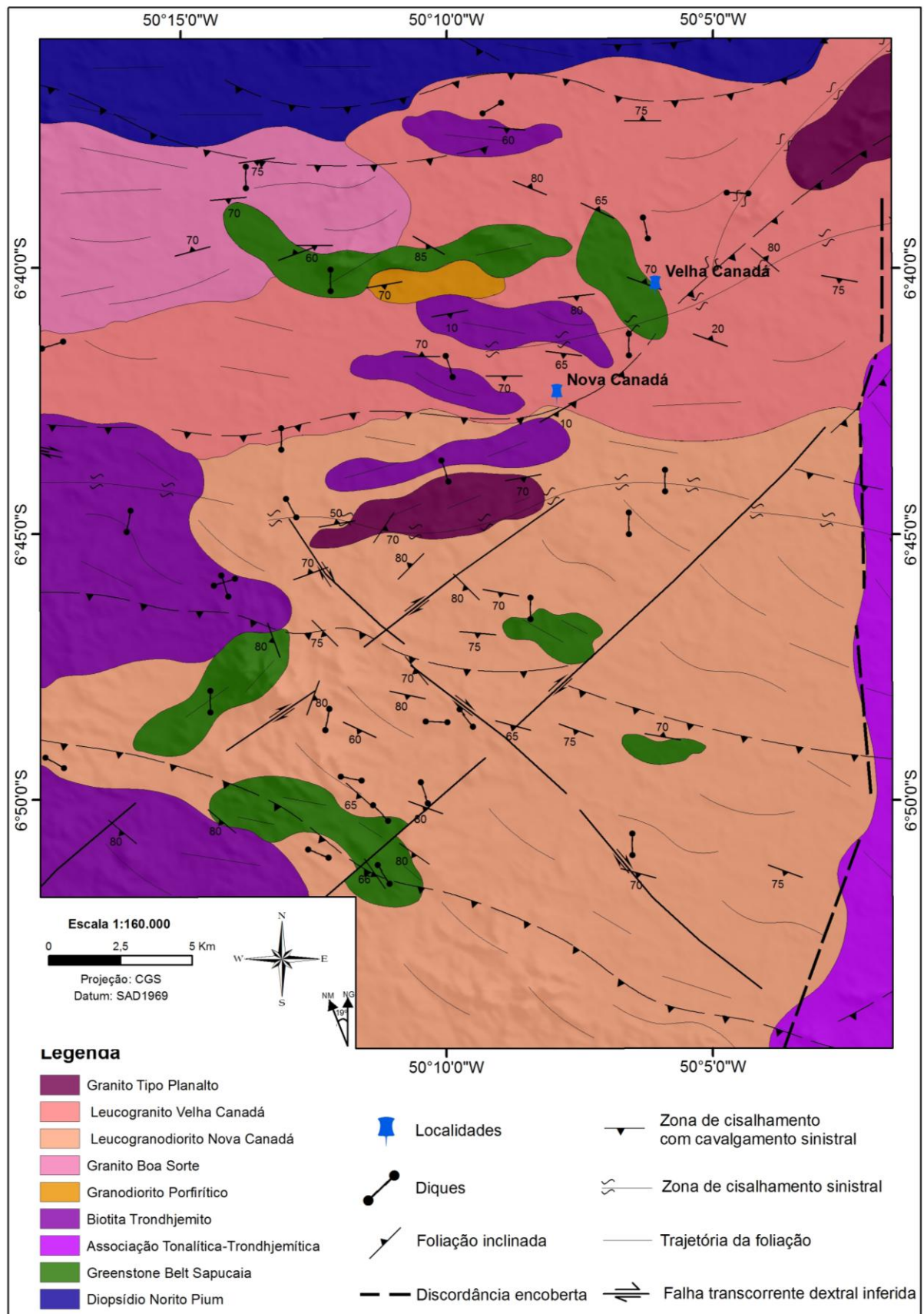


Figura 2. Mapa Geológico da área de Nova Canadá no Domínio Carajás.

Petrografia

Composições modais e classificação

Os trondhjemitos da área de Nova Canadá são caracterizados por rochas faneríticas com grau de anisotropia variável, evidenciado principalmente pelo alinhamento dos minerais máficos, e menos frequentemente pelo bandamento composicional e foliação milonítica. São rochas hololeucocráticas com valores médios de minerais máficos em torno de 5,4%, de textura equigranular média a fina, e coloração cinza-esbranquiçada a cinza-escura. São compostas por quartzo (~33,0%), plagioclásio (54,3%), e algumas dessas rochas, principalmente aquelas descritas na porção sul da área, podem conter K-feldspato acima de 2,0% (Tabela 1). A biotita é o único mineral varietal (~4,8%), e representando a fase acessória primária ocorrem minerais opacos, titanita e allanita e muscovita com teores muito baixos (<0,6% - traço). As fases secundárias são sericita, epidoto, muscovita, e mais raramente escapolita. Foram selecionadas dezenove amostras para análise modal, com contagem média de 1800 pontos (Tabela 1). Em geral, as análises plotam em diagrama Q-A-P e Q-(A+P)-M (Streckeisen 1976 – Figura 3) no campo dos tonalitos, entretanto, seus conteúdos modais de minerais máficos sempre em torno de 5,4%, nos permite classificar essas rochas como trondhjemitos, de acordo com os critérios de Le Maitre (2002).

Associações trondhjemíticas afins de TTG são pouco descritas no Domínio Carajás, por essa razão, comparações baseadas em dados modais são melhor estabelecidas com as rochas do Domínio Rio Maria (Figura 3), onde Almeida *et al.* (2011) faz uma síntese sobre rochas da série TTG, que perfazem pelo menos 70% do embasamento daquele domínio. Os conteúdos modais de quartzo e feldspatos das unidades de Nova Canadá e Rio Maria são muito próximos, salvo algumas amostras da primeira que apresentam teores de quartzo inferiores a 20%. Os teores de minerais máficos das rochas de Nova Canadá possuem conteúdos inferiores a 10%, o que implica classificá-las como trondhjemitos. Similarmente ao que foi definido para os TTGs de Rio Maria, aqueles de Nova Canadá mostram comportamento análogo aos da série toleítica e tonalítica ou trondhjemítica de Lameyre & Bowden (1982) e Bowden *et al.* (1984 - ver figura 3).

Tabela 1. Composições modais dos trondhjemitos de Nova Canadá.

BIOTITA TRONDHJEMITO																			
Unidade	Biotita Trondhjemito - Porção Sul				Biotita Trondhjemito - Porção Norte														
Am/Minerais	PDE15D	PDE19	PDR27DI	PDE15E	PDR25	PDR24	PDR23A	PDR14	PDE22	PDE34	PDR11	PDE65	PDR09	ADK80	ADK59	ADK10	ADK57	ADK88	PDR15
Quartzo	17.60	22.00	24.90	25.90	18.10	23.20	23.50	24.90	25.10	26.10	29.50	30.20	31.80	33.30	39.20	42.90	43.30	44.60	47.80
Plagioclásio	64.90	64.10	66.20	61.40	77.70	69.50	63.60	69.20	66.30	67.20	57.00	59.70	54.60	55.80	53.80	44.10	55.20	47.80	48.80
Álcalis	10.80	4.50	3.40	2.10	0.50	4.20	6.00	1.80	5.00	3.20	7.20	5.20	9.90	8.80	1.50	6.20	0.20	0.60	1.70
Biotita	5.50	7.90	3.60	8.50	3.60	2.60	6.80	3.80	2.00	3.10	5.10	4.30	3.10	1.70	3.90	5.80	1.00	4.90	1.30
Anfibólio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Titanita	0.10	0	0.20	0.10	0	0	0	0	0.10	0	0	0	0	0	0.10	0.20	0	0.20	0
Opaco	0	0	0.20	0	0	0.20	0	0	0.10	0.10	0	0.50	0	0	0.60	0	0	0	0.10
Zircão	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30	0	0	0	0	0	0
Allanita	0	0.10	0.60	0.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0	0.10	0	0
Epidoto m	0.10	0.10	0.50	1.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Epidoto s	0	0	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30	0.50	0	0	0
Muscovita m	0.80	0.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muscovita s	0	0.50	0	0.40	0	0	0	0	1.30	0	0	0	0	0	0.40	0	0.20	0.80	0
Clinozoisita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.90	0	0	0	0	0	0	0	0
Apatita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0
Clorita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.10	0	0	0	0
Escapolita	0	0	0	1.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.30	0	0.60	0
A+P	75.70	68.60	69.60	63.50	78.20	73.70	69.60	71.00	71.30	70.40	64.20	64.90	64.50	64.60	55.30	50.30	55.40	48.40	50.50
Quartzo*	18.86	24.28	26.35	28.97	18.80	23.94	25.24	25.96	26.04	27.05	31.48	31.76	33.02	34.01	41.48	46.03	43.87	47.96	48.63
Plagioclásio*	69.56	70.75	70.05	68.68	80.69	71.72	68.31	72.16	68.78	69.64	60.83	62.78	56.70	57.00	56.93	47.32	55.93	51.40	49.64
K-feldspato*	11.58	4.97	3.60	2.35	0.52	4.33	6.44	1.88	5.19	3.32	7.68	5.47	10.28	8.99	1.59	6.65	0.20	0.65	1.73
Máficos	6.50	8.40	5.10	9.80	3.60	2.80	6.80	3.80	2.20	3.20	6.00	4.80	3.40	1.70	4.70	6.00	1.10	5.20	1.40
Total	2000	1800	2000	1800	1600	1800	2000	1800	2000	1800	1700	2000	2000	1800	2000	1287	2000	1800	1800

Abreviações: 0 = mineral não observado; A = K-feldspato; P = Plagioclásio; m = magmático; s = secundário.

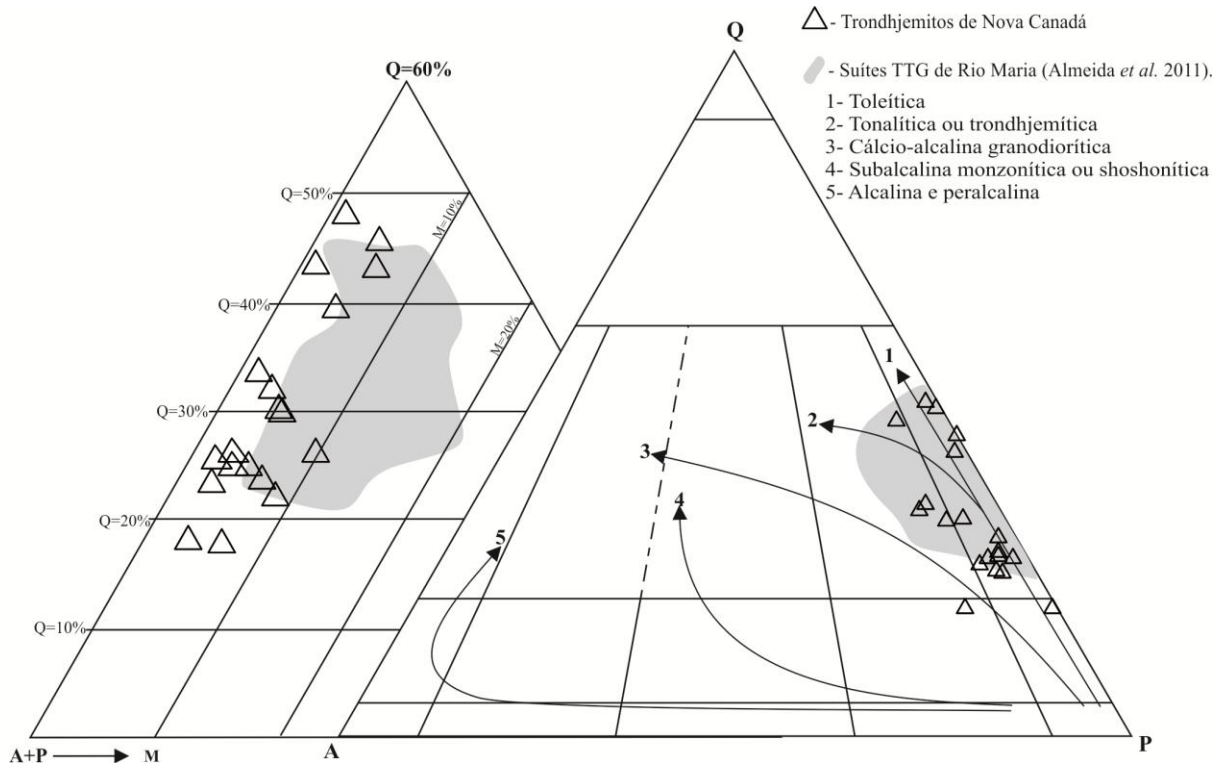


Figura 3. Diagramas modais Q-A-P e Q-(A+P)-M' (Streckeisen 1976) para as rochas trondhjemíticas de Nova Canadá. 1 a 5 são *trends* evolutivos das séries granitoides (Lameyre & Bowden 1982, Bowden *et al.* 1984).

