



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 596

**PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DO GRANITO MANDA
SAIA, PROVÍNCIA CARAJÁS**

Dissertação apresentada por:

MARCELO REIS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira (UFPA)

**BELÉM-
PARÁ 2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237p Santos, Marcelo Reis.
Petrografia e geoquímica do Granito Manda Saia, Província
Carajás / Marcelo Reis Santos. — 2020.
xi,42 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia
e Geoquímica, Belém, 2020.

1. Manda Saia. 2. Anarogênico. 3. Paleoproterozóico. 4.
Granito Tipo-A. 5. Província Carajás . I. Título.

CDD 551.098115



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

PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA DO GRANITO MANDA SAIA, PROVÍNCIA CARAJÁS

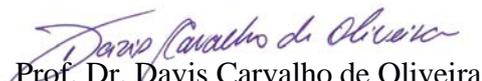
Dissertação apresentada por

MARCELO REIS SANTOS

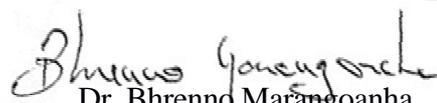
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA, Linha de Pesquisa EVOLUÇÃO CRUSTAL E
METALOGÊNESE.**

Data da Aprovação: 09 / 09 / 2020

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira
(Orientador – UFPA)


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


Dr. Bhrenno Marangoanha
(Membro - PNPd-PPGG)

A todos os sonhos, e suas etapas até a conclusão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha mãe Maria Regina Alves Reis, pelo apoio incondicional que dá durante toda minha vida. Lhe amo muito, Bunitona;

A minha irmã, Giselle Reis Santos, que com o passar do tempo sempre se mostrou uma amiga, e meu pai Luiz Gonzaga Vilhena Santos, amo vocês;

Minha namorada Letícia Luz, pois todos os momentos difíceis que passei nesse período foram acalmados em seus braços, te amo, meu amor;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Davis de Oliveira por acreditar na minha capacidade de trabalho e sua paciência;

Ao doutorando Rodrigo Fabiano que me auxiliou integralmente nessa dissertação, da metade ao fim do processo, e me deu ânimo a terminar esse trabalho. Obrigado, amigo;

A minha madrinha Michiko Aihara;

Aos amigos, Jean Machado, Pacheco Jr., Rodrigo Pontes (Tuka), Robinho Rodrigues, Daniel Elizondo, Amanda Modesto, Carol Rabelo, Sanmya Dias, Dominique Ferreira, Andrey Souza, entre tantos outros que me ajudaram direta ou indiretamente nessa caminhada;

A Universidade Federal do Pará;

Ao Instituto de Geociências da UFPA;

Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides – GPPG;

Aos funcionários da Biblioteca do Instituto de Geociências da UFPA, representados pela Sr^a Lucia Imbiriba, que me auxiliou na avaliação da dissertação conforme a norma vigente;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

O Granito Manda Saia está localizado a sudeste da cidade de Xinguara e é representado por dois *stocks* semicirculares separados pelo embasamento mesoarqueano do Domínio Rio Maria. Esses corpos seccionam na porção norte, os granitoides mesoarqueanos do tipo TTG e o Granodiorito Rio Maria, e nas suas porções sul, leste e oeste os metabasaltos da sequência *greenstone belt* do Grupo Babaçu. É formado por rochas de aspecto isotrópico, de coloração rosa acinzentada e de monótona variação textural. São rochas hololeucocráticas de textura heterogranular média a grossa, e por vezes porfiríticas. Seus conteúdos médios de quartzo e das razões plagioclásio/microclina permitem que estas rochas sejam classificadas como monzo- e sienogranitos. A biotita é o principal mineral ferromagnésiano e o anfibólio é raro e intersticial. Os minerais secundários são argilominerais, sericita, muscovita, fluorita e clorita. O Granito Manda Saia é formado por rochas peraluminosas as quais apresentam um intervalo restrito e elevado de SiO₂ (74,80 e 77,70 %), altas razões Fe/(Fe+Mg) e enriquecimento de ETR leves e pesados com anomalia negativa de Eu moderada. O plúton pode ser classificado como um granito tipo-A ferroso com certas afinidades com os tipos reduzidos e aqueles mais evoluídos dos granitos oxidados da Província Carajás. A ocorrência de anfibólio intersticial aproxima o Granito Manda Saia dos corpos da Suíte Velho Guilherme, e por outro lado, a ocorrência frequente de magnetita aliado aos aspectos composicionais de suas rochas, também mostra que o Granito Manda Saia (GMS) é a fim das fácies leucograníticas dos granitos oxidados da Suíte Jamon. A colocação do Granito Manda Saia está ligada a uma tectônica extensional e o transporte de magma que resultou na colocação dos plútons em níveis crustais rasos ($\sim 1,0 \pm 0,5$ kbar) é dada através de um sistema de alimentação por diques.

Palavras-chave: Manda Saia. Anorogênico. Paleoproterozoico, Granito tipo-A. Província Carajás.

ABSTRACT

The Manda Saia granite is located to southeast of the of Xinguara town and it is represented by two semicircular plutons separated by the Mesoarquean basement of the Rio Maria Domain. The bodies crosscut in the northern portion the Mesoarquean TTG granitoids and the Rio Maria Granodiorite, and in the south, eastern and western portions they are intrusive in the metabasalts of the sequence greenstone belt of the Babaçu Group. The Manda Saia pluton is formed by rocks of isotropic aspect, grayish pink in color and monotonous textural variation. They are hololeucocratic rocks of medium-to-coarse heterogranular texture, occasionally porphyritic, which are classified as monzo- and syenogranites. Biotite is the main ferromagnesian mineral and amphibole is rare and interstitial. Secondary minerals are clay minerals, sericite, muscovite, fluorite and chlorite. Manda Saia pluton is formed by peraluminous rocks that present a restricted and high SiO₂ contents (74.80 and 77.70wt.%), and high Fe/(Fe+Mg) ratios. Their REE pattern is marked by enrichment in light and heavy REE and moderate negative Eu anomaly. The pluton can be classified as ferrous type-A granite and akin to the reduced types and those most evolved from the oxidized granites of the Carajás Province. The occurrence of interstitial amphibole identified in the Manda Saia granite also is observed in the plutons of the Velho Guilherme Suite. On the other hand, the frequent occurrence of magnetite combined with the compositional aspects of its rocks, also shows that the Manda Saia granite is akin to the leucogranitic facies of the oxidized granites from Jamon Suite. The emplacement of the Granite Manda Saia is linked to extensional tectonics and the transport of magma that resulted in the emplacement of the plutons in shallow crustal levels ($\sim 1.0 \pm 0.5$ kbar) through a dyke feeding system.

Keywords: Manda Saia. Anorogenic. Paleoproterozoic. A-Type granite. Carajás Province.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização do Granito Manda Saia.	2
Figura 2- Mapa geológico detalhado da Província Carajás.	6
Figura 3- (A) Mapa geológico do Granito Manda Saia.	13
Figura 4- Principais feições de campo do Granito Manda Saia.....	14
Figura 5- Diagrama Q–A–P e Q-(A+P) - M'.....	16
Figura 6- Aspectos texturais do Granito Manda Saia.	19
Figura 7- Minerais acessórios e secundários do Granito Manda Saia.	21
Figura 8- Diagrama de Harker.	24
Figura 9 - Diagrama de elementos terra-rara e multielementos.....	26
Figura 10- Classificação geoquímica e tipologia do Granito Manda Saia.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição modal das rochas que compõem o Granito Manda Saia.....	16
Tabela 2- Composição química do Granito Manda Saia.	23

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 GEOLOGIA REGIONAL	2
1.1.1 Compartimentação tectônica	2
1.1.2 Província Carajás	3
1.1.3 Granitos tipo-a	7
1.2 JUSTIFICATIVA	8
1.3 OBJETIVOS	8
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS	9
1.4.1 Pesquisa bibliográfica	9
1.4.2 Mapeamento geológico	9
1.4.3 Petrografia	9
1.4.4 Geoquímica	10
2 RESULTADOS	11
2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS	11
2.2 PETROGRAFIA	15
2.2.1 Classificação	15
2.2.2 Aspectos texturais	15
2.3 GEOQUÍMICA.....	22
2.3.1 Introdução	22
2.3.2 Elementos maiores e traços	22

2.3.3	Elementos terras raras	25
3	DISCUSSÕES	27
3.1	CLASSIFICAÇÃO E TIPOLOGIA	27
3.1.1	Comparações com suítes análogas da Província Carajás	29
3.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE A ORIGEM DO GRANITO MANDA SAIA.....	30
3.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE ASCENSÃO E COLOCAÇÃO	31
4	CONCLUSÕES	34
	REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Muitos maciços graníticos anorogênicos de idade Paleoproterozóico-Mesoproterozóico com afinidade tipo-A e dimensões que variam de "stocks" a batólitos afloram em praticamente toda a extensão do Cráton Amazônico (Dall'Agnol *et al.* 2005). A importância conferida a esses granitos deve -se, entre outros fatores, à existência de expressivos depósitos minerais de cassiterita e, localmente, wolframita, a eles associados.

No Domínio Rio Maria, porção sul da Província Carajás, essas rochas são englobadas na Suíte Jamon, a qual é constituída pelos plutons Jamon, Musa, Marajoara, Redenção e Bannach (Oliveira 2006). Um grande acervo de informações geológicas, incluindo a caracterização petrológica, geoquímica e isotópica foi gerado sobre esses maciços pelo Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides da Universidade Federal do Pará. No entanto, diversos outros corpos foram muito pouco estudados devido à dificuldade de acesso por problemas naturais ou políticos, como é o caso do Granito Manda Saia (Leite 2001, Santos & Pena Filho 2000), o qual carece de mapeamento geológico em escala de detalhe (1:25.000) e de estudos petrográficos e geoquímicos refinados.

A presente dissertação está vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) da Universidade Federal do Pará. A mesma refere-se ao estudo do Granito Manda Saia, localizado no sudeste do estado do Pará, no município de Xinguara (Figura 1.1), nas proximidades da Vila São Francisco. A área mapeada acha -se inserida na porção NE da folha Xinguara SB-22-Z-C, sendo limitada pelos paralelos 7°11'55" S e pelos meridianos 49°43'55" W. A presente pesquisa direciona-se para a geologia, petrografia e geoquímica do referido corpo, do qual se dispõe somente de um levantamento cartográfico preliminar, a nível de reconhecimento. Desse modo, a pesquisa permite definir a tipologia do granito e avaliar com rigor o seu enquadramento na Suíte Jamon.

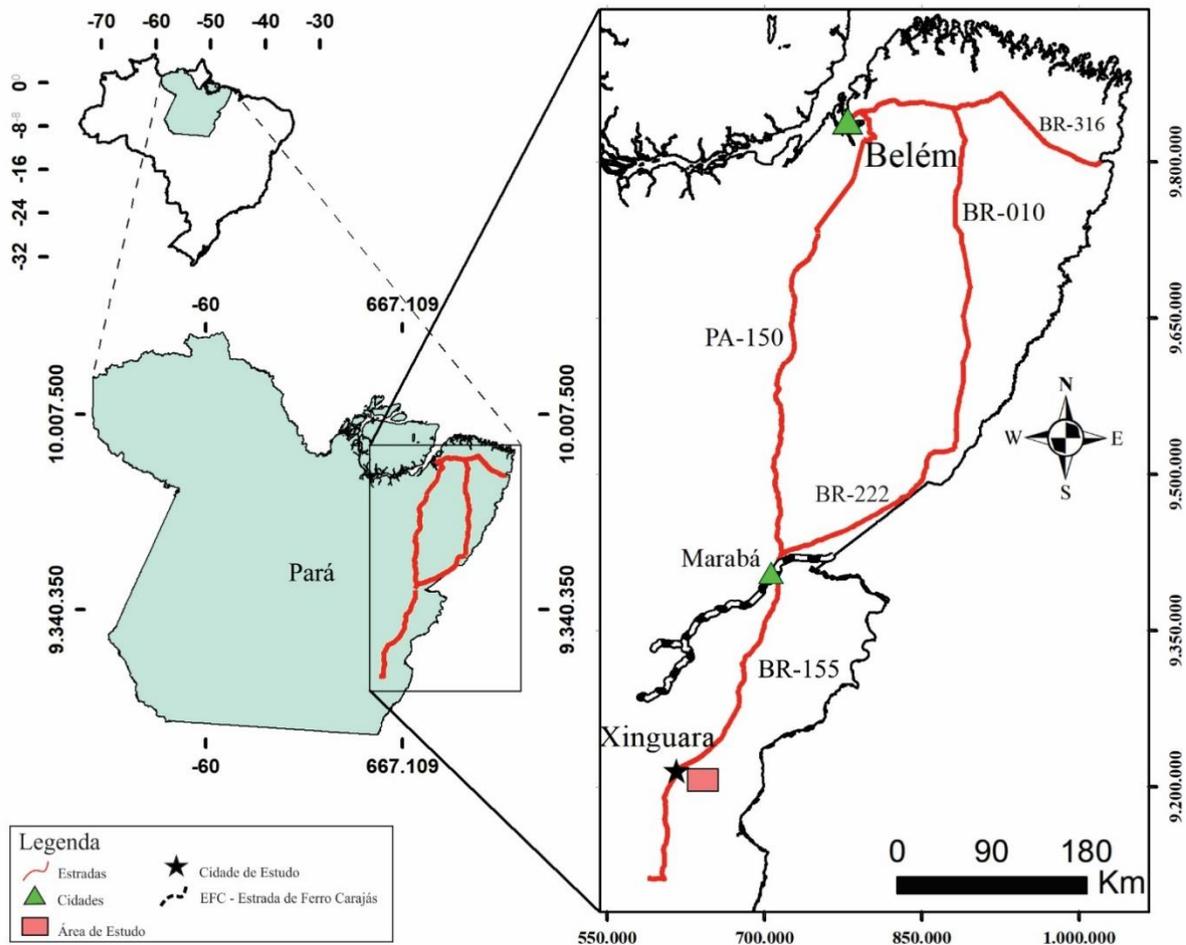


Figura 1- Mapa de localização do Granito Manda Saia.

1.2 GEOLOGIA REGIONAL

1.2.1 Compartimentação tectônica

A porção emersa da plataforma sul-americana é constituída por três grandes unidades geotectônicas, a Plataforma Sul-americana, Plataforma Patagônica e a Cadeia Andina, e suas coberturas fanerozóicas. Dentro da Plataforma Sul-americana, unidade onde a maior parte do Brasil se concentra, são encontrados três escudos de idade pré-cambriana chamados Brasil Central ou Guaporé, das Guianas e Atlântico. Os escudos Brasil Central e das Guianas formam o Cráton Amazônico, separados pelas bacias sedimentares do Amazonas e Solimões, cobrindo cerca de 4.500.000 Km², estendendo-se por países como Brasil, Guiana, Guiana Francesa, Suriname, Venezuela, Colômbia e Bolívia (Figura 2). É limitado a norte pela margem atlântica, a leste e sul pela faixa orogênica Paraguai-Araguaia-Tocantins e a oeste por bacias sedimentares de antepais subandinas. (Bizzi *et al.* 2003, Hasui *et al.* 2012, Vasquez *et al.* 2008).

1.2.2 Província Carajás

A área estudada é situada no sudeste do Cráton Amazônico (Almeida *et al.* 1981) e faz parte do contexto geológico da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira 2004) ou Carajás (Santos 2003) (Figuras 3A e 3B, respectivamente). Devido seu enorme potencial metalogenético, tem sido alvo de diversos estudos geológicos ao longo das últimas décadas, resultando na individualização de diversos granitoides, que possibilitaram, juntamente com estudos geofísicos e estruturais, propostas de compartimentação da referida província em segmentos crustais tectonicamente distintos (Althoff *et al.* 2000, Costa *et al.* 1995, Dall’Agnol *et al.* 2006, Souza *et al.* 1996). Costa *et al.* (1995) identificaram a Província Mineral de Carajás e a dividiram em unidades lito-estratigráficas e elementos estruturais pertencentes ao Terreno granito-*greenstone* de Rio Maria e aos cinturões de cisalhamento Itacaiúnas, Pau D’arco e Araguaia, além de segmentos extensionais do Proterozoico. Com a evolução do conhecimento, Santos (2003) dividiu a Província nos domínios Rio Maria e Carajás, onde seus limites são separados por anomalias magnetométricas, não coincidentes aos contatos geológicos, que representam uma zona de transição (Dall’Agnol *et al.* 2000) pois rochas mesoarqueanas que ocorrem no Domínio Rio Maria, também ocorrem no Domínio Carajás. Já Dall’Agnol *et al.* (2006) denominaram o segmento de crosta situado entre o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM) e a Bacia Carajás (BC) como Domínio de Transição (DT), interpretado como uma extensão do TGGRM afetado pelos eventos neoarqueanos que deram origem à bacia. Vasquez *et al.* (2008), em revisão à geologia do Estado do Pará e seguindo a proposta de Santos (2003), dividiram a província em dois domínios tectônicos distintos: Domínio Rio Maria de idade mesoarqueana (3,0–2,87 Ga) e Domínio Carajás, formado por rochas meso- e neoarqueanas (3,0–2,76 Ga). Em consequência das novas configurações, Feio *et al.* (2012) redefinem o DT como Subdomínio de Transição (SDT), o qual se estenderia desde a borda sul da Bacia Carajás até ao norte da cidade de Sapucaia, prolongando-se lateralmente até ao município de São Félix do Xingu, passando por Água Azul do Norte, Ourilândia do Norte e Tucumã. Dall’Agnol *et al.* (2013) subdividiram esta província em três domínios tectônicos: (i) Domínio Rio Maria (DRM), (ii) Domínio Sapucaia (DS) e (iii) Domínio Canaã dos Carajás (DCC). Os domínios identificados acima são limitados por grandes descontinuidades regionais de direção E-W e apresentam significativas diferenças em sua evolução geológica, reconhecidas a partir das associações litológicas presentes nestes blocos. O DCC seria caracterizado pela dominância de granitos *stricto sensu* e associações charnockíticas (Suíte Planalto e Diopsídio-Norito Pium), com raras

ocorrências de TTGs e granitos anorogênicos, que seria o embasamento imediatamente a sul da BC (Figura 3C), enquanto o DS seria formado por granitoides do tipo TTG, sanukitoides e leucogranitos diversos, análogos àqueles identificados no DRM, sendo, porém, afetados por eventos neoarqueanos relacionados a Bacia Carajás (BC).

O Domínio Rio Maria, porção sul da Província Carajás, é essencialmente mesoarqueano, formado por um terreno do tipo granitoide-*greenstone*. É composto por associações *greenstone belt* do Supergrupo Andorinhas (3,0–2,9 Ga), (Avelar 1996, Lafon *et al.* 2000, Macambira & Lancelot 1991, Pimentel & Machado 1994, Rolando & Macambira 2003, Souza *et al.* 2001) e Grupo Tucumã (Araújo & Maia 1991). Já os granitoides, são caracterizados por: TTGs (2,96–2,93 Ga) representados pelo Tonalito Arco Verde, Trondhjemitó Mogno e Tonalito Mariazinha (Almeida *et al.* 2008, 2011, Macambira & Lafon 1995, Rolando & Macambira 2003); Suíte Sanukitoide Rio Maria e rochas associadas de 2,87 Ga (Medeiros & Dall’Agnol 1988, Oliveira *et al.* 2009, Santos *et al.* 2013, Santos & Oliveira 2015); Leucogranodioritos-granitos de alto Ba-Sr da Suíte Guarantã (2,87-2,86 Ga) representados pelos plútons Guarantã, Trairão e Azulona (Almeida *et al.* 2010); e Leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcálica, caracterizados pelo granito Mata Surrão e afins de 2,87 Ga (Almeida *et al.* 2010, Lafon *et al.* 1994). Essas rochas são intrudidas por granitos anorogênicos tipo-A, agrupados na Suíte Jamon de 1,88 Ga e diques máficos e félsicos associados (Dall’Agnol & Oliveira 2007, Dall’Agnol *et al.* 2005, Rivalenti *et al.* 1998, Silva Júnior *et al.* 1999, Silva *et al.* 2015). São cobertos por sedimentos clásticos, transgressivos, do Grupo Rio Fresco. (DOCEGEO 1988).

O Domínio Sapucaia é formado também por um terreno de características granitoide – *greenstone*, mas com a presença de anfíbolitos. A associação *greenstone belts* do Grupo Sapucaia é composta por rochas ultramáficas de composição komatiítica, associadas a basaltos de ilha oceânica (OIB) e anfíbolitos de ambiente MORB (Costa *et al.* 1994, DOCEGEO 1988, Sousa *et al.* 2015); e os anfíbolitos, do município de Nova Canadá, classificados como toleitos de arco de ilha e assinatura N-MORB, que passaram por metamorfismo de fácies xisto verde a anfíbolito baixo (Marangoanha & Oliveira 2014). Os granitoides que formam o Domínio Sapucaia são: Granitoides sódicos, representado pelo Tonalito São Carlos de 2,93 Ga (Silva *et al.* 2014); TTGs como o Tonalito Caracol (2936±3 Ma), rochas tipo Tonalito Mariazinha (2912±5 Ma) e TTGs jovens como Trondhjemitó Colorado e Água fria (2872±1 Ma e 2864±21 Ma, respectivamente) (Almeida *et al.* 2011, Leite *et al.* 2004, Leite-Santos & Oliveira 2014); Sanukitoides, denominados Água Limpa e

Água Azul de 2879 ± 21 Ma (Gabriel *et al.* 2014, 2015); Leucogranodiorito-granitos de alto Ba-Sr de Nova Canadá, 2895 ± 2 Ma (Leite-Santos & Oliveira 2016, Oliveira *et al.* 2010); Granitos de alto-K de afinidade cálcico-alcálica, Granito Xinguara de 2865 Ma (Leite *et al.* 2004); Leucogranito Velha Canadá 2747 ± 2 Ma (Leite-Santos & Oliveira 2016, Oliveira *et al.* 2010); e Granitoides subalcalinos sintectônicos tipo Planalto (Feio *et al.* 2012), e de Vila Jussara (Silva *et al.* 2014).

O Domínio Canaã dos Carajás, norte da Província Carajás, possui idade Meso a Neoproterozoica (3,0–2,74 Ga) e é formado pelo Ortogranulito Chicrim-Cateté, rochas do Complexo Xingu, pelo Diopsídio-Norito Pium e granitoides como: Tonalito com anfibólio Bacaba, Complexo tonalítico Campina Verde, Trondhjemito Rio Verde, granitos Canaã dos Carajás, Bom Jesus, Cruzadão, Serra Dourada e Boa Sorte; e as suítes Pedra Branca e Planalto, com rochas charnoquíticas associadas. Essas rochas foram intrudidas por granitos anorogênicos tipo-A da suíte Serra dos Carajás de 1,87 Ga (Dall'Agnol *et al.* 2005, Feio & Dall'Agnol 2012, Feio *et al.* 2012, Feio *et al.* 2013, Rodrigues *et al.* 1992, Santos *et al.* 2013c).

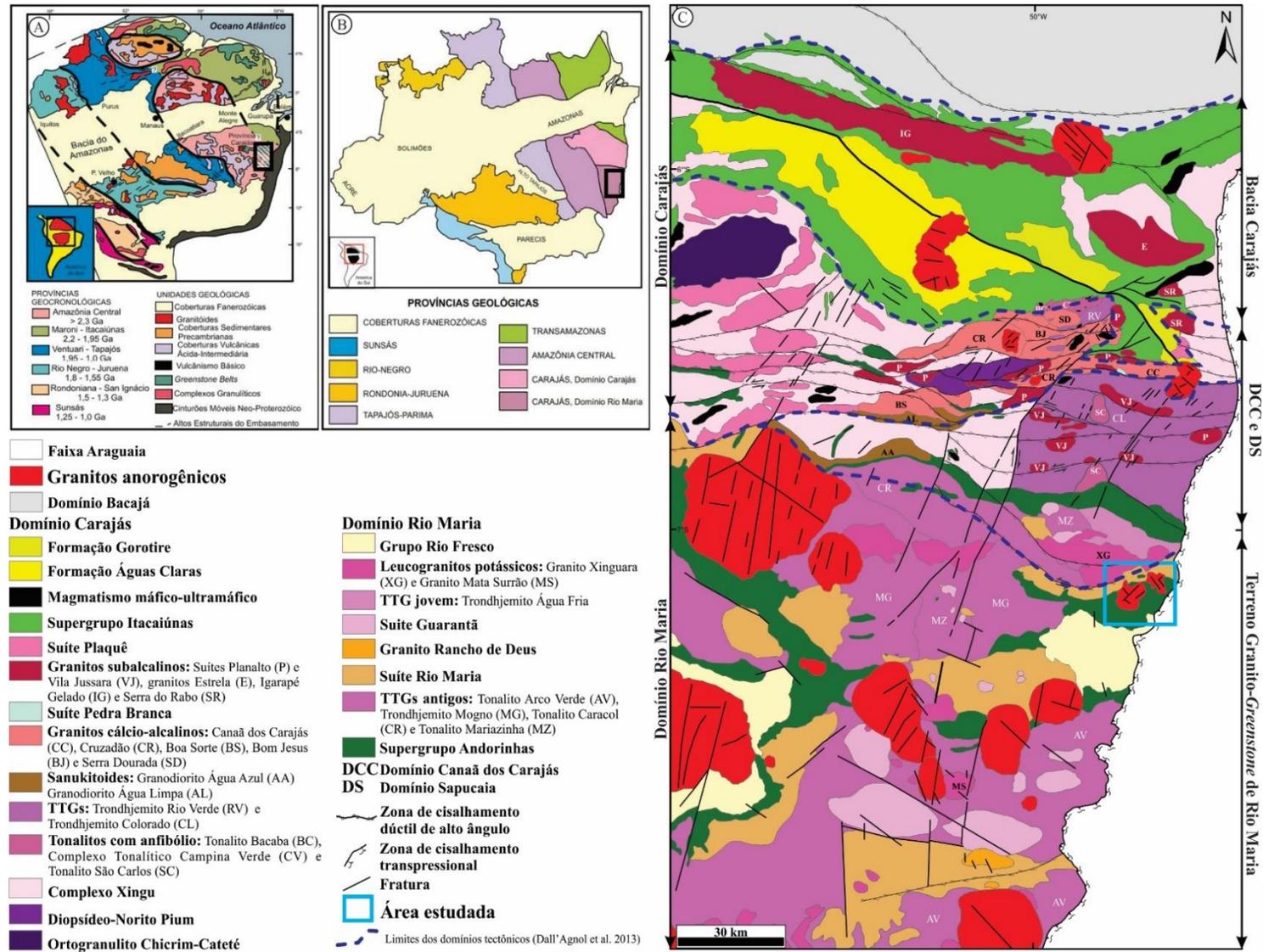


Figura 2- Mapa geológico detalhado da Província Carajás, destacando a área de trabalho. Fonte: (A) Modificado de Tassinari & Macambira (2004); (B) modificado de Santos (2003); (C) modificado de Feio *et al.* (2013), Gabriel (2012), Guimarães *et al.* (2012), Oliveira *et al.* (2010) e Vasquez *et al.* (2008)

1.1.3 Granitos Tipo-A

Desde Loiselle & Wones (1979), diversos trabalhos acadêmicos tanto evoluem o conhecimento sobre esse tipo de rocha, como tentam extinguir o uso do termo “tipo-A” (Collins *et al.* 1982, Clemens *et al.* 1986, Creaser *et al.* 1991, Eby 1992, Bonin 2007, Frost *et al.* 2001). Esses granitos são caracterizados pelo caráter moderadamente alcalino, baixo conteúdo de CaO e Al₂O₃, alta razão Fe/(Fe+Mg) e K₂O/Na₂O e K₂O, além de baixa fugacidade de fO_2 , alta razão Hf/H₂O e quantidade de ETR (exceto Eu). Collins *et al.* (1982), resumiram as características químicas dos granitos tipo-A onde esses granitoides possuem menor abundância de CaO e MgO, porém maior conteúdo de Na₂O+K₂O. Outra característica citada pelos autores é a grande quantidade de Nb e Ga, além de W, Mo e Sn, este sendo o dobro da quantidade medida nas rochas ditas tipo-I da região de Xinguara. Clemens *et al.* (1986) discutem a origem dos granitos tipo-A, a partir de estudos experimentais, e sugerem que a temperatura para a fusão da rocha fonte dos granitos tipo-A variam de 830 a 900 °C e seu conteúdo de água estaria em um intervalo entre 2,4 e 4,3 % em peso. Eby (1992) elaborou uma subdivisão química dos granitoides tipo-A em relação as razões dos elementos Yb/Ta vs. Y/Nb e Y/Nb vs. Ce/Nb, com as fontes envolvidas na formação dessas rochas, entre basaltos de ilha oceânica e crosta continental ou basaltos de arco de ilha. Frost *et al.* (2001) apresentam um esquema de classificação geoquímico não genético e não tectônico que leva em consideração três etapas para a classificação de granitoides a partir da composição dos elementos maiores, número de Fe (Fe*), MALI (*Modified Alkali-Lime Index*) e ASI (*Aluminum Saturation Index*), e caracterizam os granitos tipo-A como ferrosos, variando de alcalinos a álcali-cálcicos, com poucos exemplos cálcico-alcalinos, além de serem metaluminosos, com algumas amostras peralcalinas e peraluminosas. Bonin (2007) faz uma evolução do conhecimento sobre os granitos tipo-A e rochas relacionadas e considera que a utilização de termos claramente genéticos (como tipo-I, A, S e M) não são precisos, por não levarem em consideração a possibilidade de mistura de magmas e diversos exemplos de sobreposição composicional entre os vários “tipos” de granitoides (Frost *et al.* 2001). Frost & Frost (2010) fazem uma revisão das rochas classificadas como tipo-A e discutem sua origem, sugerindo que o uso do termo tipo-A deve ser descontinuado e substituído pelo termo não genético “ferroso”.

1.1.3.1 Granitos anorogênicos do Domínio Rio Maria

Dall’Agnol *et al.* (2005) apresentam uma síntese das três suítes de granitos rapakivi tipo-A da Província Carajás. Dentre estas, os autores consideram que a Suíte Jamon é formada

por granitos *stricto sensu* pertencentes à série magnetita e gerados a partir de magmas oxidados (alta fugacidade de oxigênio). São granitos ferrosos de características geoquímicas do tipo-A e intraplaca, e possuem altas razões K_2O/Na_2O , geralmente entre 1 e 2, e $FeO_t/(FeO_t+MgO)$, acima de 0,8. Dados isotópicos da Suíte Jamon, $\epsilon_{Nd}^{1,88 Ga} = -10,5$ a $-8,1$, são afins daqueles da Suíte Serra dos Carajás, $\epsilon_{Nd}^{1,88 Ga} = -9,7$ a $-7,9$, e $T_{DM} \sim 3,35$ a $2,60$ Ga, sugerindo que essas suítes foram derivadas de fontes crustais arqueanas de composição quartzo-feldspática, e que suas diferenças estão relacionadas a variações composicionais da fonte.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os dois *stocks* graníticos que formam o Granito Manda Saia estão inseridos dentro do contexto tectônico do Domínio Rio Maria, sendo intrusivos nos *Greenstone Belts* Babaçu e Granodiorito Rio Maria (Leite 2001, Vasquez 2008). Tais plútons, correlacionáveis ao Granito Manda Saia, foram inseridos na Suíte Jamon, que também é formada pelos granitos Bannach, Cachoeirinha, Gradaús, Marajoara, Musa e Redenção. Entretanto, apesar dos extensos trabalhos realizados em granitos tipo-A do Domínio Rio Maria, o Granito Manda Saia foi mapeado apenas em escala regional (1:250.000) pelo Serviço Geológico Brasileiro (Santos & Pena Filho 2000) e em estudo básico de Trabalho de Conclusão de Curso de 2013 (Favacho 2013), e ainda carece de estudos petrográficos e geoquímicos detalhados. Desta maneira, este trabalho permitirá discutir as principais variações composicionais e geoquímicas desses granitos, assim como seus principais aspectos evolutivos e condições de cristalização, contribuindo dessa forma, para o melhor entendimento da petrogênese e evolução dessas rochas.