Aspectos texturais

Os aspectos texturais dos diferentes minerais mostram que os cristais de plagioclásio podem ocorrer como finos cristais subautomórficos, raramente oclares, e com dimensões de ~ 1,3 mm; ou ainda como porfiroclastos com bordas recristalizadas, cujas dimensões atingem até 4,0 mm (Figura 4c). Têm contornos e contatos irregulares entre si e com os demais minerais, por vezes curvos com quartzo. O maclamento é do tipo albita e albita-periclina, onde os mesmos estão fracamente descalcificados, com seus núcleos transformando para sericita ± muscovita. Inclusões de biotita, titanita, allanita e mais raramente quartzo, podem ocorrer nas bordas mais sódicas destes cristais. Quando presente, o K-feldspato é intersticial (Figura 4d). Os aspectos texturais deste mineral sugerem que o mesmo tenha origem tardia, tendo sido concentrado nas etapas finais de cristalização; o quartzo é xenomórfico, geralmente encontra-se recristalizado ou fitado segundo a foliação da rocha (*quartz ribbon*), com dimensões que variam entre 0,1-3,2 mm (Figura 4c, d). Seus contornos e contatos são irregulares entre si e com os demais minerais. A extinção é moderadamente ondulante, e raramente estes podem estar fraturados, e ainda conter inclusões de biotita e minerais opacos. A biotita é subautomórfica a xenomórfica com tamanhos entre 0,1-0,5 mm, os contornos e contatos são irregulares, por vezes retos entre si e com epidoto. Inclusões de epidoto e minerais opacos são comuns.

Dentre os minerais acessórios primários ocorrem cristais subautomórficos de minerais opacos, de tamanhos ~ 0,1-0,4 mm, que podem estar associados à titanita e epidoto. A titanita ocorre com cristais subautomórficos com dimensões entre 0,1-0,9 mm, que formam agregados máficos, sendo que suas relações texturais com os minerais opacos sugerem origem tardi-magmática para a mesma. Os cristais de zircão são finos, automórficos e de dimensões entre 0,1-0,2 mm. Os cristais de epidoto são finos, subautomórficos, com dimensões entre 0,1-0,5 mm e geralmente ocorrem associados aos cristais de allanita, clinozoisita e minerais opacos. Podem conter inclusões de minerais opacos e bordejar allanita; esta última é subautomórfica com dimensões entre 0,2-0,6 mm, e geralmente está associada ao epidoto e às bordas mais sódicas dos cristais de plagioclásio. A muscovita de origem magmática é restrita aos trondhjemitos da porção sul da área, e ocorrem geralmente como cristais intersticiais, o que evidencia seu caráter tardi-magmático (Figura 4d).

Os acessórios secundários são representados por sericita, muscovita (0,4%-1,3%), geralmente associados ao plagioclásio e interpretados como produto da transformação deste mineral; a clorita é produto da transformação das lamelas de biotita.

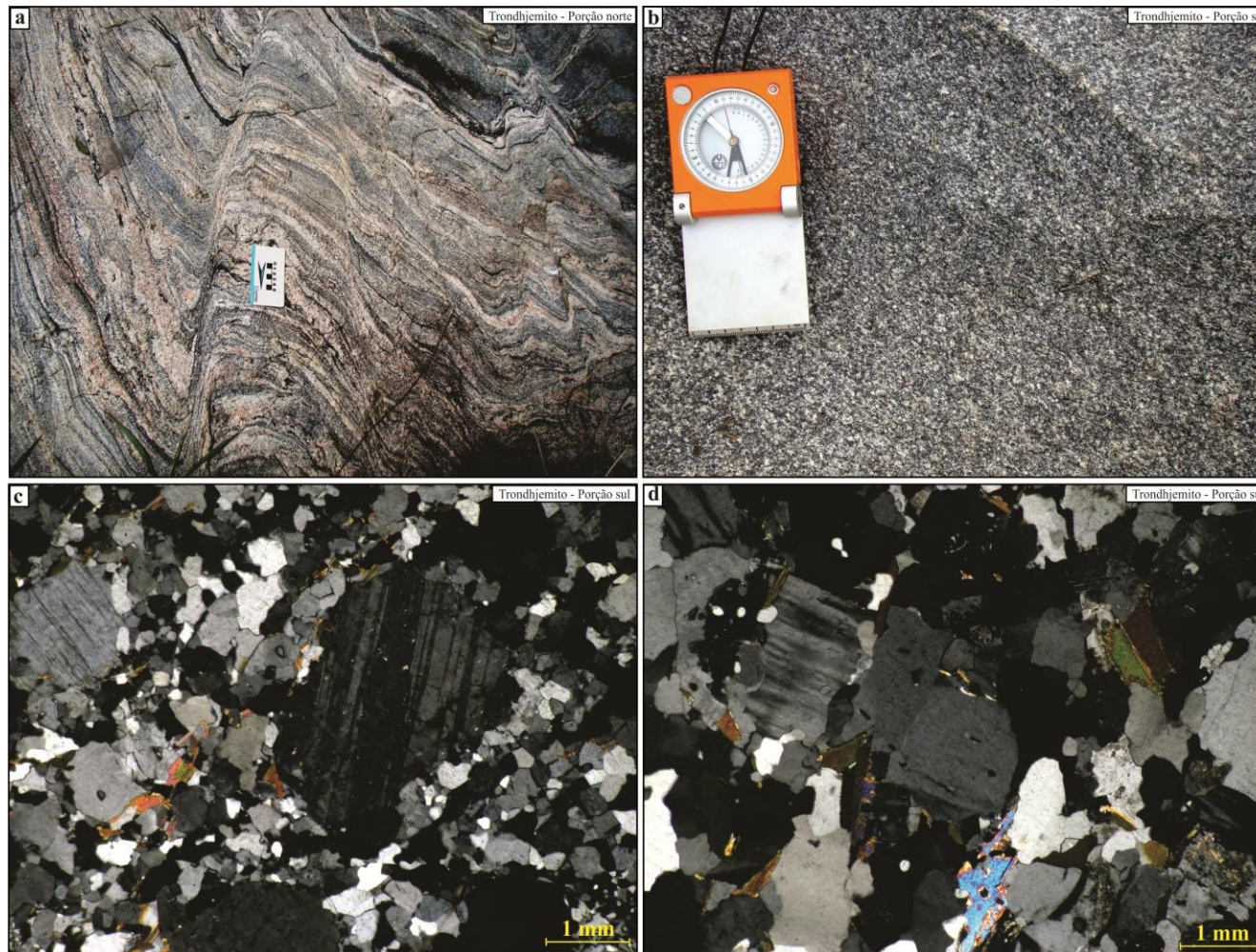


Figura 4. Aspectos texturais das rochas trondhjemíticas da área de Nova Canadá: a) afloramento dos trondhjemitos da porção norte da área mostrando o desenvolvimento de um bandamento composicional afetados por extensas bandas de cisalhamento; b) aspecto equigranular e moderadamente deformado dos trondhjemitos da parte sul da área; c) aspecto microscópico destes trondhjemitos mostrando o desenvolvimento de porfiroclastos de plagioclásio imersos em uma matriz recristalizada formada predominantemente por finos cristais de quartzo, e por vezes, de biotita; e d) porções mais preservadas e menos recristalizada das rochas do trondhjemito da parte sul da área, onde observa-se a ocorrência de cristais de feldspato potássico intersticiais ainda preservados, associados a finos cristais de muscovita e plagioclásio saussuritizado.

Geoquímica

Os dados geoquímicos dos trondhjemitos da área de Nova Canadá foram obtidos através da análise química em rocha total de 17 amostras coletadas em afloramentos desprovidos de feições de migmatização. Tais análises foram obtidas no Laboratório ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD, onde 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, e os elementos traço e terras raras por ICP-MS. As conversões para expressar os valores em óxidos na forma catiônica (por ex. Cr_2O_3 para Cr) foram baseadas nos fatores de conversão gravimétrica compilados de Stevens *et al.* (1960). Os critérios para realização das análises foi baseado principalmente em dados de campo e petrográficos.

A caracterização geoquímica destas rochas utilizará de diagramas de variação e definição das principais características geoquímicas baseada nos elementos maiores e traço, bem como avaliação preliminar das séries magmáticas e tipologia. Os elementos traço serão utilizados também para considerações sobre tipologia e assinatura destes granitoides, além da prévia avaliação de possíveis processos magmáticos. Enquanto os Elementos Terra Rara (ETR) ajudarão na identificação dos possíveis fases fracionadas ou residuais durante a geração do magma que deu origem à estas rochas.

As rochas avaliadas são biotita trondhjemitos cálcio-alcálicos, que apresentam pequenas variações aceitáveis nos conteúdos de K_2O , e são curiosamente peraluminosas. As explicações para estas características serão discutidas durante o desenvolvimento do trabalho. Para melhor caracterização foram realizadas comparações entre estes litotipos e os típicos TTGs de Rio Maria (trondhjemitos Mogno e Água Fria e tonalitos Mariazinha, Caracol e Arco Verde – Almeida *et al.* 2011) e com as unidades trondhjemíticas da área de Canaã dos Carajás (Feio *et al.* 2012).

Elementos maiores e menores

Foram realizadas análises químicas de elementos maiores, menores e traço em 17 amostras representativas das associações trondhjemíticas que ocorrem na área de Nova Canadá (Tabela 2). Os resultados mostram que os conteúdos de sílica destas rochas variam no intervalo de 69,16% a 81,46%, sendo que os trondhjemitos da porção sul da área são mais empobrecidos em SiO_2 (69,16% - 70,38%) em relação aqueles do norte (70,0% - 81,46%). Os conteúdos de Al_2O_3 na maioria das amostras são em geral superiores a 15,0% (Tabela 2,

Figura 5a), o que sugere que essas rochas sejam similares aos TTGs com alta alumina de Barker (1979). Os valores do #Mg nesses trondhjemitos podem ser considerados como moderados, com valores variando entre 0,55 e 0,35, e os conteúdos de Fe_2O_3 variam entre 0,51% - 3,03% (Figura 5b), com a maioria das amostras acima de 1,10%. Os teores de MgO são inferiores a 1,0% (Figura 5c), e aqueles de TiO_2 menores que 0,30%. O valor médio dos teores de CaO é igual a 2,24% (Tabela 2), e seu intervalo mostra conteúdo moderados a baixos (3,18% - 1,23%, Figura 5d). A variação nos conteúdos dos elementos ferromagnesianos é discreta, sendo o valor médio da somatória $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{TiO}_2 = 2,35\%$ (Tabela 2). Nota-se a partir desses valores, que os trondhjemitos da porção sul da área são mais enriquecidos em elementos compatíveis [Fe_2O_3 (1,65% - 3,03%), MgO (0,69% - 0,96), TiO_2 (0,26% - 0,39%), CaO (2,15% - 3,18%)] em relação aqueles fortemente deformados da porção norte [Fe_2O_3 (0,51% - 2,70%), MgO (0,06% - 0,60%), TiO_2 (0,05% - 0,34%), CaO (1,23% - 3,10%)]. Em geral, os trondhjemitos estudados mostram baixas razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ com média de 0,46, onde os teores médios de Na_2O (Figura 5e) variam entre 5,95% - 3,23%, e os de K_2O entre 3,38% a 0,89% (Figura 5f).

Nos diagramas de Harker da figura 5, observa-se um acentuado empobrecimento nos teores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, MgO (Figura 5a-d) e TiO_2 , com o aumento no conteúdo de SiO_2 . A correlação da sílica com K_2O não é clara, havendo uma acentuada dispersão das amostras, e um aparente enriquecimento neste óxido com o leve enriquecimento em SiO_2 . Além disso, os diagramas que utilizam Na_2O , Al_2O_3 e até mesmo K_2O , sugerem a existência de dois *trends* paralelos para estas rochas. A partir disto, nota-se que os conteúdos de elementos óxidos analisados são muito similares aos granitoides afins de outras regiões da Província Carajás, principalmente quando comparados com as composições das rochas do Trondhjemitito Mogno do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2011), e com aquelas dos trondhjemitos da área de Canaã dos Carajás (Feio *et al.* 2012).

Tabela 2. Composição química dos trondhjemitos da área de Nova Canadá.

BIOTITA TRONDJHEMITO																			
Unidade	Biotita Trondhjemito - Porção Sul				Biotita Trondhjemito - Porção Norte														MÉDIA
Amostra	PDE19	PDE15E	PDR27DI	PDE15D	PDR25	PDR11	PDR23A	PDR24	ADK88	PDE34	PDE22	ADK80	PDR09	PDE65	ADK10	PDR14	PDR15		
Elementos																			
SiO ₂	69.16	69.25	69.57	70.38	70.00	70.96	71.23	71.29	72.22	72.67	72.91	72.97	73.11	73.30	74.39	75.14	81.46		72.35
TiO ₂	0.39	0.38	0.29	0.26	0.18	0.18	0.16	0.14	0.21	0.15	0.07	0.08	0.09	0.16	0.34	0.08	0.05		0.19
Al ₂ O ₃	15.83	15.88	15.54	15.54	16.54	15.36	16.09	15.63	15.45	15.20	15.57	15.26	14.99	14.64	13.05	14.29	10.42		15.02
Fe ₂ O ₃	2.40	2.48	3.03	1.65	2.20	1.60	1.43	1.59	1.91	1.45	0.75	0.82	1.37	1.55	2.70	1.10	0.51		1.68
MnO	0.03	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03	0.05	<0.01	<0.01		0.03
MgO	0.96	0.93	0.91	0.69	0.43	0.54	0.45	0.41	0.56	0.36	0.15	0.22	0.26	0.37	0.60	0.25	0.06		0.48
CaO	2.68	2.63	3.18	2.15	2.72	1.95	2.55	2.11	3.10	2.29	1.28	1.77	1.96	1.97	2.57	2.00	1.23		2.24
Na ₂ O	4.66	4.72	4.29	4.73	5.95	4.69	5.76	5.36	5.06	4.76	5.76	5.01	4.95	4.95	4.54	5.18	3.33		4.92
K ₂ O	2.60	2.75	2.10	3.27	1.17	3.38	1.42	2.30	1.04	2.39	2.69	3.33	2.61	2.36	0.89	1.47	2.16		2.23
P ₂ O ₅	0.14	0.13	0.10	0.09	0.09	0.07	0.06	0.06	0.07	0.05	0.03	<0.01	0.04	0.05	0.07	0.02	0.01		0.07
LOI	0.90	0.50	0.70	1.00	0.50	0.90	0.60	0.80	0.20	0.40	0.60	0.30	0.20	0.40	0.60	0.20	0.50		0.55
Sum	99.72	99.73	99.80	99.77	99.78	99.61	99.77	99.67	99.84	99.77	99.80	99.77	99.62	99.81	99.82	99.74	99.72		99.75
Ba	1047.0	994.0	586.0	896.0	550.0	2224.0	703.0	1832.0	261.0	1058.0	996.0	1171.0	2090.0	775.0	198.0	1069.0	1427.0		1051.59
Rb	114.50	102.80	74.70	151.30	25.30	65.40	31.80	46.20	32.60	54.20	77.60	59.40	48.10	63.70	42.30	35.50	43.10		62.85
Sr	648.00	607.00	327.30	534.00	863.20	646.70	838.50	612.00	523.20	569.90	455.70	546.30	624.60	360.60	442.90	677.80	507.70		575.61
Zr	131.30	126.90	118.10	105.50	106.30	102.40	80.30	71.20	109.90	74.60	45.00	68.80	93.50	96.60	271.80	82.30	75.40		103.52
Nb	7.50	3.50	5.20	3.40	2.30	1.80	2.10	1.80	2.80	2.10	2.80	1.70	2.60	2.90	6.80	0.90	0.70		2.99
Y	4.30	4.80	9.50	2.20	5.90	1.70	4.00	3.00	1.80	2.80	3.20	1.60	5.20	4.10	11.50	1.20	0.80		3.98
Ga	23.80	23.80	17.80	25.30	19.20	17.60	18.60	17.60	20.30	18.20	18.30	17.20	17.00	17.60	19.80	16.20	11.60		18.82
Sc	4.00	4.00	5.00	3.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	1.00	<1		2.31
Th	9.20	9.30	5.40	8.50	0.30	3.00	0.60	1.80	1.70	2.90	2.60	4.00	5.20	5.40	2.10	4.60	2.20		4.05
U	3.60	2.10	1.80	2.80	0.40	0.30	0.20	0.30	0.40	0.40	1.50	0.40	0.50	0.60	2.10	0.40	0.20		1.06
V	39.00	39.00	32.00	24.00	17.00	16.00	11.00	24.00	24.00	11.00	<8	16.00	12.00	11.00	18.00	<8	<8		21.00
La	29.70	33.90	23.50	20.70	15.50	14.80	10.70	8.90	12.00	11.70	5.70	17.70	15.40	22.10	12.70	15.20	10.50		16.51
Ce	56.90	58.10	44.30	37.40	25.80	24.80	13.30	16.00	18.60	21.90	11.80	24.20	27.90	39.20	20.60	27.00	17.90		28.57
Pr	6.25	6.78	4.81	4.00	3.21	2.62	1.80	1.87	1.97	2.21	1.23	3.46	2.93	4.04	2.68	2.80	1.91		3.21
Nd	22.00	23.10	17.40	12.70	10.70	9.70	7.40	6.60	6.70	7.40	4.80	10.70	9.10	13.60	10.10	9.70	6.60		11.08
Sm	3.29	3.51	2.67	2.03	2.22	1.18	1.12	1.32	0.91	1.17	1.08	1.86	1.52	1.93	1.86	1.19	0.73		1.74
Eu	0.80	0.79	0.63	0.51	0.79	0.49	0.46	0.43	0.59	0.38	0.25	0.36	0.46	0.47	1.06	0.34	0.25		0.53
Gd	1.90	2.03	2.06	1.28	1.82	0.72	1.05	0.88	0.65	0.85	0.96	1.06	1.15	1.25	1.67	0.77	0.44		1.21
Tb	0.20	0.21	0.28	0.12	0.24	0.08	0.13	0.12	0.07	0.10	0.14	0.12	0.17	0.15	0.26	0.07	0.04		0.15
Dy	0.84	1.00	1.62	0.62	1.18	0.37	0.60	0.56	0.32	0.50	0.65	0.46	0.89	0.79	1.45	0.26	0.18		0.72
Ho	0.12	0.13	0.29	0.08	0.20	0.05	0.12	0.11	0.06	0.09	0.15	0.06	0.15	0.13	0.28	0.04	0.02		0.12
Er	0.34	0.38	0.89	0.19	0.50	0.16	0.30	0.25	0.15	0.28	0.26	0.12	0.45	0.28	0.80	0.12	0.05		0.32
Tm	0.05	0.05	0.14	0.04	0.06	0.02	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.03	0.07	0.05	0.13	0.02	0.01		0.05
Yb	0.27	0.29	0.83	0.22	0.40	0.11	0.25	0.20	0.14	0.17	0.25	0.12	0.42	0.28	0.82	0.10	0.07		0.29
Lu	0.04	0.05	0.15	0.03	0.06	0.02	0.05	0.05	0.03	0.03	0.04	0.02	0.07	0.04	0.13	0.02	0.02		0.05
A/CNK	1.03	1.02	1.03	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02	1.04	1.06	1.01	1.03	1.03	1.00	1.04	1.04		1.03
K ₂ O/Na ₂ O	0.56	0.58	0.49	0.69	0.20	0.72	0.25	0.43	0.21	0.50	0.47	0.66	0.53	0.48	0.20	0.28	0.65		0.46
Fe ₂ O ₃ +MgO+TiO ₂	3.75	3.79	4.23	2.60	2.81	2.32	2.04	2.14	2.68	1.96	0.97	1.12	1.72	2.08	3.64	1.43	0.62		2.35
# Mg	0.53	0.52	0.46	0.55	0.36	0.49	0.47	0.43	0.46	0.42	0.36	0.44	0.35	0.41	0.39	0.39	0.25		0.43
Sr/Y	150.70	126.46	34.45	242.73	146.31	380.41	209.63	204.00	290.67	203.54	142.41	341.44	120.12	87.95	38.51	564.83	634.63		230.52
Rb/Sr	0.18	0.17	0.23	0.28	0.03	0.10	0.04	0.08	0.06	0.10	0.17	0.11	0.08	0.18	0.10	0.05	0.08		0.12
Ba/Sr	1.62	1.64	1.79	1.68	0.64	3.44	0.84	2.99	0.50	1.86	2.19	2.14	3.35	2.15	0.45	1.58	2.81		1.86
Sr/Ba	0.62	0.61	0.56	0.60	1.57	0.29	1.19	0.33	2.00	0.54	0.46	0.47	0.30	0.47	2.24	0.63	0.36		0.78
Rb/Y	26.63	21.42	7.86	68.77	4.29	38.47	7.95	15.40	18.11	19.36	24.25	37.13	9.25	15.54	3.68	29.58	53.88		23.62
(La/Yb) N	74.25	78.90	19.11	63.51	26.16	90.82	28.89	30.04	57.86	46.45	15.39	99.56	24.75	53.28	10.45	102.60	101.25		54.31
(Ce/Yb) N	54.54	51.85	13.81	44.00	16.69	58.35	13.77	20.71	34.39	33.34	12.22	52.19	17.19	36.23	6.50	69.88	66.18		35.40
(La/Sm) N	5.68	6.08	5.54	6.42	4.40	7.90	6.01	4.25	8.30	6.30	3.32	5.99	6.38	7.21	4.30	8.04	9.06		6.19
(Gd/Er) N	4.54	4.34	1.88	5.47	2.96	3.66	2.84	2.86	3.52	2.47	3.00	7.18	2.08	3.63	1.70	5.21	7.15		3.79
Eu/Eu*	0.90	0.83	0.79	0.90	1.17	1.51	1.28	1.15	2.24	1.11	0.74	0.72	1.02	0.87	1.80	1.02	1.25		1.14

Fe₂O_{3t} = Ferro total recalculado como Fe₂O₃. LOI = loss on ignition. A/CNK: razão molecular (Al/Ca+Na+K). Mg# = razão molecular Mg/(Mg + Fe). La_N, Yb_N, Sm_N, Gd_N, Eu_N: Valores de ETR normalizados (Evensen *et al.* 1978). Eu/Eu* = anomalia de Eu calculada como [Eu/(Eu*)]=[Eu_N]/((Sm_N+Gd_N)/2)].

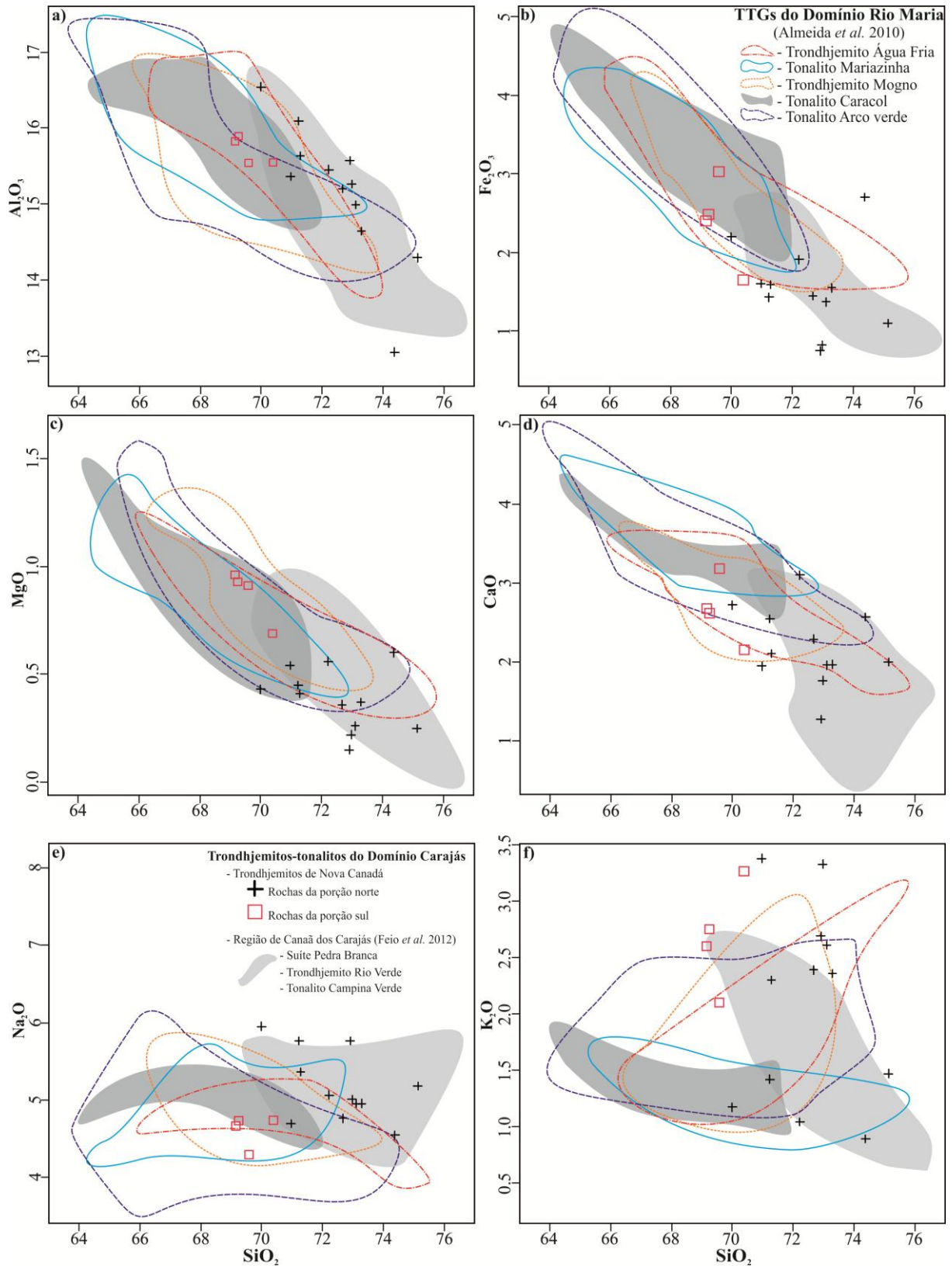


Figura 5. Diagramas Harker para elementos maiores dos trondhjemitos da área de Nova Canadá. Os campos de ocorrência dos TTGs de Rio Maria (Trondhjemito Mogno, Trondhjemito Água Fria, Tonalito Mariazinha, Tonalito Caracol e Tonalito Arco Verde – Almeida *et al.* 2011), assim como os tonalitos-trondhjemitos da área de Canaã dos Carajás (Feio *et al.* 2012) foram utilizados para comparações.

Elementos traços

Nas diversas séries magmáticas, a distribuição dos elementos traço é amplamente controlada pelas fases minerais fracionadas durante a evolução magmática, sendo estes bons indicadores dos processos petrogenéticos (Hanson 1989). O comportamento dos principais elementos traço das associações trondhjemiticas de Nova Canadá mostra uma ampla distribuição no diagrama de Harker (Figura 6). Em geral, estes granitoides possuem baixas concentrações de elementos compatíveis, como no caso dos elementos Ni (2,6-14,5 ppm), Cr (<0,1 ppm) e V (<8-39 ppm); relativamente baixos conteúdos de HFSE [Nb (0,9-7,5 ppm), Ta (0,2-2,0 ppm), Zr (45,0-271,8 ppm), Y (1,2-11,5 ppm), Hf (2,1-6,7 ppm)]; e variáveis conteúdos de LILE, com altos conteúdos de Ba (198-2224 ppm), relativamente altos de Sr (863,2 - 327,3 ppm) e moderados a altos de Rb (151,3- 25,3 ppm, Figura 6 a-c). Os resultados mostram um empobrecimento acentuado nos teores de Rb e Zr com o aumento da sílica, e um mais discreto para Ba e Sr, devido ao maior grau de dispersão desses elementos (Figura 6a-b). Já os conteúdos dos elementos Y (11,5 ppm - 0,8 ppm, Figura 6d) e Yb (0,83 ppm - 0,07 ppm, Figura 6f) não mostram variações significativas com o aumento da sílica. Em geral, o comportamento desses elementos também sugere a existência de dois grupos de afinidades geoquímicas com granitoides afins da região de Canaã dos Carajás e Rio Maria. Nos diagramas que relacionam as razões Rb/Sr e Sr/Ba com SiO₂ (Figura 6g, h), observa-se que as quatro amostras (PDE-15D, 15E, 19 e PDR 27DI) pertencentes aos trondhjemitos da porção sul da área são claramente mais enriquecidos na razão Rb/Sr e mostram maior afinidade geoquímica com TTGs de Rio Maria, enquanto as rochas dos trondhjemitos bandados da porção norte da área são mais afins daqueles de Canaã do Carajás, onde algumas de suas amostras são mais enriquecidas na razão Sr/Ba.