1.4 OBJETIVOS

Os objetivos gerais deste trabalho são voltados para o aprimoramento e integração dos dados já existentes sobre o Granito Manda Saia, com a finalidade de determinar as suas afinidades petrológicas e condições de cristalização, assim como os processos magmáticos responsáveis pela configuração do corpo. Portanto, com base nestas informações, é proposto para a execução deste trabalho, os seguintes objetivos específicos:

- Realizar um estudo petrográfico em amostras representativas deste granito, com o intuito de definir e caracterizar as suas possíveis variedades faciológicas;
- Identificar suas variações texturais e possíveis processos de transformação tardi- a pós-magmáticos e estabelecer a ordem de cristalização da paragênese mineral;

- Definir suas afinidades geoquímicas, tipologia, ambiente de formação e os processos magmáticos que controlaram sua evolução;

- Estabelecer comparações entre o Granito Manda Saia com os demais corpos da Suíte Jamon e outros plútons análogos que ocorrem na porção norte da Província Carajás.

1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos, foram utilizadas diversas técnicas e métodos de investigação:

1.5.1 Pesquisa bibliográfica

Consistiu em um levantamento bibliográfico com ênfase na geologia regional e magmatismo granítico do Domínio Rio Maria. Além disso, foram analisados artigos e livros sobre temas relacionados à geologia de granitos tipo-A, com ênfase em petrografia, e classificação geoquímica de granitoides.

1.5.2 Mapeamento geológico

Foram realizados trabalhos de campo no ano de 2016, na qual houve coleta sistemática de 24 amostras nos dois corpos graníticos estudados, onde se preocupou em coletar amostras das mais diversas composições e localidades do Granito Manda Saia (centro e borda dos corpos). Das 24 amostras coletadas, 11 foram utilizadas para a confecção de lâminas delgadas e análise geoquímica.

1.5.3 Petrografia

Esta etapa consistiu na análise mesoscópica das amostras, seguido de estudo microscópico em 11 lâminas delgadas, utilizando técnicas de luz transmitida, envolvendo: identificação e descrição sistemática dos minerais (Kerr 1959); estudo das texturas magmáticas e de alteração (Bard 1980, Mackenzie *et al.* 1982); obtenção de composições modais com contador automático de pontos *Stageledge*, da marca *Endeep* (≤ 2.000 pontos por amostra) e classificação das rochas conforme estabelecido pela IUGS (*International Union of Geological Sciences*)

1.5.4 Geoquímica

Para as análises químicas em rocha total foram obtidos dados com os conteúdos de elementos maiores e menores, traço e terras raras. Os elementos maiores e menores foram analisados por ICP-ES (*Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy*) e os elementos-traço e terras raras por ICP-MS (*Inductively coupled plasma mass spectrometry*), no laboratório da empresa de procedimentos analíticos ALS *Geochemistry*. A caracterização geoquímica foi feita com base nos procedimentos indicados em Ragland (1989) e Rollinson (1993), e a avaliação do comportamento dos elementos maiores, menores e traços foi realizada através de diagramas de variação e classificação (Pearce *et al.* 1984, Whalen *et al.* 1987, Sylvester 1989, Eby 1992, Frost *et al.* 2001, Dall’Agnol & Oliveira 2007, Frost & Frost 2010) a fim de definir a tipologia, ambiente de formação e os processos que controlaram a evolução magmática das rochas do Granito Manda Saia.

2 RESULTADOS

2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

O Granito Manda Saia ocorre no extremo NE do Domínio Rio Maria onde é intrusivo no embasamento mesoarqueano. Na porção norte, secciona as rochas do Granodiorito Rio Maria, e nas suas porções leste e oeste, e ao longo de toda sua borda sul, os metabasaltos da sequência *greenstone belt* do Grupo Babaçu (Figura 4A). Seus contatos se dão ao longo de extensas zonas de cisalhamento e/ou falhas normais, ao mesmo tempo que seu caráter intrusivo é denunciado por truncar a foliação regional ENE-WSW desenvolvida nas rochas do embasamento. O Granito Manda Saia ocorre na forma de dois plútons semicirculares que possuem assinatura aerogamaespectrométrica (Razão Th/K) distinta daquela dada pelas suas rochas encaixantes (Figura 4B). Estes possuem dimensões de *stock* (entre 60 e 95 km²), que se destacam em um modelo digital de elevação/SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) como pequenas serras alinhadas segundo as direções principais (NE-SW e NW-SE) que podem atingir até 450 m de altitude (Figura 4C). Estas são coincidentes com os padrões de lineamentos que afetaram tanto os corpos graníticos quanto as suas rochas encaixantes, respeitando os *trends* da estruturação rúptil regional da Província Carajás. Esta foi afetada por esforços extensionais que geraram falhamentos normais de orientação geral NE-SW e NW-SE (Costa *et al.* 1995, Oliveira *et al.* 2008). Contudo, tais feições de relevo configuram estruturas circulares no interior destes corpos (Figura 4A), similarmente ao que foi delimitado como falhas anelares (*ring-faults*) em outros maciços do Domínio Rio Maria (Oliveira *et al.* 2008, 2010, Santos *et al.* 2018).

O Granito Manda Saia aflora sob a forma de extensos lajedos (Figura 5A), formados por rochas de coloração rosa acinzentada e de caráter isotrópico (Figura 5B). Tais aspectos contrastam com aqueles observados em suas rochas encaixantes, entretanto, estruturas que lembram foliação de fluxo magmático são encontradas localmente. Estas são identificadas pela ocorrência de um arranjo de fenocristais euédricos e zonados de feldspatos orientados conforme o *trend* dominante NW-SW ou N-S. Isto, aliado às ocorrências de xenólitos angulosos de rocha máfica mais comuns nas bordas dos plútons (Figura 5D), e à ausência de sinais de deformação no estado sólido em suas rochas, sugere a existência de alto contraste de viscosidade entre as intrusões e suas rochas encaixantes. A colocação do granito se deu quando o seu magma tinha uma importante fração líquida em contraponto à rocha encaixante que estava totalmente cristalizada e fria. Nota-se ainda, nas porções marginais dos corpos,

bolsões pegmatoides constituídos por cristais centimétricos de quartzo, feldspatos e biotita, que provavelmente marcam os estágios finais de cristalização do plúton (Figura 5C).

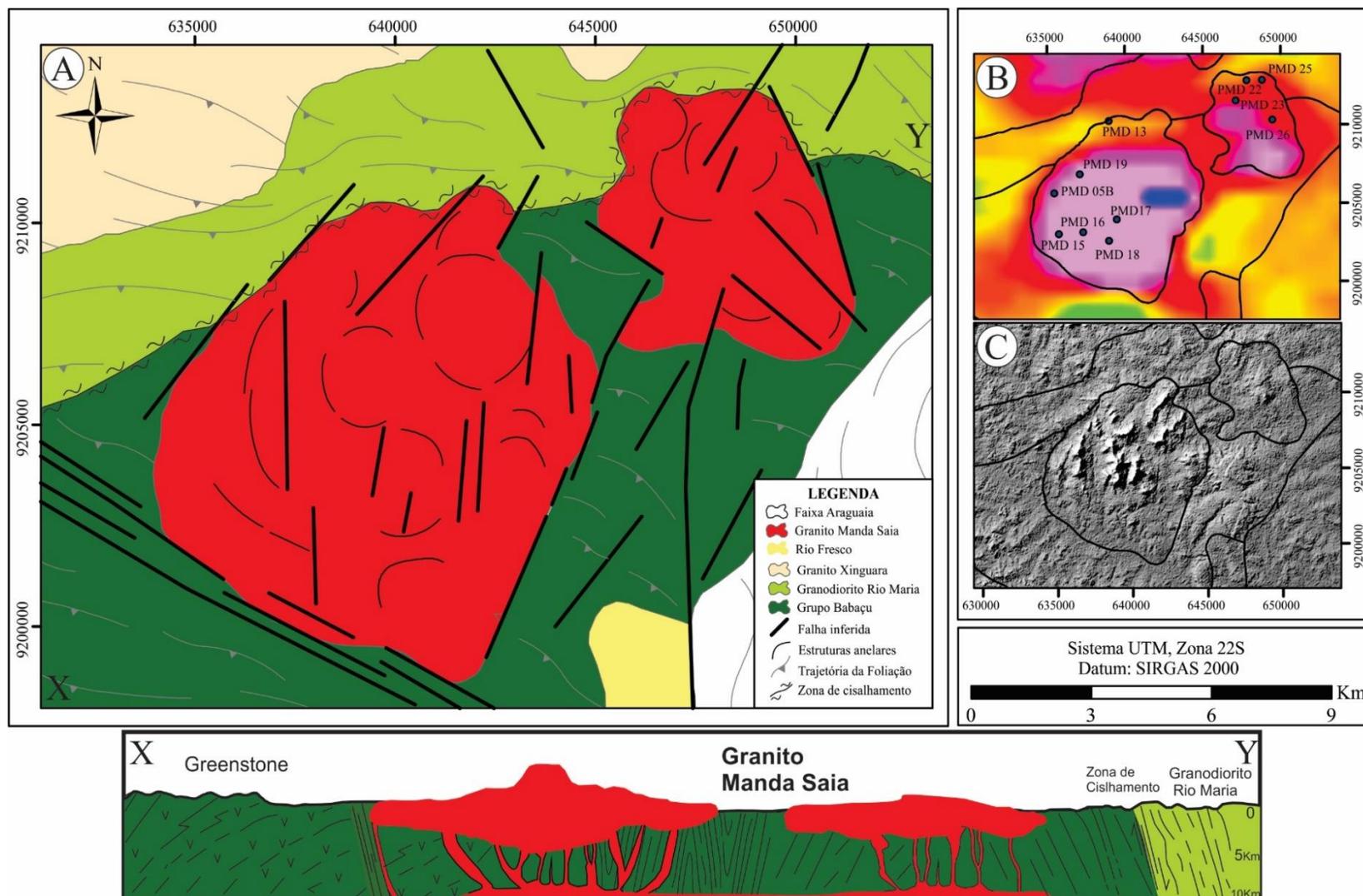


Figura 3- (A) Mapa geológico do Granito Manda Saia mostrando que seu contato com as rochas encaixantes se dá principalmente ao longo dos planos de falha; (B) imagem aerogeofísica (Razão Th/K) integrado ao mapa de pontos; (C) modelo digital de elevação/SRTM (15 m de resolução) exibindo estruturas anelares e contraste topográfico entre o Granito Manda Saia e as encaixantes. Secção horizontal idealizada para a área de ocorrência do Granito Manda Saia expondo a forma de colocação dos corpos em relação às suas rochas encaixantes e sua profundidade inferida.

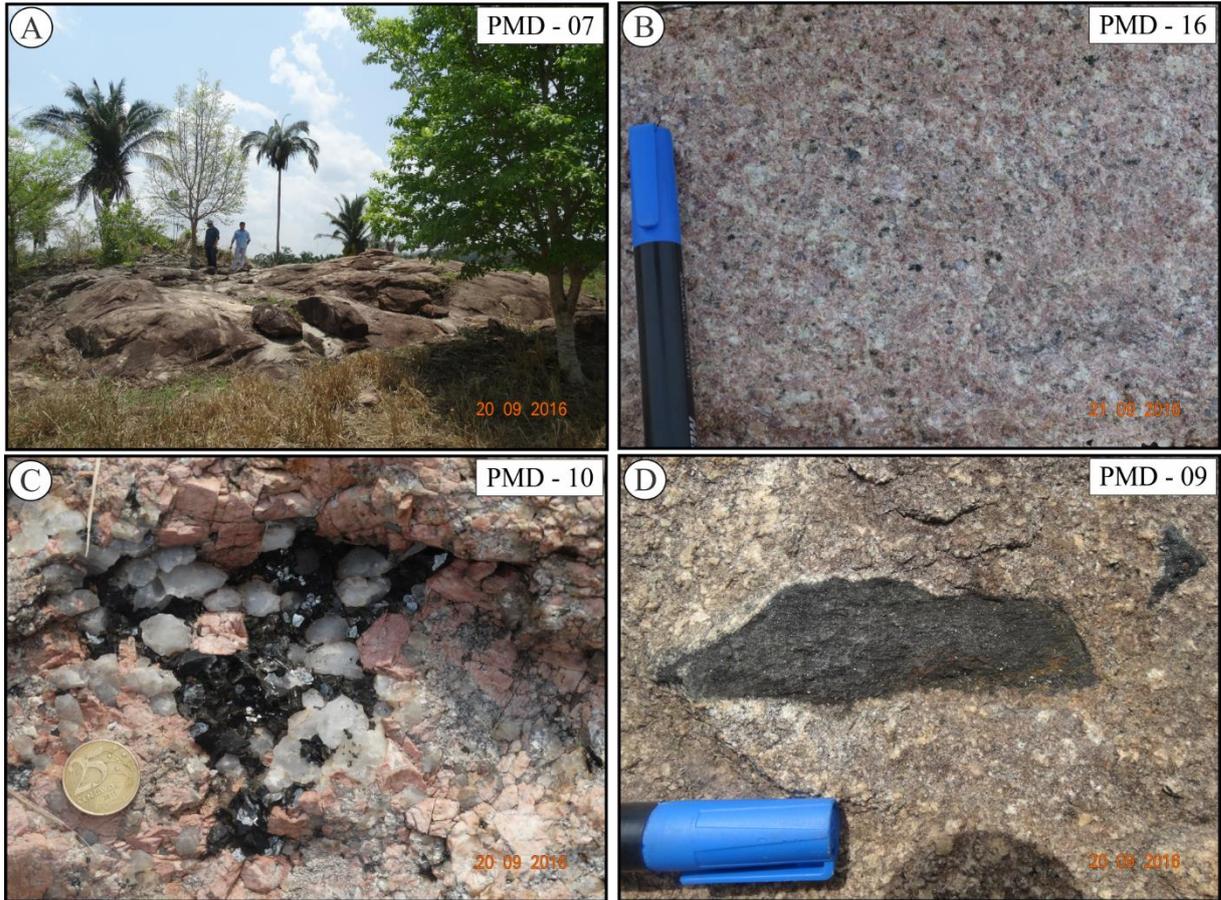


Figura 4- Principais feições de campo do Granito Manda Saia: (A) Afloramento formado por lajedos métricos nas bordas dos morros; (B) textura fanerítica equigranular média; (C) bolsões pegmatoides encontrados localmente nas rochas de borda do corpo granítico; (D) Enclave anguloso de rocha máfica no Granito Manda Saia.