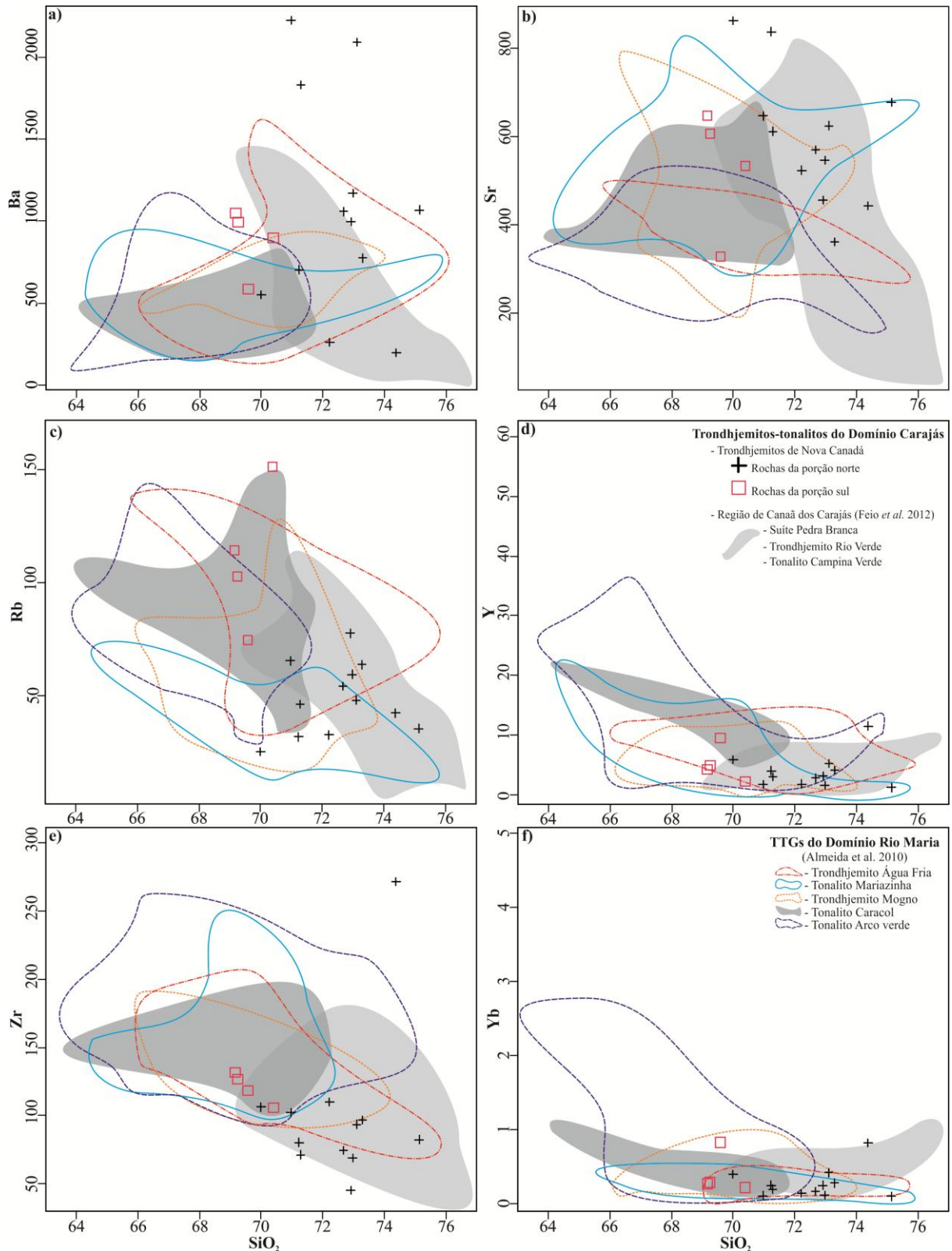
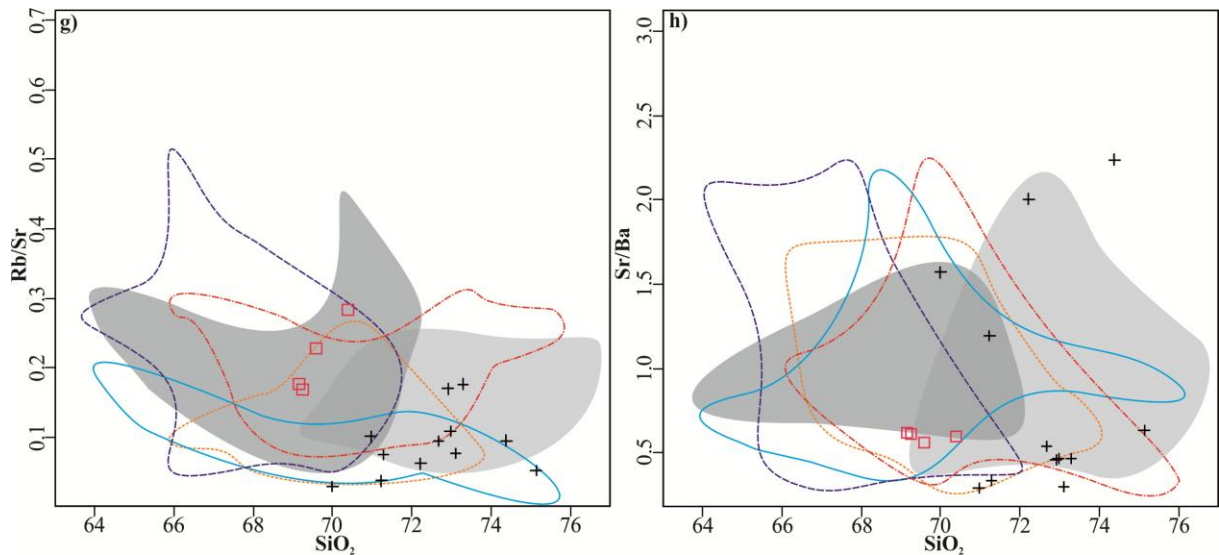


Figura 6. (a-f) diagramas de Harker para elementos traço dos trondhjemitos de Nova Canadá; (g, h) diagramas de Harker para elementos traço dos trondhjemitos de Nova Canadá com razões entre estes elementos. Os campos de ocorrência dos TTGs de Rio Maria (Trondhjemito Mogno, Trondhjemito Água Fria, Tonalito Mariazinha, Tonalito Caracol e Tonalito Arco Verde – Almeida *et al.* 2011), assim como os tonalitos-trondhjemitos da área de Canaã dos Carajás (Feio *et al.* 2012) foram utilizados para comparações.

Continuação Figura 6.



Elementos terras raras

Os resultados analíticos obtidos para os Elementos Terra Raras (ETR) dos trondhjemitos de Nova Canadá foram normalizados de acordo com os valores do condrito de Evensen *et al.* (1978 - Figura 7). O padrão de ETR observado nas rochas estudadas mostra um enriquecimento em ETR leves (ETRL) em relação aos pesados (Figura 7a, b), o que pode indicar um maior fracionamento dos ETR pesados (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) durante a formação e/ou diferenciação dos seus magmas. Em geral, não observa-se diferenças significativas entre os padrões de ETR obtidos para estas amostras, porém nota-se variações nas razões La/Yb (Tabela 2), que fica no intervalo de 102,6 a 10,4. Nota-se um padrão côncavo dos ETR pesados em algumas amostras dos trondhjemitos da porção norte da área, e chama-se atenção para a ausência de anomalias negativas de Eu ($Eu/Eu^* = 0,72 - 2,24$). Tais aspectos são similares àqueles observados nas típicas associações TTG arqueanas (Martin 1987, Condie 2005).

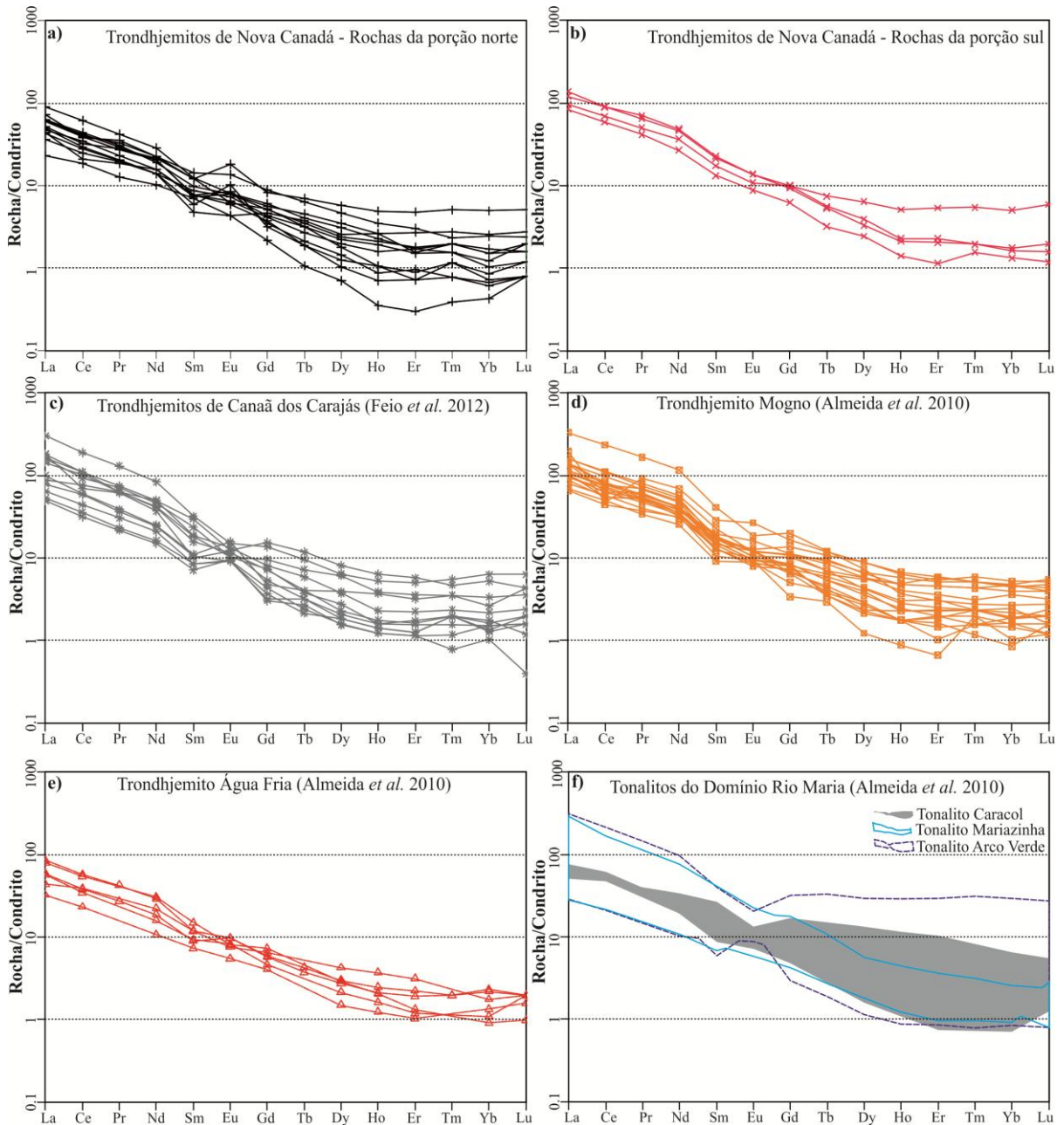


Figura 7. Padrões de ETR com valores normalizados pelo condrito de Evensen *et al.* (1978), para as Associações Tonalítica-Trondhjemíticas da Província Carajás: (a) trondhjemitos de Nova Canadá; (b) tonalitos-trondhjemitos de Canaã dos Carajás (Feio *et al.* 2012); (c) Trondhjemito Mogno do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2011); (d) Trondhjemito Água Fria do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2011); (e) rochas tonalíticas do Domínio Rio Maria (Tonalito Caracol, Tonalito Arco Verde e Tonalito Mariazinha – Almeida *et al.* 2011).

Caracterização da série magmática

Para a caracterização da série magmática, as análises dos trondhjemitos de Nova Canadá foram plotadas em diversos diagramas de classificação geoquímica (TAS, Cox *et al.* 1979 - Figura 8a); R1 – R2, De La Roche *et al.* 1980 – Figura 8b), onde suas composições incidem preferencialmente no campo dos granodioritos e granitos. No diagrama P–Q de Debon & Le Fort (1983 - Figura 8c), estas amostras se dividem entre o campo dos tonalitos e granodioritos, passando do *trend* toleítico para o cálcio-alcálico em direção aquele das rochas

subalcalinas sódicas. No diagrama normativo Ab-An-Or de O'Connor (1965 – Figura 8d) os trondhjemitos de Nova Canadá plotam no campo das rochas trondhjemíticas e graníticas. O enriquecimento em Or de algumas amostras pode ser atribuído à presença de termos mais enriquecidos em potássio, como é discutido nas associações tipo TTG arqueanas (Jahn *et al.* 1988, Martin *et al.* 1983).