2.2 PETROGRAFIA

2.2.1 Classificação

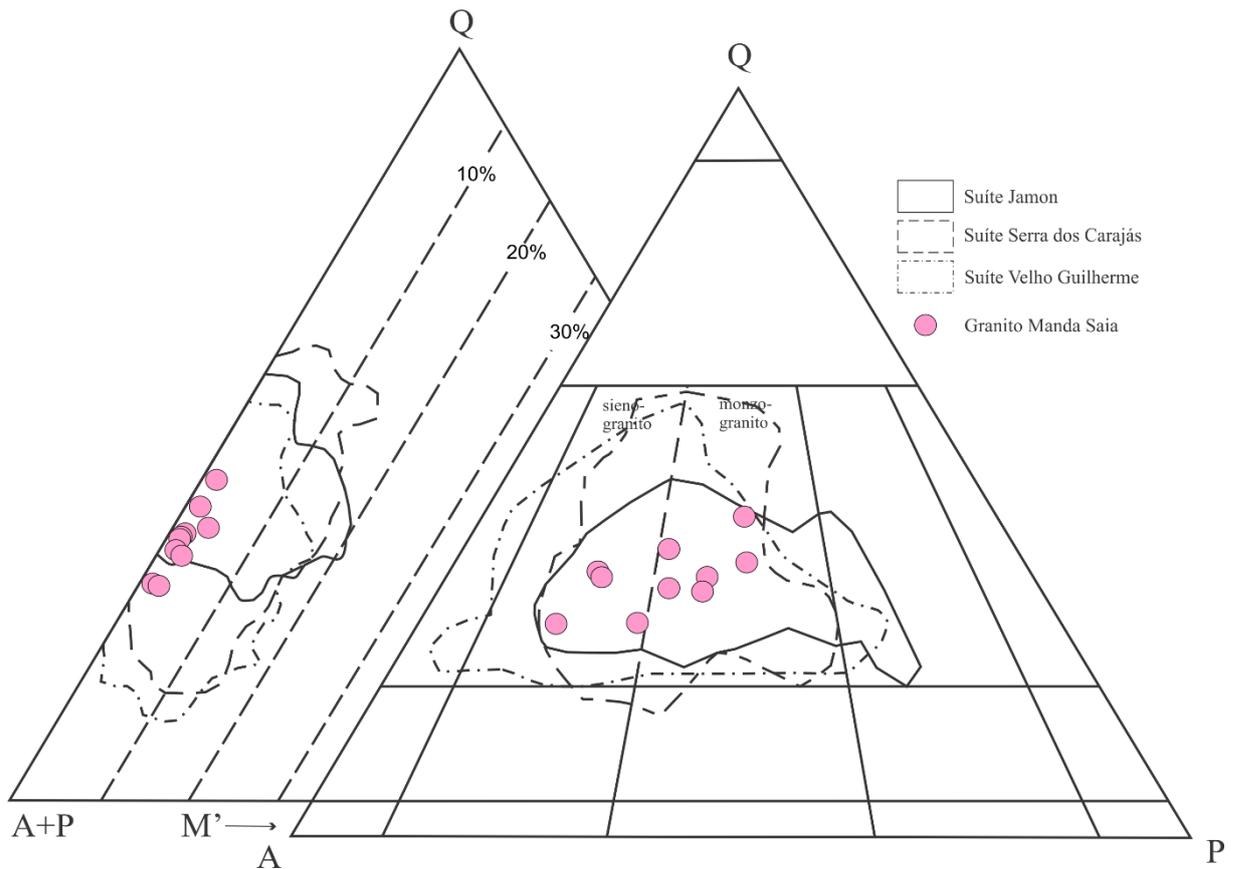
As rochas que constituem o Granito Manda Saia são bastante homogêneas composicionalmente. Os dados obtidos a partir das análises modais (Tabela 1) mostram que as proporções de quartzo e das razões plagioclásio/microclina não variam significativamente, permitindo que estas rochas, quando plotadas no diagrama Q-A-P (Figura 6), sejam classificadas como de composição monzo- a sienogranítica, conforme as normas estabelecidas pela IUGS (Streckeisen 1976, Le Maitre *et al.* 2002). Estas são hololeucocráticas e possuem quantidades reduzidas de minerais máficos (M), sempre inferiores a 5% (ver diagrama Q-(A+P)-M; Figura 6). A biotita (raramente anfibólio) é o mineral ferromagnésiano presente nestas rochas, e os minerais acessórios primários são representados por titanita, minerais opacos, allanita, apatita e zircão. Clorita, epidoto, sericita-muscovita, argilominerais e fluorita representam as fases secundárias.

2.2.2 Aspectos texturais

As rochas que constituem o Granito Manda Saia apresentam texturas heterogranulares médias a grossas (Figura 7A), por vezes porfiríticas (Figura 7B), e mais raramente equigranular grossa a muito grossa. As rochas heterogranulares de granulação média (entre 2 e 5 mm) são compostas pelos minerais essenciais e biotita, enquanto as rochas heterogranulares com granulação grossa (dimensões entre 7 e 15 mm) é constituída essencialmente por microclina e, subordinadamente, por plagioclásio. Localmente, observa-se a ocorrência de feições do tipo rapakivi. Contudo, apesar dos plútons que formam o Granito Manda Saia não apresentarem significativas variações composicionais entre si, em seções delgadas, guardam algumas diferenças texturais como a presença de mesopertitas e de feições de intercrescimento granofírico que ocorrem apenas no corpo menor (norte).

Tabela 1- Composição modal das rochas que compõem o Granito Manda Saia.

Amostra/Mineral (%)	PMD 5b	PMD 13	PMD 15	PMD 16	PMD 17	PMD 18	PMD 19	PMD 22	PMD 25	PMD 26
Quartzo	33,65	29,05	35,40	36,35	33,05	37,90	43,10	35,60	28,65	35,70
Álcali-feldspato	38,60	44,50	45,55	27,95	35,00	35,20	25,80	34,20	52,95	45,30
Plagioclásio	25,25	24,15	16,85	31,45	28,95	22,15	28,85	29,10	15,10	16,30
Biotita	1,65	1,75	1,15	3,95	2,35	1,15	1,50	0,90	0,75	1,20
Muscovita	0,15	0,30	0,95	0,05	0,05	2,65	-	0,10	1,95	0,40
Epidoto	0,05	-	-	-	0,35	0,35	0,05	-	0,30	0,50
Zircão	0,05	0,05	-	0,15	-	-	-	-	-	-
Allanita	0,10	0,05	-	-	0,15	0,15	0,10	-	0,05	0,10
Titanita	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-
Fluorita	0,35	0,10	0,10	-	-	0,40	0,40	0,05	0,20	0,35
Opacos	0,10	0,05	-	0,05	0,05	-	0,20	0,05	0,05	-
Apatita	-	-	-	-	0,05	0,05	-	-	-	-
Máficos (M')	1,85	1,85	1,15	4,15	2,85	1,65	1,65	0,90	1,10	1,80
Félsicos	97,65	98,00	98,75	95,80	97,05	97,90	97,75	99,00	98,65	97,70
A+P	63,85	68,65	62,40	59,40	63,95	57,35	54,65	63,30	68,05	61,60
Pl/Mc	0,65	0,54	0,37	1,13	0,83	0,63	1,12	0,85	0,29	0,36
Quartzo	34,51	29,73	36,20	37,96	34,07	39,79	44,09	36,00	29,63	36,69
Álcali-feldspatos	39,59	45,56	46,57	29,19	36,09	36,96	26,39	34,58	54,76	46,55
Plagioclásio	25,90	24,71	17,23	32,85	29,85	23,25	29,52	29,42	15,61	16,75
Nº de pontos	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000

Figura 5- Diagrama Q-A-P e Q-(A+P) - M' mostrando a distribuição modal do Granito Manda Saia. Fonte: Modificado de Streckeisen (1976) e Le Maitre *et al.* (2002).

Ao microscópio, as rochas do Granito Manda Saia apresentam textura granular hipidiomórfica com cristais sub- e automorfos de feldspatos enquanto que os cristais de quartzo automorfos (Figura 7A). Uma feição típica do maciço é a presença de finos agregados de minerais máficos, geralmente acompanhados de concentrações de cristais de plagioclásio. Dentre os minerais félsicos, observa-se o maior desenvolvimento da microclina (Figura 7B), que atinge dimensões de até 35 mm e por vezes, mostram evidências de reação com o magma, já que suas bordas são em parte corroídas ou arredondadas (Figura 7A). As inclusões de finos cristais de quartzo são frequentes nas bordas dos cristais mais desenvolvidos de feldspatos pertencentes às rochas porfíricas, enquanto que o intercrescimento granofírico, quando ocorre, envolve praticamente todo o cristal de microclina. Já os finos cristais de feldspatos, com dimensões entre 0,2 e 1,2 mm, ocorrem como grãos intersticiais, inclusos nos cristais mais desenvolvidos ou na matriz da variedade porfírica.

A microclina varia de pertítica (lamelas sódicas em veios e filmes) a mesopertítica (lamelas em manchas disformes macladas – *patches*). Os contatos entre dois ou mais cristais de álcali-feldspatos são geralmente suturados e por vezes marcados por um processo de albitização. Tal processo é caracterizado pelo desenvolvimento de albita intergranular que ocorrem na forma de ‘franjas’ de cristais de albita que se projetam para o interior do cristal adjacente, gerando uma textura conhecida como “coroa trocada” (*swapped rims*; Smith 1974) (Figura 7C). Além do maclamentos carlsbad e xadrez, são observadas transformações da fase feldspática com a formação de albita em tabuleiro xadrez (albita *chess board*; Smith 1974).

Os cristais de plagioclásio alcançam as maiores dimensões nas rochas de textura porfírica, onde podem atingir até 7 mm. O zoneamento normal é o mais evidente, sendo nítidas as bordas albiticas, normalmente finas e regulares, assim como os núcleos intensamente descalcificados e transformados para sericita-muscovita, epidoto e fluorita (Figura 7D). Por vezes a alteração diferenciada deixa transparecer um zoneamento oscilatório (Figura 7E). Em geral, sua composição é oligoclásio sódico (An_{20-12}) na maior parte dos cristais, podendo chegar à albita (An_{10} até An_7) nas bordas. Assemelha-se textural e composicionalmente ao plagioclásio presente nas fácies mais evoluídas dos maciços da Suíte Jamon (Dall’Agnol *et al.* 1999b, Oliveira *et al.* 2009, Santos *et al.* 2018), embora os agregados sejam mais frequentes. Os cristais desses agregados mostram contornos irregulares e bordas corroídas, e frequentemente relações que podem ser interpretadas como feições de *synneusis* (Vance 1965, Stull 1979) ou de crescimento epitaxial (Dowty 1980) (Figura 7E). A biotita quando ocorre associada a estes agregados encontra-se intensamente cloritizada e a presença da fluorita torna-se mais expressiva, com maior desenvolvimento dos minerais

opacos e maior quantidade de cristais de zircão. Na fração mais fina (0,2 e 1,2 mm) os cristais de plagioclásio são mais sódicos ($An_{17} - An_9$) e o zoneamento é menos evidente.

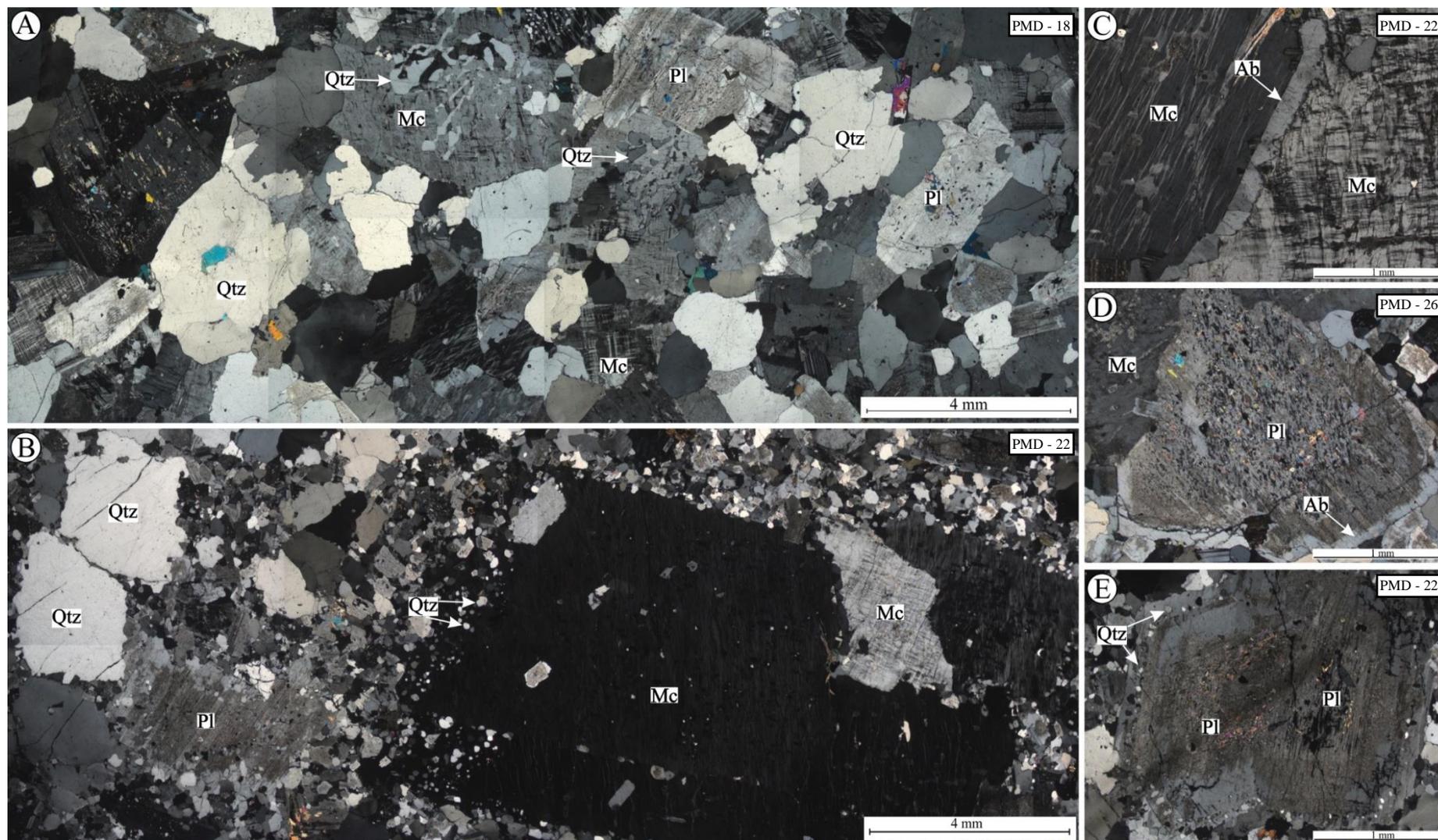


Figura 6- Aspectos texturais do Granito Manda Saia: (A) Textura equigranular média quartzo-feldspática e granofírica; (B) textura heterogranular porfirítica; (C) albita intergranular do tipo coroa invertida; (D) borda albítica no plagioclásio; (E) textura synneis (Vance 1965, Stull 1979) ou de epitaxia (Dowty 1980). Abreviações segundo Siivola & Schmid (2007).

O quartzo apresenta-se em duas variedades texturais. O Qtz₁ é a variedade mais desenvolvida, podendo atingir, em média, dimensões de até 3,5 mm (Qtz₁; Figura 7A). São cristais subédricos que comumente formam agregados. Exibe contatos irregulares e interpenetrado com cristais de feldspatos. Nas rochas porfíricas, mostra sinais de desequilíbrio, e seções grosseiramente arredondadas ou irregulares com baías de corrosão, preenchidas por microclina (Figura 7B). O Qtz₂, com dimensões inferiores ao tipo anterior (~1 mm), ocorre geralmente incluso nas bordas dos cristais de feldspatos, marcando as fases de crescimento dos mesmos, ou como grãos intersticiais. A ocorrência de inúmeras inclusões de Qtz₂ fazem com que os cristais maiores de microclina assumam um aspecto poiquilítico em suas bordas (Figura 7B). Existe ainda um tipo textural presente nos intercrescimentos mirmequíticos e granofíricos (Figura 7A). No primeiro, diminutos cristais de quartzo estão intercrescidos com a borda sódica do plagioclásio em formas vermiculares, quando este está em contato com a microclina. No granofírico o quartzo está intercrescido com a microclina.