No diagrama baseado nos parâmetros de Shand (1950 - Figura 8e), observa-se que as rochas trondhjemíticas de Nova Canadá são fracamente peraluminosas (A/NK vs. $A/CNK \sim 1,2$) o que é consistente com a presença de biotita \pm muscovita e ausência de anfibólio na mineralogia das mesmas. Quando observamos o diagrama K_2O vs. SiO_2 (Peccerillo & Taylor, 1976 – Figura 8e) nota-se um comportamento similar ao observado na figura 8c, onde algumas rochas mostram afinidade com a série toleítica, e outras com a série cálcio-alcalina. Um pequeno grupo mostra-se mais enriquecido em K, levando essas amostras ao campo das rochas cálcio-alcalinas alto-K.

No diagrama AFM (Irvine & Baragar 1971 – Figura 8g) todas as amostras analisadas se alinham ao *trend* das rochas cálcio-alcalinas, sendo em geral mais empobrecidas em álcalis. E no diagrama K-Na-Ca (Barker & Arth 1976 – Figura 8h) estas rochas mostram afinidades com a série trondhjemítica, sendo plotados preferencialmente no campo das rochas sódicas, atribuído aos típicos TTGs de Martin (1994). Estes apresentam altos valores de Na_2O (5,95% – 3,33%), moderados de CaO (3,18% – 1,23%), e conteúdos inferiores de K_2O (3,38% – 0,89%), o que resulta em geral em uma baixa razão K_2O/Na_2O (<5).

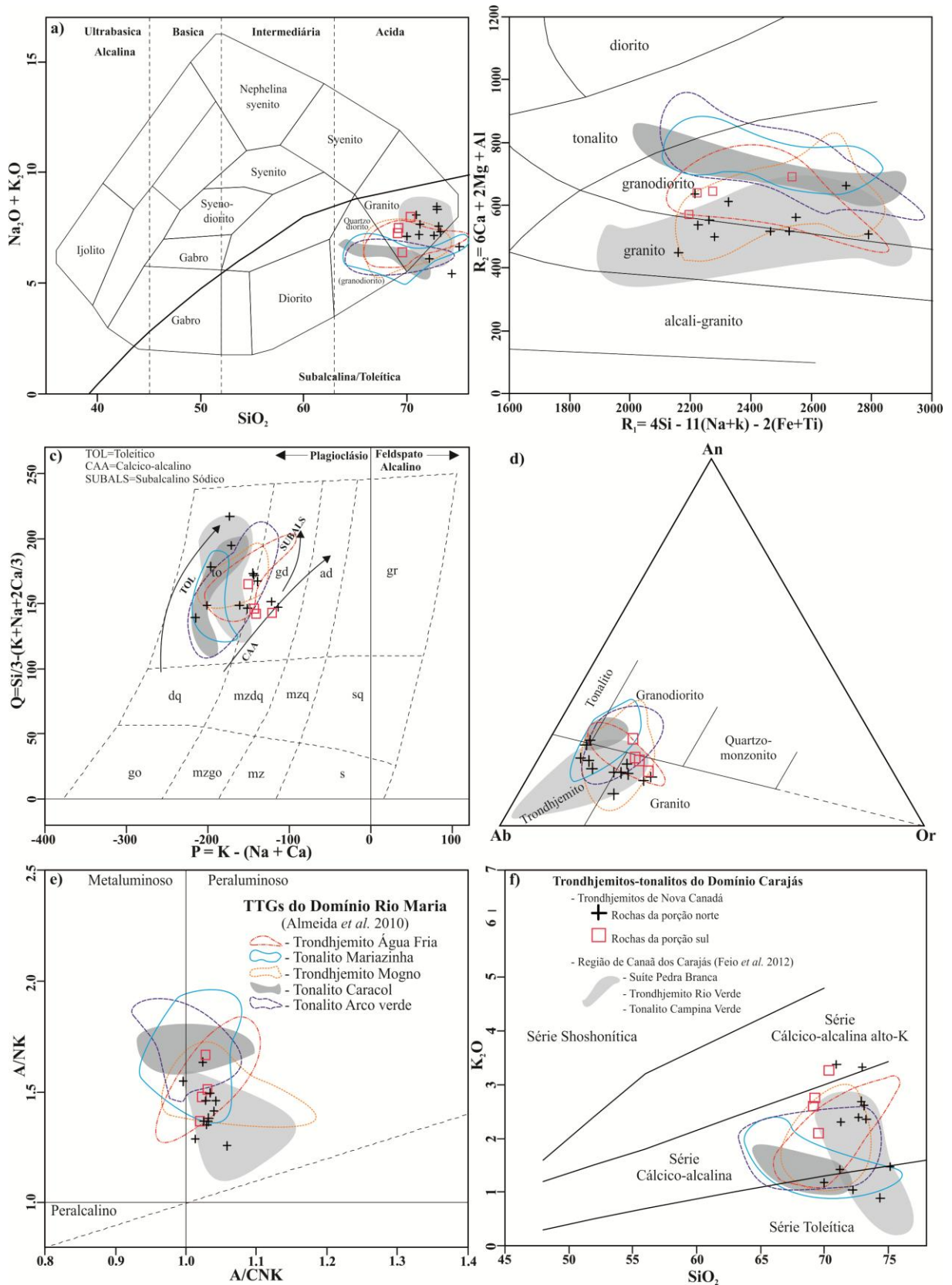
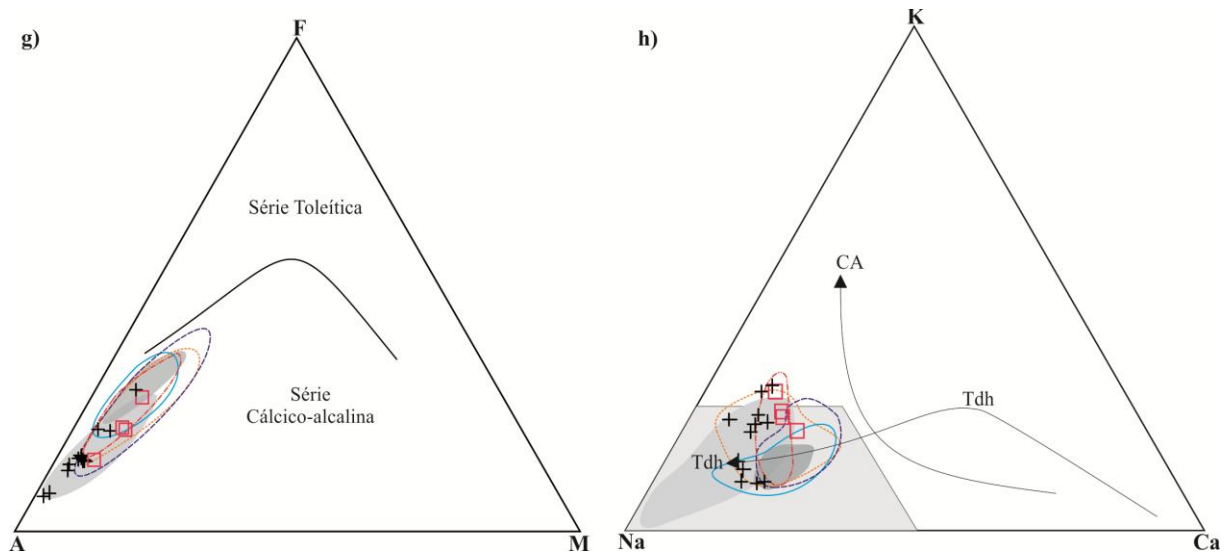


Figura 8. Caracterização geoquímica dos trondhjemitos de Nova Canadá: a) diagrama TAS (Cox et al. 1979); b) diagrama R1-R2 (De La Roche 1980); c) diagrama P-Q (Debon & Le Fort 1988); d) diagrama $[\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]_{\text{mol}}$ vs. $[\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]_{\text{mol}}$ (Shand 1950); e) diagrama K_2O vs. SiO_2 (campos de Peccerillo & Taylor 1976); f) diagrama AFM (A = $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; F = $\text{FeO} + 0,9 * \text{Fe}_2\text{O}_3$; M = MgO) com campos de Irvine & Baragar (1971); g) diagrama K-Na-Ca; campo Tdh dos TTGs típicos (Martin 1994), Tdh = trend trondhjemítico de Barker & Arth (1976) e CA = trend cálcio-alcalino; h) diagrama Ab-An-Or normativo

(O'Connor 1965; com campos de Barker 1979). Em todas as figuras constam os campos de granitos afins no Domínio Rio Maria e área de Canaã dos Carajás.

Continuação Figura 8.



DISCUSSÕES

As características geoquímicas dos trondhjemitos de Nova Canadá mostram fortes similaridades com as unidades afins tanto do Domínio Carajás quanto do Domínio Rio Maria, as quais são reportadas na literatura como pertencentes às típicas associações TTG (Almeida *et al.* 2011, Feio *et al.* 2012). Entretanto, o caráter levemente peraluminoso das rochas de Nova Canadá (Figura 8e), contrastam com aquele meta- a peraluminoso dos TTGs de Rio Maria, e às aproximam das rochas da área de Canaã dos Carajás. Nos diversos diagramas utilizados para comparação, tanto para elementos maiores quanto para elementos traços, nota-se uma forte superposição das amostras dos trondhjemitos de Nova Canadá com os campos definidos pelas rochas de Canaã dos Carajás, enquanto que em relação às unidades TTGs de Rio Maria, as rochas estudadas mostram maior afinidade com os trondhjemitos Mogno e Água Fria, dado pelo maior enriquecimento em K de suas amostras em relação aquelas dos tonalitos Arco verde, Caracol e Mariazinha, restringindo suas semelhanças com as variedades tonalíticas apenas aos seus membros mais enriquecidos em SiO₂.

Em alguns dos diagramas discutidos acima, é possível separar claramente os trondhjemitos da área de Nova Canadá em dois grupos. Aqueles da porção sul são mais enriquecidos em óxidos de elementos compatíveis em magmas graníticos (Fe₂O₃, MgO, TiO₂ e CaO), além de Zr e Rb, em relação aos trondhjemitos da porção norte da área. Estes grupos podem ser divididos ainda naqueles com altas e baixas razões Rb/Sr e Sr/Ba, onde o trondhjemito da porção sul possui alta razão Rb/Sr e baixa razão Sr/Ba, enquanto que aquele

da parte norte da área apresenta baixa razão Rb/Sr e variações de alta a baixa razão Sr/Ba. Nota-se a partir do comportamento destes elementos que os trondhjemitos da porção sul da área possuem maior afinidade geoquímica com os TTGs de Rio Maria, enquanto que aqueles da porção norte são mais afins dos granitoides de Canaã dos Carajás. Isto é corroborado pela configuração dos padrões de ETR destas unidades (Figura 7). Adicionalmente, a disposição dessas amostras em *trends* não-colineares, e por vezes paralelos entre si, sugerem que estas unidades não são comagmáticas.

Os dois grupos de trondhjemitos distinguidos neste trabalho são caracterizados por apresentarem médias a altas razões La/Yb e Sr/Y (Figura 9). O grupo de rochas com altas razões La/Yb e Sr/Y são similares aquelas do Trondhjemito Mogno (Figura 7d), enquanto que aquele com valores médios dessas razões, possuem forte correlação com o Trondhjemito Água Fria (Figura 7e), ambos descritos no Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2011, Ronaib & Oliveira submetido). Comportamento similar para estas razões também é observado nas rochas de Canaã dos Carajás (Figura 9). A ausência de rochas com baixas razões La/Yb (Figura 7f) e Sr/Y (Figura 9), que são frequentes nas variedades tonalíticas de Rio Maria, podem confirmar a ausência destes litotipos na região de Nova Canadá, que seria então formada essencialmente por rochas trondhjemíticas, como já discutido neste trabalho.

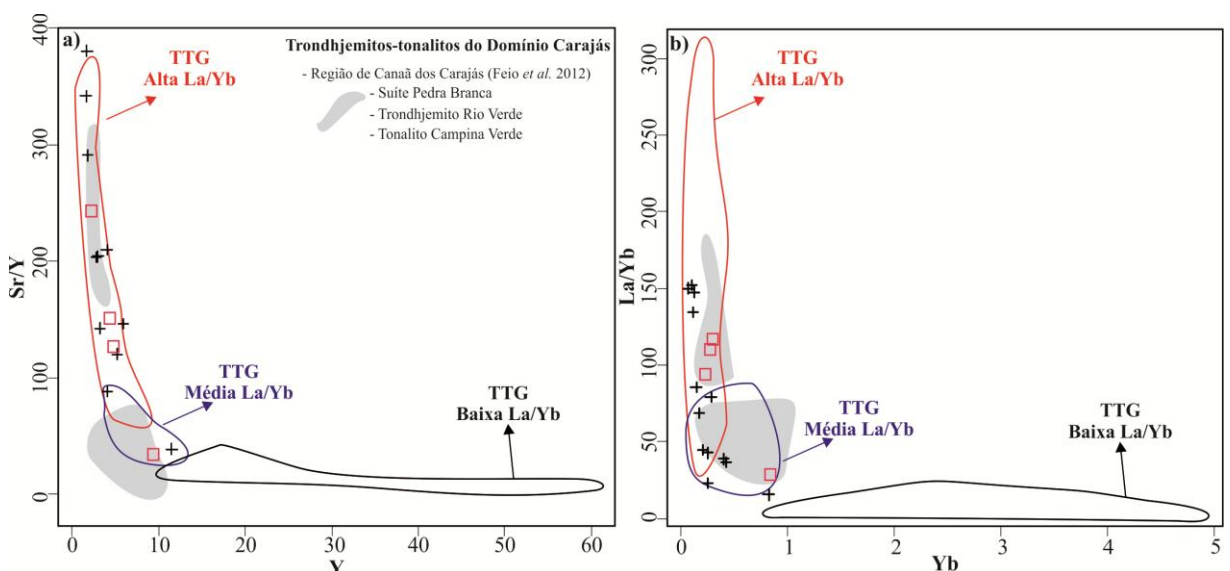


Figura 9. Diagramas utilizando razão Sr/Y vs. Y e La/Yb vs. Yb para as rochas dos trondhjemitos de Nova Canadá: (a) Razão Sr/Y vs. Y; (b) La/Yb vs. Yb. São realizadas comparações com os campos dos TTGs de alta, média e baixas razões La/Yb baseadas nas rochas das suítes TTGs do Domínio Rio Maria (Almeida *et al.* 2011), e o campo de ocorrência dos trondhjemitos de Canaã dos Carajás, no Subdomínio de Transição (Feio *et al.* 2012).