A biotita é o principal mineral ferromagnesiano descrito nestas rochas, perfazendo cerca de 1,6 % das mesmas. Seus cristais são de hábito lamelar, com pleocroísmo variando do verde escuro até o amarelo pálido (Figura 8A). Por vezes forma agregados máficos onde apresenta inclusões de allanita, epidoto, zircão e apatita. Já o anfibólio, é encontrado de maneira muito restrita, ocorrendo sempre como cristais intersticiais e com pleocroísmo moderado que varia de verde escuro a verde oliva (Figuras 8B, C). Dentre os minerais acessórios, o zircão é o tipo mais comum e encontra-se, por vezes zonados e com halos pleocróicos quando inclusos na biotita (Figura 8D). Allanita ocorre como cristais sub- a euédricos, zonados, metamictizados e com leve pleocroísmo variando de amarelo pálido a castanho (Figura 8D). Os cristais de apatita são prismáticos e normalmente ocorrem inclusos na biotita e minerais opacos. Epidoto e titanita são escassos, ocorrendo como finos cristais ou ao longo dos planos de clivagem da biotita (Figura 8E), ou ainda associadas aos opacos. Estes últimos estão associados à biotita e minerais acessórios e apresentam formas subédricas (Figura 8F). Mais restritamente, a clorita e fluorita ocorrem como produto de transformação da biotita e feldspatos, respectivamente (Figura 8H e 8I). A fluorita também pode ser vista também como inclusões no quartzo. A muscovita apresenta-se como mineral intersticial e de bordas corroídas (Figura 8G), podendo ocorrer ainda como finos cristais originados a partir da alteração dos feldspatos (sericitização) ou preenchendo fraturas nos mesmos. Foi observado também a transformação dos minerais opacos para goethita (Figura 8I).

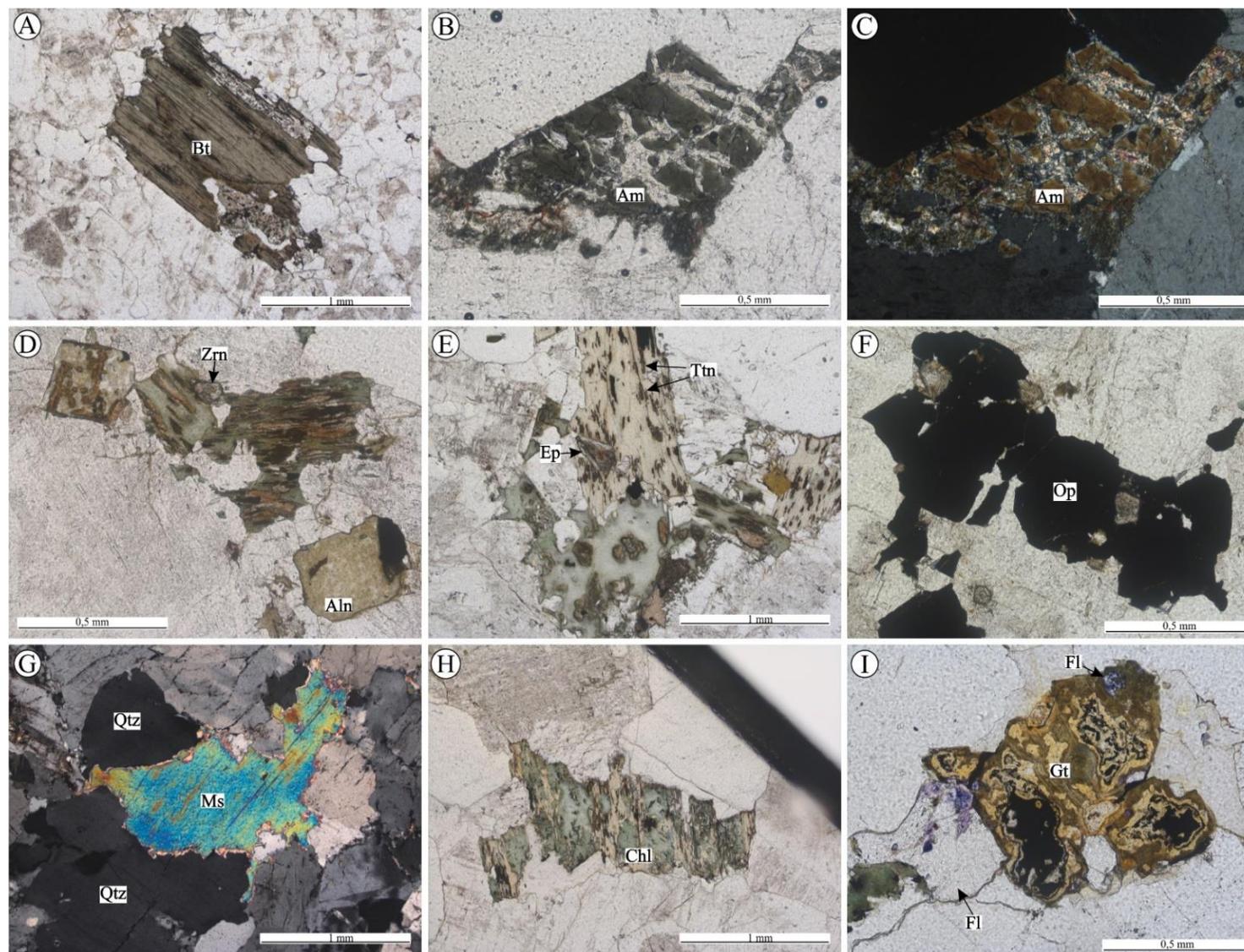


Figura 7- Minerais acessórios e secundários do Granito Manda Saia: (A) Biotita com hábito lamelar; (B) e (C) anfibólio intersticial fortemente fraturado; (D) allanita euédrica e zircão associados a biotita; (E) titanita nos planos de clivagem da biotita; (F) opacos subédricos; (G) e (H) muscovita e clorita secundárias formadas a partir da alteração de biotita; (I) goethita, evolução da alteração de magnetita, em contato com fluorita. Abreviações segundo Siivola & Schmid (2007).

2.3 GEOQUÍMICA

2.3.1 Introdução

Os resultados do estudo geoquímico foram obtidos a partir da análise química em rocha total de 11 amostras representativas do Granito Manda Saia (Tabela 2). Com base nestes dados, será apresentada uma descrição das principais características composicionais das rochas estudadas e, por fim, a classificação e tipologia das rochas que constituem o plúton estudado. Os dados obtidos neste trabalho serão ainda confrontados com os principais granitos das suítes paleoproterozoicas de Carajás, disponíveis na literatura: suítes Jamon (Almeida *et al.* 2006, Oliveira *et al.* 2006), Velho Guilherme (Teixeira *et al.* 1999) e Serra dos Carajás (Dall’Agnol *et al.* 1994).

2.3.2 Elementos maiores e traços

Os dados petrográficos mostrados anteriormente evidenciam a limitada variação textural e composicional das rochas que constituem o Granito Manda Saia. Tal aspecto ainda é melhor visualizado a partir de seus conteúdos restritos de SiO₂, cujos valores oscilam entre 74,80 e 77,70 % (Tabela 2). Comportamento similar também é observado para os valores da razão K₂O/Na₂O (0,89-1,64; Figura 9B) e para os conteúdos de elementos compatíveis [TiO₂ (0,20-0,01), Fe₂O_{3t} (1,53-0,59), MgO (0,14-0,01) e CaO (0,93-0,28)], os quais são considerados baixos quando comparados com os demais granitos paleoproterozoicos de Carajás (Figura 9A).-Da mesma forma, nos diagramas de variação para elementos traços, nota-se uma leve dispersão tanto para os elementos litófilos quanto para os HFSE (*high field strenght elements*). A razão Rb/Sr e o teor de Nb aumentam levemente no sentido das rochas mais enriquecidas em SiO₂, cujos valores concentram-se entre 3,53 e 36,31 e 36,3 e 77,4 ppm, respectivamente (Figuras 9C e 9D). Vale notar que a amostra PMD-15 apresenta valores anômalos tanto para a razão Rb/Sr (586,11) quanto para o conteúdo de Nb (136 ppm). Já os conteúdos de Zr e Ba tendem a diminuir com o aumento da SiO₂ [Zr (215 - 93 ppm) e Ba (686 - 2 ppm) (Figuras 9E a 9F).

Tabela 2- Composição química do Granito Manda Saia.

Amostras	PMD-23	PMD-19	PMD-15	PMD-17	PMD-13	PMD-16	PMD-25	PMD-22	PMD-18	PMD-26	PMD-5
SiO ₂ %	74,80	75,50	75,70	75,90	76,00	76,40	76,50	76,60	77,20	77,30	77,70
TiO ₂	0,13	0,20	0,01	0,15	0,15	0,17	0,08	0,15	0,08	0,08	0,08
Al ₂ O ₃	13,35	12,50	13,50	12,75	11,85	13,10	12,90	12,65	12,60	12,55	12,05
Fe ₂ O _{3t}	1,32	1,53	0,59	1,34	1,43	1,36	1,04	1,45	0,90	1,10	0,63
MnO	0,03	0,05	0,17	0,03	0,04	0,03	0,03	0,06	0,01	0,03	0,02
MgO	0,14	0,12	0,01	0,10	0,11	0,13	0,06	0,13	0,07	0,06	0,05
CaO	0,90	0,89	0,28	0,85	0,71	0,93	0,61	0,89	0,87	0,81	0,73
Na ₂ O	3,50	3,09	4,52	3,31	3,10	3,64	3,73	3,51	3,58	3,60	3,17
K ₂ O	5,02	5,07	4,04	5,10	4,80	4,76	4,63	4,53	4,76	4,54	5,02
P ₂ O ₅	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,04	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
LOI	0,66	0,58	0,50	0,86	0,68	0,55	0,78	0,69	1,00	0,72	0,72
Total	99,88	99,56	99,33	100,41	98,88	101,11	100,38	100,69	101,08	100,80	100,18
Ba (ppm)	627	686	2	378	183	543	218	311	29	168	174
Rb	354	339	1055	376	359	430	501	392	443	497	399
Sr	98	95	2	57	32	82	40	64	12	33	34
Zr	175	215	107	175	187	174	115	203	190	134	93
Nb	49	36	136	36	49	43	55	61	49	77	48
Y	61	37	64	40	59	36	68	68	196	106	44
Ga	25	24	38	25	23	27	30	27	29	29	23
Sc	3	3	6	3	4	5	4	5	3	7	2
Th	46	56	20	51	77	44	42	53	87	46	33
U	17	11	10	11	24	15	14	17	26	22	11
V	15	12	10	10	10	10	11	14	12	12	9
La ppm	72,90	122,00	31,70	109,50	133,50	90,60	40,70	83,80	92,00	47,40	20,60
Ce	135,50	217,00	63,30	195,50	236,00	162,50	83,80	155,50	114,50	102,50	40,60
Pr	13,65	19,95	7,82	17,25	21,30	15,20	9,07	15,25	19,35	11,25	4,58
Nd	45,60	62,70	23,00	53,00	62,20	49,80	31,10	50,90	69,90	39,90	15,80
Sm	7,64	8,68	3,45	7,17	8,34	6,92	5,35	8,19	12,80	7,39	3,57
Eu	1,52	1,30	0,04	1,08	0,92	1,17	0,67	1,20	1,78	0,71	0,63
Gd	6,92	5,74	2,35	5,80	7,10	5,56	4,39	7,30	15,00	6,59	3,86
Tb	1,11	0,92	0,43	0,88	1,17	0,90	0,70	1,28	2,60	1,10	0,72
Dy	7,71	5,37	3,39	5,69	7,89	5,41	4,71	8,27	17,15	7,11	5,15
Ho	1,80	1,12	0,83	1,28	1,78	1,17	1,12	1,92	4,26	1,92	1,24
Er	6,50	3,65	4,42	4,14	6,16	3,96	4,80	6,93	15,40	8,04	4,72
Tm	1,20	0,63	1,37	0,72	1,05	0,74	0,98	1,24	2,89	1,50	0,87
Yb	9,11	4,67	16,80	5,26	8,03	5,81	9,27	9,33	23,90	12,20	7,39
Lu	1,64	0,75	3,40	0,88	1,29	0,98	1,85	1,68	4,21	2,43	1,24
FeOt/FeOt+MgO	0,89	0,92	0,98	0,92	0,92	0,90	0,94	0,91	0,92	0,94	0,92
K ₂ O/Na ₂ O	1,43	1,64	0,89	1,54	1,55	1,31	1,24	1,29	1,33	1,26	1,58
K ₂ O+Na ₂ O	8,52	8,16	8,56	8,41	7,90	8,40	8,36	8,04	8,34	8,14	8,19
Rb/Sr	3,59	3,53	586,11	6,65	11,36	5,24	12,56	6,08	36,31	14,79	11,63
ΣETR	312,80	454,48	162,30	408,15	496,73	350,72	198,51	352,79	395,74	250,04	110,97
(La/Yb) N	5,40	17,63	1,27	14,05	11,22	10,53	2,96	6,06	2,60	2,62	1,88
Eu/Eu*	0,63	0,53	0,04	0,50	0,36	0,56	0,41	0,47	0,39	0,31	0,52

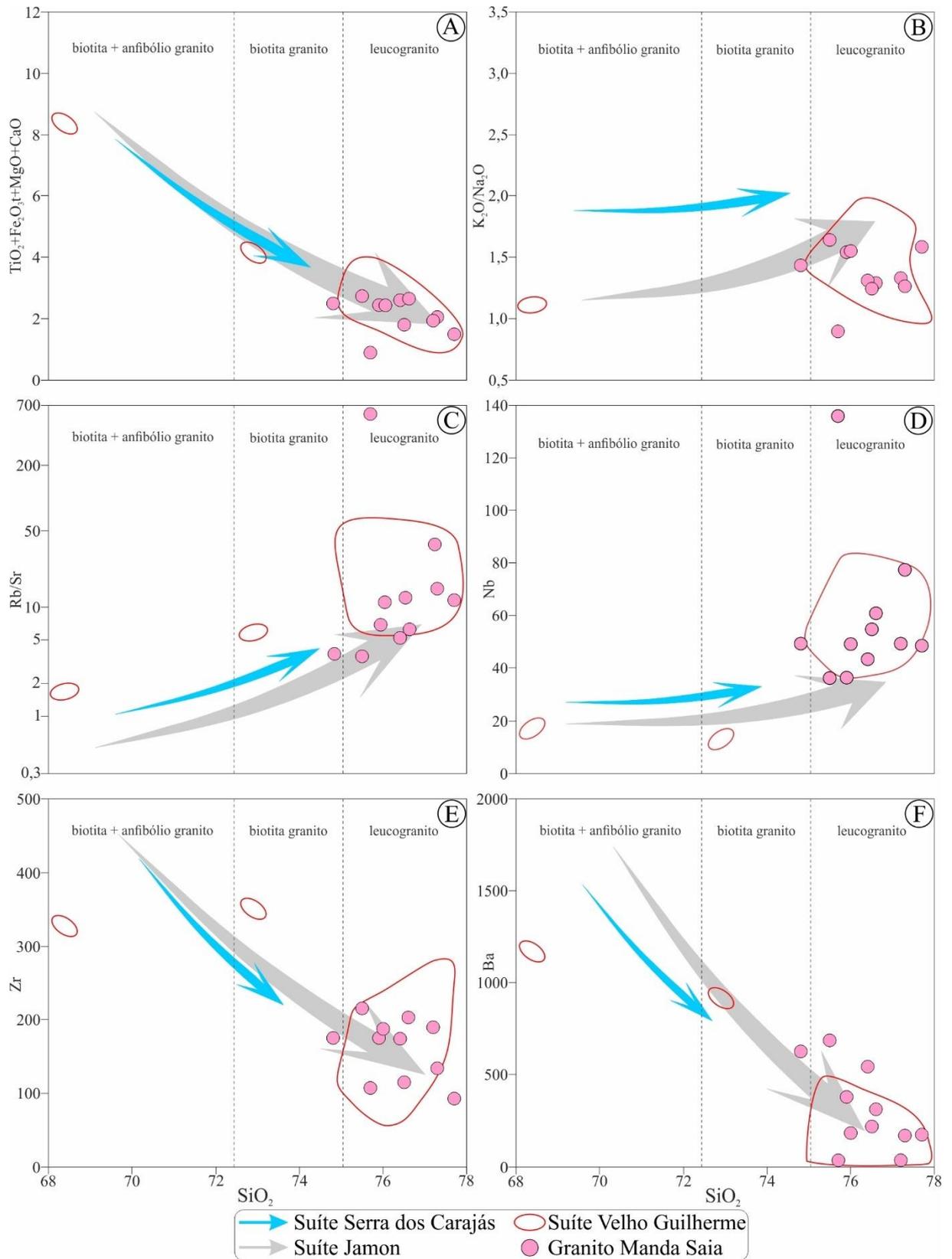


Figura 8- Diagrama de Harker dos elementos maiores e traços do Granito Manda Saia.