O comportamento distinto das razões La/Yb para os trondhjemitos de Nova Canadá estaria relacionado com a profundidade e pressão em que seus magmas foram gerados e/ou ligeiras diferenças nas fontes dessas rochas (Moyen *et al.* 2007, Halla *et al.* 2009 e Almeida *et*

al. 2011). Aquelas com altas razões La/Yb e Sr/Y foram provavelmente formadas no campo de estabilidade da granada em altas pressões (~15 kbar) a partir da fusão parcial de crosta oceânica em zonas de subducção, enquanto que as amostras com conteúdos médios dessas razões foram formadas provavelmente em condições de pressão intermediária, próximo do limite do campo de estabilidade da granada com o plagioclásio (10–15 kbar). Aliado a isto, o padrão côncavo dos ETR pesados observado para as rochas do trondhjemitito da parte norte da área estudada (Figura 7a), indica que para a geração das mesmas, o anfibólio pode ter sido uma importante fase fracionante, e a ausência de anomalias negativas de Eu ($Eu/Eu^* = 0,72 - 2,24$) sugere a retenção do plagioclásio na fonte.

CONCLUSÕES

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 (Figura 2), a partir das seguintes conclusões:

(1) Além das volumosas unidades leucograníticas distinguidas em outro momento (Santos & Oliveira em preparação), na região de Nova Canadá também foram individualizadas rochas sódicas de composição trondhjemitica, com menor expressão de volume, que eram até então estavam inseridas no contexto dos granitoides indiferenciados do Complexo Xingu. Estes trondhjemitos mostram afinidades geoquímicas semelhantes às típicas associações TTG arqueanas, as quais foram distinguidas em duas unidades distintas: uma que ocorre na porção norte da área estudada e que foi caracterizada como biotita-trondhjemitito, que ocorre sob a forma de estreitas faixas orientadas na direção E-W, representada por rochas que apresentam uma estruturação marcante, com desenvolvimento de feições que indicam atuação de pelo menos dois eventos deformacionais em estágios sin- a pós-magmáticos, como bandamentos composicionais, dobras e indícios de migmatização (anatexia); e a outra, ocorre na parte sul da área, e distingue-se da anterior pela presença da muscovita, saussuritização do plagioclásio, textura equigranular média e atuação discreta da deformação com o desenvolvimento de uma foliação E-W de baixo angulo. A ocorrência restrita das primeiras, aliada à intensa deformação e provável anatexia (migmatitos) sofrida por estas rochas, pode indicar que as mesmas tenham sido afetadas por retrabalhamento crustal, ligado ou não à geração dos leucogranitos descritos na área;

(2) O comportamento geoquímico dos trondhjemitos estudados demonstrou que estes são afins das associações TTG com alto Al_2O_3 (Barker 1979), Na_2O e baixo K_2O , compatíveis com os dos típicos granitoides arqueanos da série cálcio-alcalina trondhjemitica

de baixo potássio (Lameyre & Bowden 1982) ou cálcio-alcálica tonalítica-trondhjemítica (Bowden *et al.* 1984). Exibem ainda padrões 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 e a falta de plagioclásio tanto na fase residual como na fracionante com o aumento da pressão (Martin *et al.* 2005). Além disso, nota-se alguns contrastes composicionais importantes entre as duas variedades trondhjemíticas estudadas, uma vez que aquela da parte sul da área é mais enriquecida em Fe_2O_3 , MgO, TiO_2 , CaO, Zr, Rb, e na razão Rb/Sr em relação aos trondhjemitos da porção norte da área. A disposição dos *trends* evolutivos deste conjunto de rochas sugere que estas unidades não sejam comagmáticas;

(3) Os dois grupos de trondhjemitos distinguidos neste trabalho mostram claras afinidades geoquímicas tanto com as associações trondhjemíticas do Domínio Rio Maria quanto aquelas da região de Canaã dos Carajás. Nota-se porém, que a partir do comportamento das razões La/Yb e Sr/Y, aliado aos principais aspectos texturais e deformacionais dessas rochas, que aquelas das porções norte e sul da área são afins dos trondhjemitos Mogno (altas razões La/Yb e Sr/Y) e Água Fria (moderadas razões La/Yb e Sr/Y) de Rio Maria, respectivamente. Apesar do comportamento ambíguo atestado para as rochas de Canaã dos Carajás quando se utiliza tais razões, nota-se nos demais diagramas geoquímicos a nítida afinidade destas com as rochas trondhjemíticas da porção norte da área de Nova Canadá.

A ausência de rochas com baixas razões La/Yb (Figura 7f) e Sr/Y, que são frequentes nas variedades tonalíticas de Rio Maria, podem confirmar a ausência destes litotipos na região de Nova Canadá, que teria então uma crosta formada essencialmente por rochas trondhjemíticas, como já discutido neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG-IG-UFPA) pelo apoio nas diversas etapas deste trabalho; ao Instituto de Geociências e ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (IG e PPGG - UFPA) pelo suporte técnico; à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor; ao CNPq por concessão de bolsas de produtividade em pesquisa (D. C. Oliveira - Processos no 502074/2009-4 e 311610/2012-9); à Faculdade de Geologia do Campus de Marabá pelo apoio às atividades de campo. Este trabalho é uma contribuição para o convênio Vale/FAPESPA edital 01/2010,

ICAAF: 053/2011 e ao INCT de Geociências da Amazônia (GEOCIAM - CNPq/MCT/FAPESPA – Processo no 573733/2008-2).

REFERÊNCIAS

- 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. *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.
- Avelar, V. G.; Lafon, J. M.; Correia 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*, v. 29, n. 4, p. 453-460.
- 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: F. BARKER (Ed.) *Trondhjemites, dacites and related rocks*. Amsterdam, Elsevier. p.1-12.
- 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*. AGSO Geoscience Australia, pp. 19–24. Record 2003/14.
- Condie K. C. 2005. TTGs and adakites: are they both slab melts? *Lithos*. 80 (1-4): 33-44.
- Cox, K. G., Bell, J. D. & Pankhurst, R. J. 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen & Unwin.
- 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. 1997. In: *South-Amer.Symp. Isot. Geol. Campos do Jordão. Extended abstracts*
- 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. A. C. de; Althoff, F. J.; Leite, A. A. da S. L.; Oliveira, D. C.; Barros, C. E. M., 2006. Archaean 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-UFGA/SBG-NO, p 97-150.
- Dall'AgnoI, R., Oliveira, D. C., 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos* 93, 215–233.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., Marchal, M., 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using RjRj-diagram and major-element analyses — its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology* 29, 183–210.
- Debon, F., Le Fort, P., 1983. A chemical–mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences* 73, 135–149.

- Evensen, N. M., Hamilton, P. T., O’Nions, R. K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochemical et Cosmochemical Acta*, 39:55–64.
- 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/precambres.2012.04.007.
- Feio, G. R. L., 2011. Magmatismo granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, 190 p.
- Gomes, A. C. B., 2003. Geologia, Petrografia e Geoquímica dos Granitoides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 160p. (Tese de Mestrado).
- Gomes, A. C. B.; Dall’Agnol, R. 2007. 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 (CD-ROM).
- 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).
- Hirata W.K., Rigon J.C., Kadokaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.M. 1982. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, Anais, Belém, p.100-110.
- Huhn, S. B.; Macambira, M. J. B; Dall’Agnol, R. 1999. Geologia e Geocronologia Pb/Pb do granito Alcalino Arqueano Planalto, Região da Serra do Rabo, Carajás – PA. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 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.
- Jahn, B. M., Auvray, B., Shen, H. Q., Liu, D. Y., Zhang, Z. Q., Dong, Y. J., Ye, X. J., Zhang, Q. Z., Cornichet, J., Macé, J., 1988. Archean crustal evolution in China: the Taishan complex, and evidence for juvenile crustal addition from long-term depleted mantle, *Precambrian Research* 38, 381-403.
- 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.
- Le Maitre R W. 2002. A classification of igneous rocks and glossary of terms. 2nd Edition, London, 193 p.
- 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.
- Machado, N., Lindenmayer, Z. G., Krogh, T. E., Lindenmayer, D., 1991. U–Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research* 49, 329–354.
- Martin H., 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.
- Martin H.; Chauvel C.; Jahn B.M. 1983. Major and trace element geochemistry and crustal evolution of Archean granodioritic rocks from eastern Finland. *Precambrian Research*, 21: 159-180.

- Martin, H. 1987. Petrogenesis of Archaean trondhjemites, tonalites and granodiorites from eastern Finland: major and trace element geochemistry. *Journal of Petrology* 28 (5), 921-53.
- Martin, H. 1993. The mechanisms of petrogenesis of Archaean continental crust – comparison with modern processes. *Lithos* 30. 373-88.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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., 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, CDrom (in Portuguese).
- Oliveira, M. A. 2003. Caracterização petrográfica, estudo de suscetibilidade magnética e natureza dos minerais óxidos de Fe e Ti do Granito Planalto, Serra dos Carajás-PA. Trabalho de Conclusão de Curso. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 47p.
- Oliveira, M.A., Dall'Agnol, R., Althoff, F. J., Leite, A. A. S., 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite–Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 27, 146–160.
- Peccerillo, A., Taylor, S. R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu 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 granulites facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, 166:159-171.
- Polat, A., 2012. Growth of Archean continental crust in oceanic island arcs. *Geology* 40: 383-384.
- Rollinson H. 2010, Coupled evolution of Archaean continental crust and subcontinental lithospheric mantle: *Geology*, v. 38, p. 1083–1086.
- Ronaibe, C. & Oliveira, D. C. submetido. Geologia, petrografia e geoquímica das associações TTGs e leucogranodioritos do extremo norte do Domínio Rio Maria - Província Carajás.
- Santos, J. O. S., Hartmann, L. A., Gaudette, H. E., Groves, D. I., Mcnaughton, N. J., Fletcher, I. R. 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3:453-488.
- Santos, P. J. L., Oliveira, D. C., Galarza, M. A., Macambira, M. J. B., 2010. Geologia, petrografia e geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu da região de

- Nova Canadá, Município de Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. In: CBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, CDrom.
- Santos, P. J. L. & Oliveira D.C. em preparação. Geologia, petrografia e geoquímica das associações leucograníticas arqueanas da área de Nova Canadá – Província Carajás. In: P. J. L. Santos. Geologia, petrografia e geoquímica das associações leucograníticas e TTG arqueanos da área de Nova Canadá, Subdomínio de Transição, Província Carajás - SE do Pará. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 108p.
- 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, cd rom.
- Shand, S. J., 1950. Eruptive Rocks Their Genesis, Composition, Classification e Their Relation to Ore Deposit, 4 ed. London, 488 pp.
- Silva, A. C., Oliveira, D. C., Macambira, M. J. B., 2010. Individualização e geocronologia de granitoides do Complexo Xingu, região de Vila Jussara, município de Água Azul do Norte - PA, Província Mineral de Carajás. In: CBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, CDrom.
- Silva, A. C. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos da área de Vila Jussara, Província Carajás. Dissertação (Mestrado). Belém: Instituto de Geociências - Universidade Federal do Pará.
- Silva, G. C., Lima, M. I. C., Andrade, A. R. F., Issler, R. S., Guimarães, G. 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC-22 Tocantins. Belém, DNPM, v.4, p.1-143.
- Souza, Z. S. & Dall’Agnol, R. 1995c. Geochemistry of metavolcanic rocks in the Archean greenstone belt of Identidade, SE Pará, Brazil. An. Acad. Bras. Cienc., 76:217-233.
- 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.
- Stevens R.E., Nell S.T., Roberson C.E. 1960. Gravimetric conversion factors, and other data used in interpreting analyses of rocks, minerals and waters. GeoTimes, v. 4, nº 7, p.41.
- Streckeisen, A. L. 1976. To each plutonic rock its proper name. Earth Science Review, 12:1-33.
- Tassinari, C. G. & Macambira, M. J. B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. Episodes, 22(3):174-182.
- Tassinari, C. C. G., Macambira, M. J. B., 2004. A evolução tectônica do Craton Amazonico. In: Mantesso-Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Eds.), Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques Almeida, São Paulo, pp. 471–486.
- Taylor, S. R. & McLennan, S. M. 1995. The geochemical evolution of the continental crust. Review of Geophysics 33, 241-65.
- Vasquez, L. V.; Rosa-Costa, L. R.; Silva, C. G.; Ricci, P. F.; Barbosa, J. O.; Klein, E. L.; Lopes, E. S.; Macambira, E. B.; Chaves, C. L.; Carvalho, J. M.; Oliveira, J. G.; Anjos, G. C.; Silva, H. R. 2008b. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Organizadores, Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM.

CAPITULO IV

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das observações de campo, dos dados petrográficos e geoquímicos gerados e discutidos neste trabalho, assim como aqueles disponíveis na literatura, foi possível estabelecer um novo quadro geológico para a área de Nova Canadá, com mudanças significativas ao que foi sugerido anteriormente (Figura 2). Dentro do que era considerado como domínio de ocorrência dos granitoides do Complexo Xingu, foram identificadas ocorrências expressivas de associações leucograníticas, com frequentes relíquias de uma crosta TTG retrabalhada. Tais associações mostram diferentes níveis de recristalização, como resposta à deformação neoarqueana relacionada à inversão da Bacia Carajás (Pinheiro & Holdsworth, 1997).

Os leucogranitos identificados na área de Nova Canadá apresentam variações texturais e composicionais, que levaram a uma clara distinção dentre aqueles que ocorrem nas porções centro-sul e norte da área, onde encontra-se as localidades de Nova Canadá e Velha Canadá, respectivamente. Aqueles de Nova Canadá são mais expressivos e são formados por leucogranodioritos de textura seriada, com moderado grau de recristalização, e dominam até o limite com o *greenstone belt* Sapucaia, a sul (Figura 2), enquanto que aqueles de Velha Canadá são granodioritos e monzogranitos ricos em quartzo modal, de textura equigranular média, fortemente deformados, que ocorrem restritamente a norte de Nova Canadá e imediatamente ao sul das rochas do Diopsídio-Norito Pium. Evidências de contatos intrusivos entre estas unidades são ausentes, os quais são marcados pela atuação de extensas zonas de cisalhamento E-W de cinemática sinistral. As variedades trondhjémíticas individualizadas na área de pesquisa mostraram afinidades geoquímicas com as típicas associações TTG arqueanas, as quais foram distinguidas em duas unidades distintas: uma que ocupa a porção norte de Nova Canadá e que foi caracterizada como biotita-trondhjemitó, que ocorre sob a forma de estreitas faixas orientadas na direção E-W, representada por rochas que apresentam uma estruturação marcante, com desenvolvimentos feições que indicam atuação de pelo menos dois eventos deformacionais em estágios sin- a pós-magmáticos, como bandamentos composicionais, dobras e indícios de migmatização (anatexia); e a outra, ocorre na parte sul da área, e distingue-se da anterior pela presença da muscovita, saussuritização do plagioclásio, textura equigranular média e atuação discreta da deformação com o desenvolvimento de uma foliação E-W de baixo ângulo. A ocorrência restrita das primeiras, aliada à intensa

deformação e provável anatexia (migmatitos) sofrida pelas mesmas, podem indicar que estas rochas tenham sido afetadas por um retrabalhamento crustal, ligado ou não à geração dos leucogranitos descritos na área.

O comportamento geoquímico observado para estes dois grupos de leucogranitos são claramente divergentes. Enquanto as rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá são mais enriquecidas em Al_2O_3 , CaO , Na_2O , Ba , Sr e na razão Sr/Y , aquelas do Leucogranito Velha Canadá mostram conteúdos mais elevados de SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , Rb , HFSE (Zr , Y e Nb), das razões $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$, Ba/Sr e Rb/Sr . O baixo conteúdo de minerais acessórios, como allanita e zircão, reflete diretamente no comportamento dos elementos traços das rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá (baixas razões La/Yb ; Rollinson, 1993). Apesar dos padrões de ETR destas rochas mostrarem um enriquecimento ETRL em relação aos ETRP, o que indica maior fracionamento destes últimos durante a formação e/ou diferenciação de seus magmas, os padrões de ETR apresentados por estas rochas também apontam para a existência de duas unidades leucograníticas bastante distintas. As amostras do Leucogranodiorito Nova Canadá configuram padrões de ETR levemente fracionados, com baixas razões $(\text{La}/\text{Yb})_N$ e anomalias Eu ausentes ou discretas, já aquelas do Leucogranito Velha Canadá são mais enriquecidas em ETR, e caracterizam-se por apresentar dois padrões distintos de ETR: (i) baixas a moderadas razões $(\text{La}/\text{Yb})_N$ com anomalias negativas de Eu acentuadas; e (ii) moderadas a altas razões $(\text{La}/\text{Yb})_N$, com anomalias discretas de Eu e um padrão côncavo dos ETRP.

Os padrões de ETR apresentados por estes grupos, sugerem que para as rochas do Leucogranito Velha Canadá, fases com alta afinidade por ETRP, como anfibólio e/ou granada, ocorreram no resíduo da fusão, e que o plagioclásio foi uma importante fase fracionante durante a evolução magmática das mesmas, dado a intensidade das anomalias negativas de Eu , tendo participação restrita dentre as fases fracionantes nas rochas de moderada a alta razão $(\text{La}/\text{Yb})_N$, o que resultaria em anomalias de Eu nulas ou discretas (cf. Ragland 1989, Rollinson 1993). Os diferentes padrões de ETR encontrados nestas rochas podem sugerir que as mesmas foram originadas a partir de diferentes graus de fusão de uma mesma fonte, ou que seus líquidos foram gerados em diferentes níveis crustais. Por sua vez, o discreto fracionamento de ETRP e anomalia de Eu identificados nas rochas do Leucogranodiorito Nova Canadá, indicam a ausência de anfibólio no resíduo da fusão e a mínima participação do plagioclásio como fase fracionante para a geração das mesmas. Vários autores atribuem a presença ou ausência desses minerais no resíduo a diferentes

condições de pressão atuantes durante a fusão de protólitos crustais (Rapp *et al.* 1991, Rapp & Watson 1995, Almeida *et al.* 2010, Chappell *et al.* 2012).

Os padrões geoquímicos distinguidos para as rochas leucograníticas da área de Nova Canadá se assemelham, sob diversos aspectos, aos diferentes corpos de leucogranitos mesoarqueanos da Província Carajás e de outros crátons. Aqueles atribuídos ao Leucogranito Velha Canadá mostram fortes afinidades com os leucogranitos potássicos (granitos Xinguara e Mata Surrão) do Domínio Rio Maria, e com as variedades distinguidas nos granitos Cruzadão, Bom Jesus e Serra Dourada de Canaã dos Carajás, além daqueles do Cráton Dhawar e dos de baixo-Ca do Cráton Yilgarn. Já os padrões fornecidos pelas amostras do Leucogranodiorito Nova Canadá, são claramente afins daqueles dos leucogranodioritos-granitos de alto Ba e Sr da Suíte Garantã de Rio Maria, assim como dos TTGs transicionais de alto-Ca dos crátons Yilgarn e da Tanzânia. A assinatura geoquímica dessas rochas também às aproximam dos subgrupos CA1 (Nova Canadá) e CA2 (Velha Canadá) de granitos cálcio-alcalinos de Sylvester (1994).

O comportamento geoquímico apresentado pelo trondhjemitos estudados demonstrou que estes são afins das associações TTG com alto Al_2O_3 (Barker 1979), Na_2O e baixo K_2O , compatíveis com os dos típicos granitoides arqueanos da série cálcio-alcalina trondhjemítica de baixo potássio (Lameyre & Bowden 1982) ou cálcio-alcalina tonalítica-trondhjemítica (Bowden *et al.* 1984). Exibem ainda padrões 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 a magmas gerados por fusão parcial de uma fonte máfica em diferentes profundidades, com aumento da influência da granada no resíduo e a falta de plagioclásio tanto na fase residual como na fracionante com o aumento da pressão (Martin *et al.* 2005). Além disso, notam-se alguns contrastes composicionais importantes entre as duas variedades trondhjemíticas estudadas, uma vez que aquela da parte sul da área é mais enriquecida em Fe_2O_3 , MgO, TiO_2 , CaO, Zr, Rb, e na razão Rb/Sr em relação aos trondhjemitos da porção norte da área. A disposição dos *trends* evolutivos deste conjunto de rochas sugere que estas unidades não sejam cogenéticas ou comagmáticas.

Os dois grupos de trondhjemitos distinguidos neste trabalho mostram claras afinidades geoquímicas tanto com as associações trondhjemíticas do Domínio Rio Maria quanto aquelas da região de Canaã dos Carajás. Nota-se, porém, que a partir do comportamento das razões La/Yb e Sr/Y, aliado aos principais aspectos texturais e deformacionais dessas rochas, que aquelas das porções norte e sul da área são afins dos trondhjemitos Mogno (altas razões La/Yb e Sr/Y) e Água Fria (moderadas razões La/Yb e Sr/Y) de Rio Maria, respectivamente.

Apesar do comportamento ambíguo atestado para as rochas de Canaã dos Carajás quando se utiliza tais razões, nota-se nos demais diagramas geoquímicos a nítida afinidade destas com as rochas trondhjemíticas da porção norte da área de Nova Canadá. A ausência de rochas com baixas razões La/Yb e Sr/Y, que são frequentes nas rochas tonalíticas de Rio Maria, indica a formação de uma crosta primitiva essencialmente trondhjemítica para esta porção da Província Carajás.

As afinidades geoquímicas entre as rochas da área de Nova Canadá com aquelas do Domínio Mesoarqueano Rio Maria, poderiam nos levar a entender a região de Nova Canadá como uma extensão para norte deste domínio. As idades Pb-Pb em zircão obtidas para estas unidades, de fato sugerem que o Leucogranodiorito de Nova Canadá tenha se formado durante o Mesoarqueano (2895 ± 2 – 2857 ± 2 ; Oliveira *et al.* 2010), porém, aquelas obtidas para o Leucogranito Velha Canadá são mais jovens, e sugerem que este tenha sido gerado já no Neoarqueano (2747 ± 2 Ma; Santos *et al.* 2010), durante à formação da Bacia Carajás, e provavelmente associado ao mesmo evento térmico responsável pela geração dos granitos neoarqueanos tipo Planalto (Feio *et al.* 2012), o que descartaria a hipótese de associar a geração das rochas de Velha Canadá aos mesmos eventos tectono-magmáticos que atuaram em Rio Maria. A mudança no limite tectônico entre os domínios Carajás e Rio Maria, com extensão deste último para norte, até a localidade de Nova Canadá, só poderá ser confirmada a partir da obtenção de dados geocronológicos e isotópicos mais consistentes.

REFERÊNCIAS

- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17:1-29.
- Almeida, J. A. C.; Oliveira, M. A.; Dall'Agnol, R.; Althoff, F.J.; Borges, R.M.K. 2008. "Relatório de mapeamento geológico na escala de 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. *Lithos* 120, 235–257.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.B., Pimentel M.M., Râmô 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.
- Araújo O.J.B., Maia R.G.N., Jorge João X.S., Costa J.B.S. 1988. A megaestrutura arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: SBG, Congresso Latino-Americano de Geologia, 7, Anais, Belém, p.324-338.
- Araújo, O. J. B., Maia, R. G. N., 1991. Serra dos Carajás, Folha SB-22-Z-A. Relatório Final. CPRM, Rio de Janeiro, 136p.
- Avelar V.G. 1996. Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia Oriental. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 149p.
- Avelar, V. G.; Lafon, J. M.; Correia 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*, v. 29, n. 4, p. 453-460.
- Barbosa J.P.O. 2004. Geologia Estrutural, Geoquímica, Petrografia e Geocronologia de granitoides da região do Igarapé Gelado, norte da Província Mineral de Carajás. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 96p.
- Bard J.P. 1980. *Microtextures of igneous and metamorphic rocks*. Tokyo, D. Reidel Publishing Company, 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., 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. In: Servicio Nacional de Geologia Y Minería, Simposio Sudamericano de Geologia Isotopica, 3, Resumos Expandidos, Pucon, Chile, CD-ROM.
- Barros C.E.M., Macambira M.J.B., Barbey P., Scheller T. 2004. Dados isotópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: implicações petrológicas e tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(4):531-538.
- Barros C.E.M., Sardinha A.S., Barbosa J. P. O., Macambira M.J.B., Barbey P., Boullier A.M. 2009. Structure, Petrology, Geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb Geochronology of the Synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type Granites from the Carajás Metallogenic Province, Northern Brazil. *The Canadian Mineralogist*, 47:1423-1440.
- Chayes F. 1956. Petrographic modal analysis: an elementary statistical appraisal. New York, John Wiley e Sons, 113p.
- Cordani U.G., Tassinari C.C.G., Kawashita K.A. 1984. Serra dos Carajás como região limítrofe entre províncias tectônicas. *Ciências da Terra*, 9:6-11.
- Cordani U.G. & Sato K. 1999. Crustal evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematic on granitic rocks. *Episodes*, 22(3):167-173.
- Cordeiro A.C. & Saueressig R. 1980. Serra das Andorinhas: Geologia e Principais ocorrências de Ouro. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Resumos, Camboriú, Boletim 2, p.344.
- Costa J.B.S, Araújo O.J.B., Jorge João X.S., Maia R., Macambira E. M.B., Vale A.G., Santos A., Pena Filho J.I.C., Neves A.P. 1994. Panorama tectono-estrutural da região sudeste do Estado do Pará. In: SBG, Simpósio Geologia da Amazônia, 4, Resumos, Belém, p.314-317.
- Cox, K. G., Bell, J. D. & Pankhurst, R. J. (1979). *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen & Unwin.
- Dall'Agnol R. 1982. Maciço Jamon: Evolução petrológica de um granito da Amazônia Oriental. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, Anais, Belém, v.2, p.139-161.