2.3.3 Elementos terras raras

Para o estudo do comportamento dos elementos terras raras (ETR), os dados analíticos foram normalizados segundo os valores do Condrito de Evensen *et al.* (1978). As amostras do Granito Manda Saia (Figura 10A) mostram padrões ETR semelhantes aos dos demais granitos da Suíte Jamon (Figura 10B), com enriquecimento de ETR leves ($La/Sm_N = 3,63-10,08$) e moderadas anomalias negativas de Eu ($Eu/Eu^* = 0,31-0,62$) e La/Yb_N (1,88-17,63). No entanto, diferem por apresentar enriquecimento moderado dos ETR pesados ($Gd/Yb_N = 0,38-0,99$), que neste aspecto, se assemelha ao padrão menos fracionado de ETR pesados dos granitos da Suíte Velho Guilherme (Figura 10C). Por outro lado, as amostras estudadas distinguem-se daquelas formadoras da Suíte Velho Guilherme pelas razões La/Yb mais elevadas, e quando comparado com as rochas da Suíte Serra dos Carajás, suas razões La/Yb são significativamente inferiores dado ao seu menor enriquecimento em ETR leves (Figura 10D). A amostra PMD-15 apresenta características anômalas em relação as demais amostras do Granito Manda Saia. Esta apresenta forte anomalia negativa de Eu ($Eu/Eu^* = 0,04$) e um maior enriquecimento de ETR pesados ($Gd/Yb_N = 0,11$) e com baixa razão La/Yb_N (1,27), que configura um padrão de distribuição típico de granitos evoluídos e afim daquelas da Suíte Velho Guilherme (Figura 10A). Comportamento similar também é observado no diagrama de multielementos, onde a amplitude das anomalias negativas de Ba, Sr, P e Ti das amostras do Granito Manda Saia (Figura 10E), são próximas daquelas dos litotipos da Suíte Jamon (Figura 10F), e mais restritamente daqueles da Suíte Serra dos Carajás (Figura 10H). Seus padrões de enriquecimento em Th e U são semelhantes aos da Suíte Velho Guilherme (Figura 10G), assim como a intensidade das anomalias negativas de Ba, Sr, Eu e Ti da amostra PMD-15.

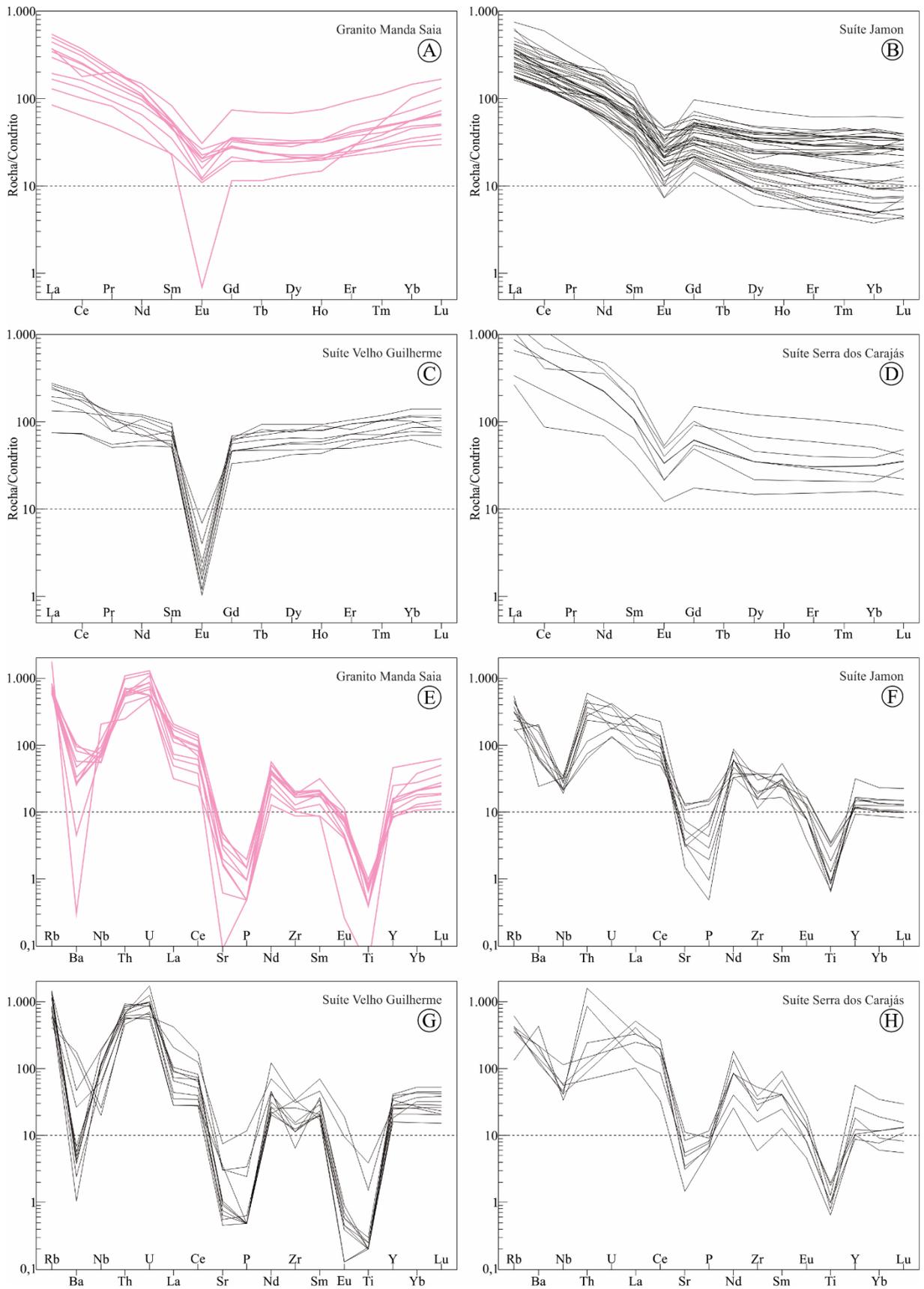


Figura 9 - Diagrama de elementos terra-rara e multielementos do Granito Manda Saia e de alguns granitos anorogênicos da Província Carajás. Diagramas normalizados de acordo com o condrito de Evensen et al. (1978) e manto primitivo de McDonough & Sun (1995).

3 DISCUSSÕES

3.1 CLASSIFICAÇÃO E TIPOLOGIA

O Granito Manda Saia é caracterizado por apresentar teores elevados de SiO_2 (> 74 %), moderados de HFSE [Y (35,90–196,00 ppm), Nb (36,30–136,00 ppm) e Zr (93,00–215,00 ppm)], ΣETR (110,97–496,73 ppm) e $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (7,90–8,56 %), assim como altas razões $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{Mg})$ (0,89–0,98) e baixas concentrações de CaO (0,28–0,93 %), Al_2O_3 (11,85–13,50 %) e Sr (1,80–98,50 ppm). A classificação química das rochas do Granito Manda Saia mostra que elas são supersaturadas em sílica e incidem na transição entre os campos dos adamelitos (monzogranitos) e granitos no diagrama P-Q de Debon & Le Fort (1983), cujos parâmetros seguem a tendência de evolução das séries granitoides (Figura 11A). No diagrama A-B (Debon & Le Fort 1983), nota-se que as rochas do Granito Manda Saia são essencialmente peraluminosas (Figura 11B). Suas feições geoquímicas são compatíveis com aquelas utilizadas para distinguir granitos tipo-A daqueles do tipo I e S, como pode ser visto no diagrama que relaciona a razão $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$ e o teor de Nb de Whalen *et al.* (1987) (Figura 11C).

Na classificação proposta por Frost *et al.* (2001), que utiliza o índice de Fe^* para distinguir granitos ferrosos daqueles de afinidade magnésiana, o comportamento da razão $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$ permite classificar as rochas do Granito Manda Saia como afins dos granitos ferrosos ($\text{Fe}^* \geq 0,9$). Posteriormente, esta razão também foi utilizada por Dall’Agnol & Oliveira (2007) para distinguir granitos tipo-A de granitos cálcico-alcalinos, bem como granitos de natureza oxidada daqueles reduzidos. No diagrama Al_2O_3 versus Fe^* (Figura 11D), o comportamento da razão $\text{FeOt}/(\text{FeOt}+\text{MgO})$ das amostras analisadas permite distingui-las em fracamente oxidadas a moderadamente reduzidas, sendo que a amostra PMD-15 apresenta o valor mais elevado para esta razão, similarmente ao que é encontrado em granitos fortemente reduzidos. No diagrama de MALI (*Modified álcali-lime index*), que leva em consideração o comportamento dos feldspatos em relação à história de diferenciação e a fonte de magmas graníticos as rochas do Granito Manda Saia estão predominantemente no campo dos granitos cálcico-alcalinos (Figura 11E). Utilizando o parâmetro de Pearce *et al.* (1984), nota-se que no diagrama Nb–Y as amostras dos plútons estudados concentram-se exclusivamente no campo definido para granitos de ambiente intraplaca (WPG, Figura 11F).

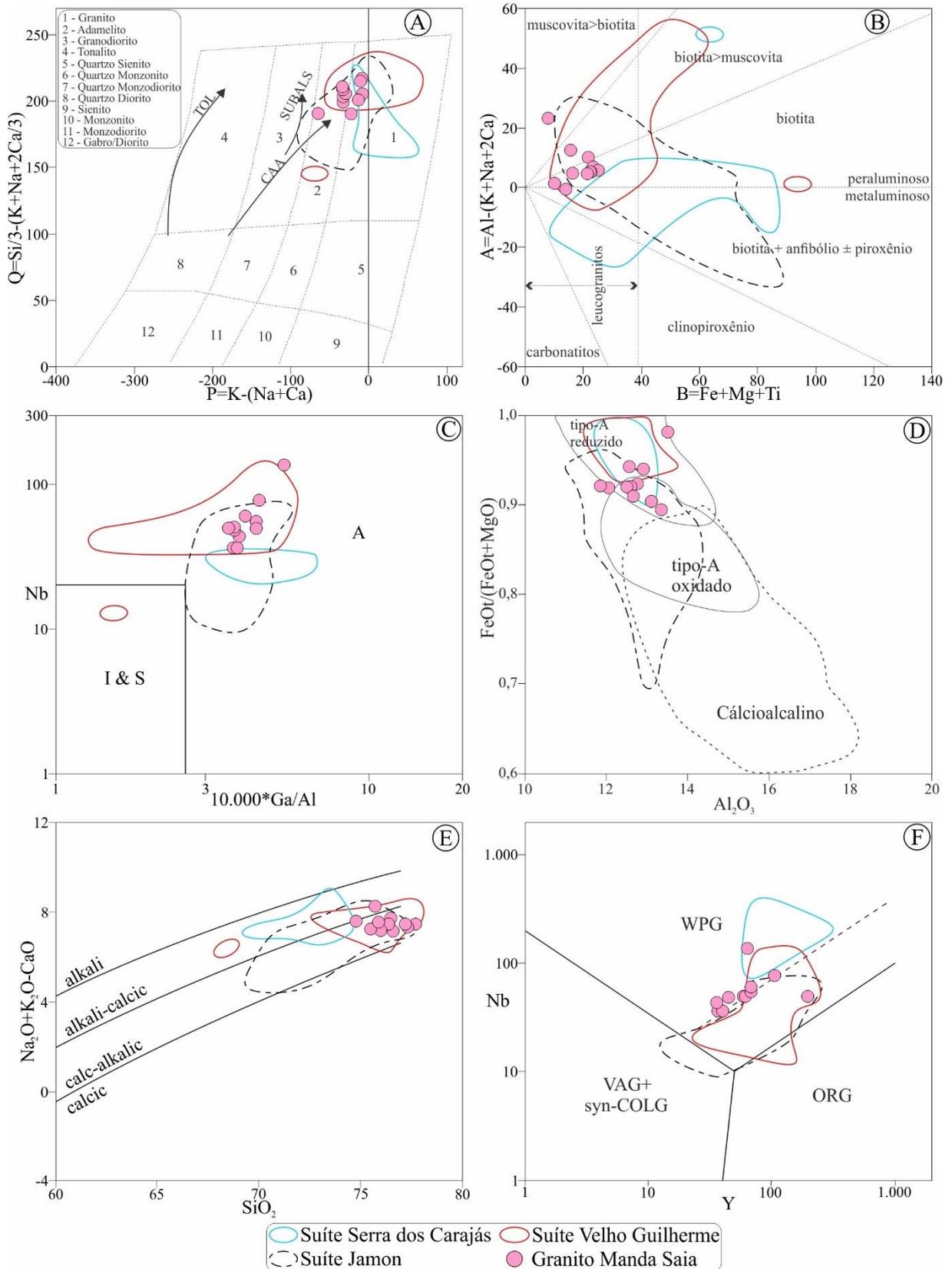


Figura 10- Classificação geoquímica e tipologia do Granito Manda Saia: (A) Diagrama Q-P de Debon & Le Fort (1983), CAA – Cálculo-alcalino, SUBALS – Subalcalino Sódico, TOL - Toleítico; (B) diagrama A-B de Debon & Le Fort (1983); (C) diagrama de Whalen *et al.* (1987); (D) diagrama de Dall’Agnol & Oliveira (2007); (E) diagrama MALI vs. SiO₂ de Frost *et al.* (2001); (F) diagrama de Pearce *et al.* (1984).

3.1.1 Comparações com suítes análogas da Província Carajás

Assim como apontado pelos dados geoquímicos, o plúton Manda Saia mostra fortes afinidades mineralógicas e texturais com os demais granitos paleoproterozoicos da Província Carajás. Em termos petrográficos, são formados por rochas monzo a sienograníticas com conteúdo de minerais máficos sempre inferiores a 5 %. Suas fácies apresentam ainda, conteúdos significativos de fluorita e allanita, escassez de titanita magmática e ocorrência de anfibólio intersticial. Sob tais aspectos, os plútons estudados mostram fortes afinidades com os granitos das suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás (Dall'Agnol & Oliveira 2007). A presença de minerais como clorita e fluorita, assim como de bolsões pegmatoides, apontam para uma concentração de voláteis durante formação das rochas do Granito Manda Saia. Tais componentes exercem uma forte influência na cristalização do anfibólio em magmas graníticos (Dall'Agnol et al., 1999c), sendo que naqueles ricos em flúor e ETR, os anfibólios Ca (p. ex., hastingsita) podem cristalizar como fases tardias, próximo ao *solidus* (Siegel et al., 2017). Em relação aos granitos oxidados da Suíte Jamon, divergem sobretudo de suas fácies menos evoluídas as quais são marcadas pela presença frequente de anfibólio associado a agregados de plagioclásio cálcico e conteúdo de minerais ferromagnesianos elevados, entre 5 e 20 %, onde a titanita magmática é uma fase comum, juntamente com zircão, apatita, magnetita, ilmenita e allanita (Oliveira *et al.* 2009). No entanto, a ocorrência de magnetita nas rochas do Granito Manda Saia as aproxima daquelas relacionadas aos estágios finais de construção dos plútons da Suíte Jamon, onde a biotita é o principal mineral ferromagnesiano.