- 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., Scaillet B., Pichavant M. 1999. 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.; Oliveira, M. A. de; Almeida, J. A. C. de; Althoff, F. J.; Leite, A. A. da S. L.; Oliveira, D. C.; Barros, C. E. M., 2006. Arquean 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-UFPA/SBG-NO, p 97-150.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Grandclaude, P., Marchal, M., 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using RjRj-diagram and major-element analyses — its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology* 29, 183–210.
- 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. 2009. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica de granitos Arqueanos da Folha Marajoara, terreno granito–greenstone de Rio Maria, sudeste do Pará. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 129p.
- DOCEGEO 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Província Mineral de Carajás-Litoestratigrafia e principais depósitos minerais, Anexo aos anais, CVRD, Belém, p.11-59.
- Evensen N.M., Hamilton P.T., O'Nions R.K. 1978. Rare earth abundances in chondritic meteorites. *Geochemical et Cosmochemical Acta*, 39:55–64.
- Faresin, A. C., Oliveira, D. C., Macambira, M. J. B. 2010. Geologia, e geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu e da Sequência Greenstone Belt da região de Nova Canadá, Província Mineral de Carajás, In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, Anais, Belém, CDrom.
- Feio, G. R. L., 2011. Magmatismo granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: Implicações para a evolução crustal da Província Carajás. Dr. Thesis, Programa de Pós-

- graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, 190 pp.
- 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/precambres.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. submetido. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos de alto magnésio da região de Água Azul do Norte, porção sul do Domínio Carajás. In: E.O. Gabriel. Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética dos granitoides arqueanos da porção nordeste de Água Azul do Norte (PA) – Província Carajás. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 108p.
- Gomes, A. C. B., 2003. Geologia, Petrografia e Geoquímica dos Granitoides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 160p. (Tese de Mestrado).
- Gomes, A. C. B.; Dall’Agnol, R. 2007. 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 (CD-ROM).
- Guimarães F. V. 2009. Geologia, petrografia e geoquímica do trondhjemito Mogno e rochas arqueanas associadas, terreno granito–greenstone de Rio Maria - SE do Pará. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 102p.
- Harker A. 1965. The natural history of igneous rocks. New York. Macmillan, 384p.
- Heilimo, E., Halla, J., Höltta, P., 2010. Discrimination and origin of the sanukitoid series: geochemical constraints from the Neoproterozoic western Karelian Province (Finland). *Lithos* 115, 27–39.
- Hibbard M. J. 1995. Petrography to Petrogenesis. New Jersey, Prentice-Hall, Incorporation, 587p.

- Hirata, W. K.; Rigon, J. C.; Kadokaru, K.; Cordeiro, A. A. C., Meireles, E. M. 1982. Geologia Regional da Província Mineral de Carajás. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, Belém, 1982. Anais..., Belém, SBG. V. 1, p. 100-110.
- Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - sul do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Anais, Belém, v.3, p.1438-1453.
- Huhn, S. B.; Macambira, M. J. B; Dall'Agnol, R. 1999. Geologia e Geocronologia Pb/Pb do granito Alcalino Arqueano Planalto, Região da Serra do Rabo, Carajás – PA. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 6. Manaus, Anais...SBG. (1). p. 463-466.
- Hutchison C.S. 1974. Laboratory handbook of petrography techniques. London, John Wiley e Sons, 527p.
- Ianhez A.C., Souza A.M.S., Montalvão R.M.G. 1980. Geologia da seqüência vulcano-sedimentar da Serra do Inajá – Santana do Araguaia. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Anais, Camboriú, v.5, p.2918-2928.
- 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.
- Jorge João X.S., Neves A.P., Leal J.W.L. 1982. Ouro da Serra Pelada: aspectos da geologia e garimpagem. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, Anais, Belém, v.2, p.52-62.
- Jorge João X.S. & Araújo J.B., 1992. Magmatismo granítico sin-cisalhamento Itacaiúnas no SW do Estado do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, Resumos expandidos, São Paulo, v.2, p.36-38.
- Kerr P. 1959. Optical Mineralogy. New York, McGraw-Hill Book Co., (3rd ed.), 492p.
- 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.
- Le Maitre R W. 2002. A classification of igneous rocks and glossary of terms. 2nd Edition, London, 193 p.

- Leite A.A.S. & Dall'Agnol R. 1994. Estratigrafia e aspectos geológicos da região de ocorrência do Granito Xinguara (SE do Pará). In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 4, Boletim de Resumos Expandidos, Belém, p.325-327.
- Leite, A.A.S., 2001. Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitoides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico. Federal University of Para. 330p. PhD Thesis. Graduated Program on Geology and Geochemistry, Institute of Geosciences (in Portuguese).
- Leite A.A.S., Dall'Agnol R., Macambira M.J.B., Althoff F.J. 2004. Geologia e geocronologia dos granitoides arqueanos da região de Xinguara-PA e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Cráton Amazônico. Revista Brasileira de Geociências, 34(4):447-458.
- Lima F.D. & Pinheiro R.V.L., 2001. Formação Gorotire: Consideração sobre uma unidade siliciclástica particular da Serra dos Carajás-PA. In: Reis, N.J & Monteiro, M.A.S. Contribuição à Geologia da Amazônia. SBG, Núcleo Norte, Manaus, v.2, p.205-229.
- Macambira J.B., Ramos J.F.F., Assis, J.F.P., Figueiras, A.J.M. 1990. Projeto Serra Norte e Projeto Pojuca: relatório final. SEPLAN/DOCEGEO/UFPA, DNPM/DOCEGEO/UFPA, Belém, 150p.
- Macambira M.J.B. & Lancelot J. 1991. Em busca do embasamento arqueano da região de Rio Maria, sudeste do Estado do Pará. In: RBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, Resumos Expandidos, Belém, p.49-58.
- Macambira, M.J.B. & Lafon, J.M., 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: Síntese dos dados e novos desafios. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, 7: 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.
- Macambira, M. J. B., Barros, C. E. M., Silva, D. C. C., Santos, M. C. C. 2001. Novos dados geológicos e geocronológicos para a região ao norte da Província de Carajás, evidências para o estabelecimento do limite Arqueano-Paleoproterozóico no sudeste do Cráton Amazônico. Simpósio de Geologia da Amazônia, vol. 7, Sociedade Brasileira de Geologia, Belém, Brazil, Resumos Expandidos, CDROM.
- Macambira, M. J. B., Silva, D. C. C., Scheller, T., Barros, C. E. M. 2003. New isotope evidences confirming the existence of a Paleoproterozoic terrain in the region at the north

- of the Carajas Mineral Province. In: CBPM, Simp. Sul-Amer. Geol. Isotópica, 4, Salvador, vol. 1, p. 205-206.
- Macambira, M.J.B., Silva, D.C.C.; Vasquez, M.L.; Barros, C.E.M. 2004. Investigação do Limite Arqueano-Paleoproterozóico ao Norte da Província de Carajás, Amazônia Oriental. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 43. Abstracts, p.1170.
- Machado, N., Lindenmayer, Z.G., Krogh, T.E., Lindenmayer, D., 1991. U–Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research* 49, 329–354.
- Mackenzie W.S., Donaldson C.H., Guilford C. 1982. Atlas of igneous rocks and textures. London, Longman, 148p.
- Martin, H. 1994. The Archean grey gneisses and the gneisses of continental crust. In: K.C. Condie (Ed.) *Developments in Precambrian Geology. Archeancrustal Evolution*, vol.11, Elsevier, Amsterdam, p.205-259.
- Medeiros Filho, C.A. & Meireles E.M. 1985. Dados preliminares sobre a ocorrência de cromita na área de Luanga. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 2, Atas, Belém, v.3, p.1488-1499.
- Medeiros H. & Dall’Agnol R. 1988. Petrologia da porção leste do batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Anais, Belém, v.3, p.1488-1499.
- Meireles E.M., Teixeira J.T., Medeiros Filho C.A. 1982. Geologia preliminar do depósito de ouro de Serra Pelada. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 1, Anais, Belém, v.2, p.74-84.
- 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.
- Nascimento F.G.C. 2006. Petrologia magnética das associações magmáticas arqueanas da Região de Canaã dos Carajás – PA. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 177p.
- Nogueira A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás. Redescrição e redefinição. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 7:177-197.

- O'Connor J.T. 1965. A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. US Geological Survey Professional Papers, 525B:79-84.
- Oliveira D. C. 2001. Geologia, geoquímica e petrologia magnética do Granito Paleoproterozoico Redenção, SE do Cráton Amazônico. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 207p.
- 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, CDrom (in Portuguese).
- Oliveira, M. A. 2003. Caracterização petrográfica, estudo de suscetibilidade magnética e natureza dos minerais óxidos de Fe e Ti do Granito Planalto, Serra dos Carajás-PA. Trabalho de Conclusão de Curso. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 47p.
- Oliveira, M.A., Dall'Agnol, R., Althoff, F.J., Leite, A.A.S., 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite–Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* 27, 146–160.
- Opiyo-Akech, N., Tarney, J., Hoshino, M., 1999. Petrology and geochemistry of granites from the Archaean terrain north of Lake Victoria, western Kenya. *Journal of African Earth Sciences* 29 (2), 263–300.
- Passchier C.W. & Trouw R.A.J. 1996. *Microtectonics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 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: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Boletim de Resumos Expandidos, Camboriú, p.390-391.

- Pinheiro R.V. & Holdsworth R.E. 2000. Evolução tectonoestratigráfica dos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Craton Amazônico, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 30:597-606.
- Prabhakar, B.C., Jayananda, M., Shareef, M., Kano, T., 2009. Petrology and geochemistry of Late Archean granitoids in the northern part of Eastern Dharwar, southern India: implications for transitional geodynamic setting. *Journal of the Geological Society of India* 74, 299–317.
- Ragland P.C. 1989. *Basic analytical Petrology*. 2. New York, Oxford University Press.
- Ricci, P.S.F.; Costa, E.J.S.; Oliveira, J.R. 2003. The reanalyzed Carajás block is interposed between the Bacajá (the crustal reworking “lost link” now being predicted) and Rio Maria Archean terranes – Guaporé Craton. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 8, Manaus. Resumos Expandidos, Manaus, SBG. CD ROM.
- 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.
- 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.
- Rodrigues E.M.S., Lafon J.M., Scheller T. 1992. Geocronologia Pb-Pb em rochas totais da Província Mineral de Carajás: primeiros resultados. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, Resumos, São Paulo, v.2, p.183-184.
- Rolando A.P & Macambira M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. In: South American Symposium on Isotope Geology, 4, Expanded Abstracts, Salvador, CD-ROM.
- Rollinson H. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, Zimbabwe, p.1-344.
- 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 M.G.S. 2002. Estudo dos isótopos de Pb e Nd do Depósito de Cu-Au (U-ETR) Alemão, Província Mineral de Carajás (PA). Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-

- graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 126p.
- Santos, P. A., Feio, G. R. L., Dall'Agnol, R., Costi, H. T., Lamarão, C. N., Galarza, M. A. 2013. Petrography, magnetic susceptibility and geochemistry of the Rio Branco Granite, Carajas Province, southeast of Pará, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 43 (1): 2-15.
- Santos P. J. L. 2009. Geologia, petrografia e geocronologia dos granitoides do Complexo Xingu da região de Vila Nova Canadá, porção NE do município de Água Azul do Norte- Província Mineral de Carajás. Trabalho de Conclusão do Curso. FAGEO. Marabá: Universidade Federal do Pará, 130p.
- Santos, P. J. L., Oliveira, D. C., Galarza, M. A., Macambira, M. J. B., 2010. Geologia, petrografia e geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu da região de Nova Canadá, Município de Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. In: CBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, CDrom.
- Santos, R. D., Borges, R. M. K., Oliveira, D. C., 2008. Mapeamento geológico e estudo do Complexo Pium, na região de Vila Feitosa, Canaã dos Carajás. Programa institucional de bolsas de iniciação científica (PIBIC)-Interior. UFPA.
- 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.
- Sardinha A.S. 2002. Geologia, geoquímica e geocronologia do Granito Serra do Rabo, Província Mineral de Carajás. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 118p.
- 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, cd rom.
- Shand S.J. 1950. Eruptive rocks their genesis, composition, classification and their relation to ore deposit. 4ed., London, 488p.
- Silva G.C., Lima M.I.C., Andrade A.R.F., Issler R.S., Guimarães G. 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC-22 Tocantins. Belém, DNPM, v.4, p.1-143.
- Silva, A. C., Oliveira, D. C., Macambira, M. J. B., 2010. Individualização e geocronologia de granitoides do Complexo Xingu, região de Vila Jussara, município de Água Azul do

- Norte - PA, Província Mineral de Carajás. In: CBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, CDrom.
- Sousa, S. D., Oliveira, D. C., Gabriel, E. O., Macambira, M. J. B., 2010. Geologia, petrografia e geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu da porção a leste da cidade de Água Azul do Norte (PA) – PMC. In: CBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, CDrom.
- 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.
- Stevens R.E., Nell S.T., Roberson C.E. 1960. Gravimetric conversion factors, and other data used in interpreting analyses of rocks, minerals and waters. *GeoTimes*, v. 4, nº 7, p.41.
- Strecheiesen A. 1976. To each plutonic rocks its proper name. *Earth Sci. Rev.*, 12:1-33.
- Sylvester, P.J., 1989. Post-collisional alkaline granites. *Journal of Petrology*, 97:261-280.
- Tassinari C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22(3):174-182.
- Vasquez M.L.; Macambira, M.J.B.; Galarza, M.A. 2005. Granitoides Transamazônicos da Região Iriri-Xingu, Para - Novos Dados Geológicos e Geocronológicos. In: V. Souza and A.C. Horbe (Eds.). *Contribuições à Geologia da Amazônia*, 4: 16-31.
- Vasquez, L. V.; Rosa-Costa, L. R.; Silva, C. G.; Ricci, P. F.; Barbosa, J. O.; Klein, E. L.; Lopes, E. S.; Macambira, E. B.; Chaves, C. L.; Carvalho, J. M.; Oliveira, J. G.; Anjos, G. C.; Silva, H. R. 2008b. Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Organizadores, Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM.
- Vernon R. H. 2007. Problems in identifying restite in S-type granites of southeastern Australia, with speculations on sources of magma and enclaves. *Canadian Mineralogist*; 45:147-178.