Anderson & Morrison (2005) estabeleceram que a razão FeO_t/FeO_t+MgO em rocha total em granitos da série magnetita de Laurentia, varia entre 0,80 e 0,88, enquanto naqueles pertencentes à série ilmenita esta razão é elevada ($> 0,88$). Com base nisto, nota-se no diagrama que utiliza o índice de Fe^* (FeO_t/FeO_t+MgO) como parâmetro de classificação de granitos, como o utilizado por Dall'Agnol & Oliveira (2007), que as amostras estudadas exibem o $Fe^* \geq 0,89$, atestando suas afinidades com os granitos da série ilmenita pertencente às Suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás (Fe^* de 0,89 a 0,99) e contrastam com aqueles da série magnetita da Suíte Jamon (Fe^* entre 0,83 e 0,94). Adicionalmente, as afinidades entre estes grupos de rochas se dá também pelos aspectos mais evoluídos dos granitos reduzidos, os quais apresentam teores, em geral, mais baixos de Ca, Sr, Ti, Zr, Ba e da razão K_2O/Na_2O e elevados de Rb, Nb e Ga em relação aqueles de caráter oxidado (Figuras 9 e 11). No entanto, nota-se que em relação à amplitude das anomalias negativas de Eu apresentadas pelos corpos das suítes paleoproterozoicas de Carajás, aquelas de amplitude moderada

presentes do Granito Manda Saia (Figura 10A) são coincidentes com as exibidas pelos corpos oxidados da Suíte Jamon (Figura 10B), as quais são bastante distintas daquelas atribuídas aos corpos da Suíte Velho Guilherme (Figura 10C). Tal correlação também é mantida pela variação de magnitude das anomalias negativas Ba, Sr, P e Ti do Granito Manda Saia (Figura 10E).

3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ORIGEM DO GRANITO MANDA SAIA

Diversos modelos petrogenéticos têm sido propostos para a geração de granitos tipo-A onde sua origem estaria geralmente associada à anatexia crustal provocada por *underplating* máfico (Huppert & Sparks 1988, Rämö & Happala 1995, Dall’Agnol *et al.* 1999a). Tais modelos adotam diferentes fontes ligadas a processos que variam desde fusão parcial de tonalitos, granodioritos (Anderson 1983, Anderson & Bender 1989, Creaser *et al.* 1991, King *et al.* 2001) e quartzo-dioritos (Dall’Agnol *et al.* 1999c) até diferenciação de basaltos toleíticos (Frost & Frost 1997). Cristalização fracionada de basaltos alcalinos (Eby 1992) ou de outro magma derivado do manto (Bonin 1986), e fusão de fontes granulíticas residuais (Collins *et al.* 1982, Clemens *et al.* 1986) também tem sido proposto para origem de granitos tipo-A. Embora o modelo de fonte residual possa explicar algumas características dos granitos tipo-A, rochas empobrecidas (granulitos) não teriam composições adequadas para gerar este tipo de magma (altos conteúdos de LILE (Ba), HFSE e das razões Fe/Mg e K+Na/Ca), para as quais seria esperado uma assembleia mineral contendo quartzo, biotita, K-feldspato e plagioclásio na fonte (Creaser *et al.* 1991). Da mesma forma, o modelo de um magma máfico como precursor não parece ser o mais adequado para explicar a origem dos granitos tipo-A, uma vez que suas rochas-fonte deveriam conter minerais acessórios como apatita, zircão e titanita (King *et al.* 2001). Neste sentido, basaltos toleíticos não podem explicar a origem de granitos oxidados tipo-A da série magnetita (Anderson & Bender 1989, Anderson & Morrison 2005, Dall’Agnol *et al.* 2005), uma vez que a partir da cristalização fracionada de fundidos toleíticos ricos em Fe será produzido magmas reduzidos, por onde seria teoricamente possível explicar a baixa fO_2 e as razões Fe/Mg mais elevadas dos granitos rapakivi da série ilmenita (Frost & Frost 1997, Frost *et al.* 1999).

Um modelo alternativo adotado para a origem de magmas com conteúdo de H₂O e características geoquímicas compatíveis com aquelas de granitos tipo-A, envolve a fusão parcial de granitoides cálcico-alcalinos a uma taxa de ~ 15 a 40 % (Creaser *et al.* 1991). Experimentos de fusão por desidratação em gnaisses tonalíticos magnesianos contendo diferentes proporções de biotita e anfibólio apontam que granitos ferrosos podem ser

originados somente em níveis crustais rasos (4 kbar, 950 °C), que por outro lado, em condições de pressões mais elevadas (8 kbar), o líquido produzido é magnesiano e fortemente peraluminoso (Skjerlie & Johnston 1993, Patiño Dulce 1997, Bogaerts 2006). Para os granitos paleoproterozoicos da Província Carajás, Dall’Agnol *et al.* (2005) propuseram modelos análogos a este, e que de um modo geral, adotam fontes crustais arqueanas para as três suítes mencionadas anteriormente. Para os granitos oxidados da série magnetita da Suíte Jamon foi proposto uma fonte quartzo diorítica com 25–30 % de fusão (Dall’Agnol *et al.* 1999c), enquanto que para magma formador da Suíte Velho Guilherme admite-se uma fonte mais enriquecida em K-feldspato, podendo incluir componentes de rochas sedimentares; para os plútons da Suíte Serra dos Carajás atribui-se uma fonte quartzo-feldspática de composição intermediária àquelas das demais suítes, ou ainda, podendo ser similar à fonte da Suíte Velho Guilherme, porém mais máfica, ou resultado de maior grau de fusão parcial.

Os dados petrográficos e geoquímicos obtidos para o Granito Manda Saia, indicam que este apresenta afinidades petrogenéticas com os plútons de caráter reduzido das suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás, e com as fácies leucograníticas cristalizadas nos estágios finais de construção dos granitos oxidados da Suíte Jamon. Neste sentido, é provável que o magma formador do Granito Manda Saia tenha iniciado cristalização sob temperatura de ~870 °C e pressão relativamente elevada (> 6 kbar), que decresceriam gradualmente para temperaturas de ~700 °C e pressão $3,2 \pm 0,7$ kbar nos estágios finais de cristalização/colocação. Tais aspectos são admitidos para magmas afins daquele formador do Granito Manda Saia e que evoluíram em condições de fO_2 relativamente oxidante (~NNO+0,5) (Dall’Agnol *et al.* 1999b).

3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE ASCENSÃO E COLOCAÇÃO

A baixa profundidade (ambiente epizonal) em que se deu a colocação dos magmas formadores do Granito Manda Saia é atestada pela presença de enclaves angulosos e pelo fato do plúton truncar abruptamente as foliações regionais, cujos padrões E-W não parecem ser influenciados pelo mesmo, o que revela um comportamento rígido das rochas encaixantes e demonstra o elevado contraste de viscosidade com o magma granítico quando de sua colocação. O maciço secciona na porção norte os granitoides mesoarqueanos do tipo TTG e Granodiorito Rio Maria, e nas suas porções leste e oeste, e ao longo de toda sua borda sul, os metabasaltos da sequência *greenstone belt* do Grupo Babaçu. A ausência de orientação, tanto do conjunto de enclaves, como nas principais variedades graníticas, reflete a ausência de esforços regionais quando da colocação do magma e confirmam tal contraste. Desse modo, é

lógico supor um magma ainda com baixa razão cristal/líquido quando da colocação, comportando-se como um fluido, estando, portanto, em estado físico e térmico distinto das suas rochas encaixantes.

A forma circular em mapa do Granito Manda Saia e a ocorrência de estruturas anelares delineadas por rochas densamente porfiríticas sugerem que o mesmo foi alojado ao longo de descontinuidades pré-existentes. Os contatos, ocasionalmente, em extensos segmentos retilíneos, com algumas reentrâncias angulares, indicam que o controle de colocação do mesmo se fez por fraturas anteriores à intrusão. Este controle na estruturação do corpo é reforçado pela coincidência das direções dos principais sistemas de fraturas em seu interior com os principais sistemas de lineamento regionais dominantes (NW-SE, N-S e NE-SW), que muito provavelmente controlaram a sua intrusão. Os dados obtidos sugerem, ainda, que os principais sistemas de fraturamentos estiveram ativos até o final da colocação do maciço servindo como condutos para líquidos tardios mais evoluídos, responsáveis pela formação de diques félsicos e bolsões pegmatoides encontrados localmente nas bordas do plúton.

A controvérsia relacionada ao transporte de magmas félsicos teve início quando alguns trabalhos restringiram a atuação do diapirismo, até então tido como principal (ou único) mecanismo de ascensão, em função de alguns parâmetros físicos limitantes (Petford 1996, Cruden 2005, Petford *et al.* 2000, Oliveira *et al.* 2010). Os argumentos defendem que o diapirismo na crosta era um processo inviável, limitado pela condutibilidade térmica do magma e velocidade excessivamente baixa dos diápiros, necessitando considerar uma crosta anormalmente quente para se tornar um processo eficiente (Marsh 1982, Mahon *et al.* 1988). Considerando suas restrições, o diapirismo parece constituir um mecanismo ainda mais inviável em crosta rasa, uma vez que as estruturas dúcteis observadas nas rochas encaixantes em torno do Granito Manda Saia não se ajustam àquelas geradas pela passagem de um diápiro em modelos experimentais.

As relações de contato do Granito Manda Saia com suas rochas encaixantes são análogas àquelas descritas para os demais corpos das suítes de granitos tipo-A de Carajás. A disposição destes plútons ao longo de um cinturão que segue o *trend* geral definido pelos enxames de diques félsicos e máficos, de orientação WNW-ESE a NNW-SSE e que coexistem com os plútons tipo-A, indicam que os mesmos foram colocados em um ambiente de tectônica extensional com o esforço seguindo o *trend* NNE-SSW a ENE-WSW. Conciliando a geometria tabular (lacólitos) inferida aos batólitos da Suíte Jamon (Oliveira *et al.* 2008), ao comportamento reológico de suas rochas encaixantes e a influência reduzida ou nula dos esforços regionais durante a colocação do Granito Manda Saia, é admitido que o

transporte do magma se deu através de diques (ver seção geológico na figura 2). Falhas profundas serviram como canal para ascensão do magma e as descontinuidades tectônicas representariam zonas de fraqueza que favoreceram a colocação em níveis crustais rasos. A tectônica extensional admitida para a colocação do plúton Manda Saia, assim como para os demais granitos tipo-A da Província Carajás, pode ser interpretada como consequência da fragmentação de um supercontinente paleoproterozoico em ~2.0 Ga associado a *underplating* de magmas mantélicos (Rämö *et al.* 2002, Dall’Agnol *et al.* 2005).

4 CONCLUSÕES

As rochas que constituem o Granito Manda Saia apresentam monótona variação textural e composicional. São classificados como leucogranitos (monzo- a sienogranitos) onde a biotita é o principal mineral ferromagnésiano. São rochas peraluminosas e possuem assinatura geoquímica de granitos tipo-A de ambiente intraplaca. As altas razões de $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ do plúton são análogas às encontradas para os granitos reduzidos das suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás. No entanto, os padrões ETR de suas amostras são afins daqueles fornecidos pelos granitos da Suíte Jamon. A ocorrência frequente de magnetita também demonstra a afinidade do Granito Manda Saia com as rochas mais evoluídas desta suíte. Este comportamento ambíguo pode indicar que as rochas estudadas foram formadas em condições relativamente oxidantes.

O Granito Manda Saia é formado por fusão de rochas quartzo-feldspáticas (granodioritos ou tonalitos), distintas daquelas de composição diorítica atribuída à formação das fácies mais precoces da Suíte Jamon. Assim como os demais granitos paleoproterozoicos da Província Carajás, pode-se afirmar que a colocação do Granito Manda Saia está ligada a uma tectônica extensional e o transporte de magma que resultou na colocação do plúton em níveis crustais rasos ($\sim 1,0 \pm 0,5$ kbar) é dada através de um sistema de alimentação via diques. Isto pode ser comprovado com base nos seguintes critérios: (i) diferença de idade entre o granito e suas rochas encaixantes (~ 1 Ga); (ii) alto contraste de viscosidade indicado pela presença de xenólitos angulosos da rocha encaixante no Granito Manda Saia e pelo fato de truncar as estruturas dúcteis de suas rochas encaixantes; (iii) influência reduzida ou nula dos esforços regionais durante a colocação do plúton, sugerido pela ausência de deformação no estado sólido; (iv) disposição dos plútons ao longo de um *trend* geral definido pelos enxames de diques; e (v) geometria tabular inferida para os batólitos da Suíte Jamon.

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. 2010. *Geologia, geoquímica, geocronologia e petrogênese das suítes TTG e dos leucogranitos arqueanos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Sudeste do Cráton Amazônico*. PhD Thesis, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 208p.
- 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**:103-126.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira D.C. 2006. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**(2):282-295.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.J.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*, **187**:201-221.
- Almeida J.A.C., Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Borges R.M.K. 2008. *Relatório de mapeamento geológico na escala 1:100.000 da Folha Marajoara (SB-22-ZC V)*. Programa Geobrasil. [S.l.], CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 147p.
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: The Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral Province, Brazil). *Precambrian Research*, **104**(3-4):187-206.
- Andersen T., Griffin W.L., Jackson S.E., Knudsen T.L., Pearson N. J. 2004. Mid-Proterozoic magmatic arc evolution at the southwest margin of the Baltic Shield. *Lithos*, **73**:289-318.
- Anderson J.L. 1983. Proterozoic anorogenic granite plutonism of North America. In: Medaris L.G., Mickelson D.M., Byers C.W., Shanks W.C. (eds.). *Proterozoic geology*. [S.l, s.n.], p.133–154. (Geol. Soc. Am. Mem, 161).
- Anderson J.L. & Bender E.E. 1989. Nature and origin of Proterozoic A-type granitic magmatism in the southwestern United States of America. *Lithos*, **23**(1-2):19–52.
- Anderson J.L. & Morrison J. 2005. Ilmenite, magnetite, and peraluminous mesoproterozoic anorogenic granites of Laurentia and Baltica. *Lithos*, **80**(1-4):45-60.
- Araújo O.J.B.; Maia R.G.N. 1991. Serra dos Carajás: Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Escala 1:250.000. Texto explicativo. Brasília,DF: DNPM/CPRM, 164 p. il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).
- 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. 149 p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Bard J.P. 1980. *Microtextures of igneous and metamorphic rocks*. Tokyo, D. Reidel Publishing Company, 246 p.

Bizzi L.A. *et al.* (ed.). 2003. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. Brasília, DF: CPRM, 692 p.

Bogaerts M., Scaillet B., Auwera J.V. 2006. Phase Equilibria of the Lyngdal Granodiorite (Norway): Implications for the Origin of Metaluminous Ferroan Granitoids. *Journal of Petrology*, **47**(12):2405–2431.

Bonin B. 1986. *Ring complex granites and anorogenic magmatism*. Orleans, BRGM, 189 pp.

Bonin B. 2007. A-type granites and related rocks: evolution of a concept, problems and prospects. *Lithos*, **97**:1–29.

Burnham C.W. 1979. Magmas and hydrothermal fluids. In: Barnes HL (ed) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. NY, John Wiley & Sons, p 71-136.

Clemens J.D., Holloway J.R., White A.J.R. 1986. Origin of an A-type granite: experimental constraints. *American Mineralogist*, **71**:317–324.

Collins W.J., Beams S.D., White A.J., Chappell B.W. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **80**(2):189–200.

Costa J.B.S., Araújo O.J.B., Santos A., Jorge João X.S., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 1995. A Província Mineral de Carajás: aspectos Tectono-Estruturais, Estratigráficos e geocronológicos. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, **7**:199-235.

Creaser R.A., Price R.C., Wormald R.J. 1991. A-type granites revisited: assessment of a residual-source model. *Geology*, **19**(2):163–166.

Cruden A.R. 2005. Emplacement and growth of plutons: implications for rates of melting and mass transfer in continental crust. In: Brown M. & Rushmer T. (eds.) *Evolution and differentiation of the Continental Crust*. Cambridge, Cambridge University Press. Chapter 13, p. 455-519.

Dall'Agnol R., Costi H.T., Leite A.A., Magalhães M.S., Teixeira N.P. 1999a. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. *Precambrian Research*, **95**(1-2):9-39.

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**(3-4):215–233.

Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S.L., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic Province, eastern Amazonian Craton. In: Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, p. 97-150.

Dall'Agnol R., Ramö O.T., Magalhães M.S., Macambira M.J.B. 1999b. Petrology of the anorogenic oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian Craton: implications for the genesis of Proterozoic, A-type Granites. *Lithos*, **46**(3):431-462.

Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Rämö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, rapakivi, A-type granites of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos*, **80**(1-4):102-129.

- Dall'Agnol R. *et al.* 2000. The Precambrian evolution of the amazonian craton: one of the last unknown Precambrian terranes in the world. *In: SBG, 31° International Geological Congress, 2000, Rio de Janeiro. Abstracts[...]*, Rio de Janeiro. 1 CD-ROM.
- Dall'Agnol R., Frost C.D., Rämö O.T., 2012. IGCP Project 510 "A-type granites and related rocks through time": project vita, results, and contribution to granite research. *Lithos*, **151**:1-16.
- Dall'Agnol R., Lafon J.M., Macambira M.J.B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, **50**:113–138.
- Dall'Agnol R., Oliveira D.C., Guimarães F.V., Gabriel E.O., Feio G.R.L., Lamarão C.N., Althoff F.J., Santos P.A., Teixeira M.F.B., Silva A.C., Rodrigues D.S., Santos M.J.P., Silva C.R.P., Santos R.D., Santos P.J.L. 2013. Geologia do subdomínio de transição do domínio carajás - implicações para a evolução Arqueana da Província Carajás - Pará. *In: SBG, 13° Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém (PA), Anais[...]*, 1 CD-ROM.
- Dall'Agnol R., Scaillet B., Pichavant M. 1999c. An experimental study of the Lower Proterozoic Jamon Granite, eastern Amazonian craton, Brazil. *Journal of Petrology*, **40**(11): 1673-1698.
- De La Roche H., Leterrier J., Grandclaude P., Marchal M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 R2- diagram and major-element analyses – its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, **29**(1-4):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**(3):135–149.
- Debon F. & Le Fort P. 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. *Bulletin on Mineralogy*, **111**(5):493-510.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992. *Rock-forming minerals*. Second Edition. London, Longmans (eds.). 696 p.
- Dowty E. 1980. Crystal growth and nucleation theory and the numerical simulation of igneous crystallization. *In: Hargraves R.B. (ed.). Physics of magmatic processes*. Princeton, NJ, Princeton University Press: 419–551.
- 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*, **42**(8):1199-1212.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.B., Gomes A.C.B., Sardinha A.S., Santos P.A. 2012. Geochemistry, geochronology, and origin of the Neorchean Planalto Granite Suite, Carajás, Amazonian Craton: A-type or hydrated charnockitic granites? *Lithos*, **151**:57-73.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J. 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: implication for crustal Evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, **227**:57-185.

- Foland K.A., Landoll, J.D., Henderson, C.M.B., Chen, J.F. 1993. Formation of cogenetic quartz and nepheline syenites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **57**:697–704.
- Fraga L.M.B., Dall'Agnol R., Costa J.B.S., Macambira M.J.B. 2009. The Mesoproterozoic Mucajaí anorthosite–mangerite–rapakivi granite complex, Amazonian craton, Brazil. *The Canadian Mineralogist*, **47**:1469–1492.
- Frost B.R., Barnes C., Collins W., Arculus R., Ellis D., Frost C. 2001. A chemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, **42**(11):2033–2048.
- Frost C.D., Frost B.R., Chamberlain K.R., Edwards B. 1999. Petrogenesis of the 1.43 Ga Sherman batholith, SE Wyoming, USA: a reduced, rapakivi-type anorogenic granite. *Journal of Petrology*, **40**(12):1771–1802.
- Frost C.D. & Frost B.R. 1997. Reduced rapakivi type granites: the tholeiitic connection. *Geology*, **25**:647–650.
- Frost C.D., Frost B.R., 2011. On ferroan (A-type) granitoids: their compositional variability and modes of origin. *Journal of Petrology*, **52**:39–55.
- Gabriel E.O. 2012. *Geologia, geoquímica e petrologia magnética dos granitoides arqueanos da porção Nordeste de Água Azul do Norte (PA) – Província Carajás*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 107 p.
- Gabriel E.O., Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos de alto magnésio da região de Água Azul do Norte, porção sul do 42 Domínio Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* **9**(3):533–564.
- Gabriel E.O., Oliveira D.C., Galarza Toro M.A., Santos M.S. 2015. Geocronologia e aspectos estruturais dos sanukitoides Mesoarqueanos da área de Água Azul do Norte: implicações para a história evolutiva da porção sul do Domínio Carajás. *In: SBG, 14º Simpósio de Geologia da Amazônia, Marabá (PA), Anais[...]*, 1 CD-ROM.
- Guimarães F.V., Dall'Agnol R., Oliveira D.C., Silva A.C., Teixeira M.F.B., Santos P.A. 2012. Geologia preliminar da porção Leste do Subdomínio de Transição da Província Carajás – PA. *In: SBG, 46º Congresso Brasileiro de Geologia, Santos-SP, Anais[...]*, 1 CD-ROM.
- Harker A. 1909. *The natural history of igneous rocks*. London, Methuen & Co.
- Hasui Y., Carneiro C.D.R., Almeida F.F.M., Bartorelli A. (eds.) 2012. *Geologia do Brasil*. São Paulo, Ed. Beca. 900p.
- Heinonen A., Fraga L., Rämö O.T., Dall'Agnol R., Mänttari I., Andersen T. 2012. Petrogenesis of the igneous Mucajaí AMG complex, northern Amazonian craton: Geochemical, U–Pb geochronological, and Nd–Hf–O isotopic constraints. *Lithos*, **151**:17–34
- Huppert H.E., Sparks R.S. 1988. The generation of granitic magmas by intrusion of basalt into continental crust. *Journal of Petrology*, **29**(3):599–624.
- Johansson A., Waight T., Andersen T., Simonsen S.L. 2016. Geochemistry and petrogenesis of Mesoproterozoic A-type granitoids from the Danish island of Bornholm, southern Fennoscandia. *Lithos*, **244**:94–108.
- Jung S., Hoernes S., Hoffer E. 2005. Petrogenesis of cogenetic nepheline and quartz syenites and granites (Northern Damara Orogen, Namibia): enriched mantle versus crustal contamination. *Journal of Geology*, **113**:651–672.

- Kerr P. 1959. *Optical mineralogy*. Third Edition. New York, McGraw-Hill Book Co., 492 p.
- King P.L., Chappell B.W., Allen C.M., White A.J.R. 2001. Are A-type granites the high temperature felsic granites? Evidence from fractionated granites of the Wangrah Suite. *Australian Journal of Earth Sciences*, **48**(4):501–514.
- Lafon J.M., Rodrigues E., Duarte K.D. 1994. Le granite Mata Surrão: um magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques trondhjemitiques granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2. Sciences de la terre et des planètes*, **318**(5):642–649.
- Lafon J.M., Macambira M.J.B., Pidgeon R.T. 2000. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). In: SBG, 31^o International Geological Congress, Rio de Janeiro. *Abstracts [...]* Rio de Janeiro, 2000. 1 CD-ROM.
- 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., 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**:447-458.
- Leite A.A.S. 2001. *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitoides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. PhD Thesis, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 330 p.
- Loiselle M.C. & Wones D.R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geological Society of America. Abstr. Prog.*, **11**:468.
- Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra*, **7**:263–288.
- Macambira M.J.B. & Lancelot J. 1991. Em busca do embasamento arqueano da região de Rio Maria, sudeste do Estado do Pará. In: SBG, 3^o Simpósio de Geologia da Amazônia, *Anais [...]*, Belém, 49-58.
- Macambira M.J.B. & Lancelot J.R. 1991. História arqueana da região de Rio Maria, SE do estado do Pará, registrada em zircões detríticos de *greenstone* belt e de cobertura plataformar. In: SBG-Núcleo Norte, 3^o Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. *Anais [...]*, Belém, p. 59-69.
- Mackenzie W.S., Donaldson C.H., Guilford C. 1982. *Atlas of igneous rocks and textures*. London, Longman. 148 p.
- Mahon K.I., Harrison T.M., Drew D.A. 1988. Ascent of a granitoid diapir in a temperature varying medium. *Journal of Geophysics*, **93**(B2):1174-1188.
- Marsh B.D. 1982. On the mechanics of igneous diapirism, stoping, and zone melting. *American Journal of Science*, **282**(6):808–855.

- McDonough W.F. & Sun S.S. 1995. Composition of the Earth. *Chemical Geology*, **120**(3-4):223-253. doi: 10.1016/0009-2541(94)00140-4.
- Medeiros H. & Dall'Agnol R. 1988. Petrologia da porção leste do batólito granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. *In: SBG, 35º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais[...]* Belém, SBG, v. 3, p. 1488-1499.
- Oliveira D.C. *Modelos de evolução e colocação dos Granitos Paleoproterozoicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico*. 2006. PhD Thesis, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 186 p.
- Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Silva J.B.C., Almeida J.A.C. 2008. Gravimetric, radiometric, and magnetic susceptibility study of the Paleoproterozoic Redenção and Bannach plutons: implications for architecture and zoning of A-type granites. *Journal of South American Earth Sciences*, **25**(1):100–115.
- Oliveira D.C., Sérgio P.N., Ricardo I.F.T., Roberto D.A., Gorki M., Paulo B.C. 2010. Magnetic anisotropy of the Redenção granite, eastern Amazonian craton (Brazil): implications for the emplacement of A-type. *Tectonophysics*, **493**(1-2):27-41.
- Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Barros C.E.M., Oliveira M.A. 2009. Geology, geochemistry and magmatic evolution of the Paleoproterozoic, anorogenic oxidized A-type Redenção granite of the Jamon Suite, eastern Amazon Craton, Brazil. *Canadian Mineralogist*, **47**(6):1441–1468.
- Patiño Douce A.E. 1997. Generation of metaluminous A-type granites by low-pressure melting of calc-alkaline granitoids. *Geology*, **25**(8):743–746.
- 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*, **25**(4):956-983.
- Petford N. 1996. Dikes or diapirs? *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, **87**(1-2):105–114.
- Petford N., Cruden A.R., McCaffrey K.J.W., Vignerresse J.L. 2000. Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust. *Nature*, **408**(6813):669.
- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos Terrenos Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *In: SBG, 38º Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú. Boletim de Resumos Expandidos*, p. 390-391.
- Ragland P.C. 1989. *Basic analytical petrology*. 2 ed. New York, Oxford University Press.
- Rämö O.T., Dall'Agnol R., Macambira M.J.B., Leite A.A.S., Oliveira D.C. 2002. 1.88 Ga oxidized A-type granites of the Rio Maria region, eastern Amazonian craton, Brazil: Positively anorogenic! *Journal of Geology*, **110**(5):603-610.
- Rämö O.T. & Haapala I. 1995. One hundred years of rapakivi granite. *Mineral Petrol*, **52**:129–185.
- Rämö O.T. & Haapala I. 2005. Rapakivi granites. *In: Lehtinen M., Nurmi P. A., Raamo O. T. (eds) Precambrian geology of Finland: Key to the Evolution of the Fennoscandian Shield*. Amsterdam, Elsevier, p. 533-562.
- Rivalenti G., Mazzuchelli M., Girardi V.A.V., Cavazzini G., Finatti C., Barbieri M.A., Teixeira W. 1998. Petrogenesis of the Paleoproterozoic basaltic- andesite-rhyolite dyke association in the Carajás region, Amazonian craton. *Lithos*, **43**(4):235-265.

Rodrigues E.S., Lafon J.M., Scheller T. 1992. Geocronologia Pb-Pb da Província Mineral de Carajás: primeiros resultados. *In: SBG, 37º Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo. Boletim de Resumos Expandidos*, 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: 4º South American Symposium on Isotope Geology, Salvador. Expanded Abstracts*, 1 CD-ROM.

Rollinson H.R. 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, and interpretation*. New York, Longman, 352 p.

Santos A. & Pena Filho J.I.C. 2000. *Xinguara: folha SB.22-Z-C. Estado do Pará, escala 1:250.000*. Brasília,DF: CPRM, 2000. 1 CD-ROM. (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil).

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, DF, CPRM- Serviço Geológico do Brasil, p. 169-226.

Santos M.N.S. & Oliveira D.C. 2015. Rio Maria Granodiorite and associated rocks of Ourilândia do Norte, Carajás Province: Geology and petrological affinities. *In: SBG, 14º Simpósio de Geologia da Amazônia, Anais[...]*, Marabá-Pa, 1 CD-ROM.

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

Santos R.D., Galarza Toro M.A., Oliveira D.C. 2013. Geologia, geoquímica e geocronologia do Diopsídio-Norito Pium, Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, **8**:355–382.

Santos R.F.S, Oliveira D.C., Silva F.F. 2018. Geocronologia U-Pb, classificação e aspectos evolutivos do Granito Marajoara, Província Carajás. *Geologia USP. Série Científica*, **18**(4):89-124. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v18-145323>.

Siegel K., Williams-Jones A.E., Hinsberg V.J. van 2017. The amphiboles of the REE-rich A-type peralkaline Strange Lake pluton –fingerprints of magma Evolution. *Lithos*, 288–289 (2017): 156–174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2017.07.012>.

Siiivola J. & Schmid R. 2007. Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks: List of mineral abbreviations. Web version 01.02.07. http://www.bgs.ac.uk/scmr/docs/papers/paper_12.pdf. IUGS Commission on the Systematics in Petrology.

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

Silva F. F., Oliveira D.C., Antonio P.Y.J., D’Agrella-Filho M.S.L., Lamarão C.N. 2015. Bimodal magmatism of the Tucumã area, Carajás Province: U-Pb geochronology, classification and processes. *In: SBG, 14º Simpósio de Geologia da Amazônia, Anais[...]*, Marabá, 1 CD-ROM.

Skjerlie K.P. & Johnston A.D. 1993. Fluid-absent melting behavior of F-rich tonalitic gneiss at mid-crustal pressures: implications for the generation of anorogenic granites. *Journal of Petrology*, **34**(4):785–815.

- Smith J.V. 1974. *Feldspar minerals*. New York, Springer-Verlag. 690 p.
- Souza S.Z., Dall'Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S., Barros C.E.M. 1996. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic constrasts on the Archean evolution of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain and the Carajás block. *In: SBG, Symposium on Archean Terranes of South America Platform*. Brasília, DF. *Extended Abstracts* v. 1, p. 31-32.
- 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**(3):293–315.
- Streckeisen A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, **12**(1):1-33.
- Sylvester P.J. 1989. Post-collisional alkaline granites. *Journal of Geology*, **97**(3):261-280.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M. 2004. A evolução tectônica do Craton Amazônico. *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, p. 471-486.
- Teixeira N.P. 1999. Contribuição ao estudo das rochas granitoides e mineralizações associadas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. TS, Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 508 p.
- Vance J.A. 1965. Zoning in igneous plagioclase: patchy zoning. *The Journal of Geology*, **73**(4):636-651.
- Vasquez M.L., 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. 2008. *In: Vasquez M.L. & Rosa-Costa L.T. (org.s). 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*. Escala 1:1.000.000. Belém, CPRM, 329 p.
- Wedepohl F.H. 1970. *Rubidium, handbook of geochemistry*. Berlin, Springer-Verlag, p. 37-B-37-N.
- Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-types granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis, *Contributions of Mineralogy and Petrology*, **95**(4):407–419.