Universidade Federal do Pará Faculdade de Geologia Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATRICK ARAÚJO DOS SANTOS

PETROGRAFIA, SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO GRANITO RIO BRANCO - PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS, SUDESTE DO PARÁ

BELÉM – PARÁ

2010

PATRICK ARAUJO DOS SANTOS

PETROGRAFIA, SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO GRANITO RIO BRANCO - PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS, SUDESTE DO PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Bacharel em Geologia.
Orientador: Prof. Dr. Roberto Dall'Agnol.

BELÉM - PA
2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

Sp Santos, Patrick Araújo

Petrografia, suscetibilidade magnética**,** geoquímica e geocronologia do Granito Rio Branco - Província Mineral de Carajás, sudeste do Pará / Patrick Araújo dos Santos; Orientador: Roberto Dall'Agnol – 2010

96 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2009.

1. Petrografia 2. suscetibilidade magnética 3. Geoquímica 4. Geocronologia 5. Granito Rio Branco 6. Província Mineral de Carajás. I. Universidade Federal do Pará. II. Dall'Agnol, Roberto, *orient*. III. Título.

PATRICK ARAÚJO DOS SANTOS

PETROGRAFIA, SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA, GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DO GRANITO RIO BRANCO - PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS, SUDESTE DO PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Data de Aprovação: ___/___/___

Conceito: _____

Banca Examinadora:

_____

Prof. Roberto Dall'Agnol – Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

_____

Prof. Régis Munhoz Krás Borges – Relator
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

_____

Prof. Membro
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

À minha família: Jaime Amaral (pai), Rossi Araujo (mãe), Murilo dos Santos (irmão) e Hellen Barros (noiva).

AGRADECIMENTOS

Registro meus sinceros e profundos agradecimentos às pessoas e entidades que direta ou indiretamente prestaram sua contribuição para que este trabalho fosse concluído com êxito, em especial:

- À Universidade Federal do Pará (UFPA) que através do Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, pelo fornecimento de infra-estrutura necessária à realização deste trabalho.

- Ao CNPq/Pibic pela concessão da bolsa de estudo durante o decorrer desta pesquisa.

- Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Rochas Granitóides (GPPG), do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, pelo suporte técnico-científico indispensável ao desenvolvimento deste trabalho.

- Ao Prof. Dr. Roberto Dall'Agnol, por sua orientação, confiança, paciência, motivação e amizade demonstrados ao longo deste trabalho.

- À geol. Gilmara Regina Feio (co- orientadora), que teve participação integral na elaboração deste trabalho. Agradeço por sua disponibilidade absoluta, sua forma exigente, seus incentivos e ensinamentos. Com impaciência, paciência e apoio, influenciou diretamente na minha iniciação à pesquisa científica.

- Ao Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira, pela imensa ajuda e trocas de informações na etapa de campo, bem como discussões referentes ao tema da pesquisa.

- Aos Professores Dr. Hilton T. Costi e Dr. Albano A.S. leite, pelo apoio concedido na obtenção dos dados de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

- Ao Prof. Dr. Marco Antônio Galarza, por toda dedicação e inestimável ajuda dada no decorrer das análises geocronológicas e no tratamento dos dados.

- Ao Prof. Dr. Régis Munhoz Kraz Borges, relator e avaliador deste trabalho, pelas criticas e sugestões.

- Aos colegas do GPPG (Marcelo Augusto, José de Arimatéia, Fabriciana Guimarães, Samantha Dias, Antonio Paiva, Ana Tayla, Gilmara Feio, Adriel, Nathan), pelo companheirismo, críticas e sugestões, além de me proporcionarem um agradável ambiente de trabalho.

- Aos amigos da turma de Geologia 2005, em particular ao Eduardo Souza, Fabrício Araujo, João Neto, Diogo Corrêa, Jeremias Feitosa, Bruno Leal e Luciana Brelaz, componentes da "DIRETORIA", pela fiel amizade estabelecida ao longo da graduação.

- À família Araújo dos Santos, pelo imenso apoio e incentivo para a realização deste sonho. Agradeço ainda a compreensão pelos momentos que estive ausente.

- À Hellen Vivianne Lima de Barros (minha noiva), por todo o carinho, apoio, força, incentivo, paciência e amizade. Sem dúvida, esta foi a pessoa mais presente na minha vida durante todo o período de graduação, principalmente nos momento mais difíceis.

- A Srª Rossi Araújo (minha mãe), uma grande mulher, que me proporcionou educação de base e sabedoria. Sempre me deu amor, carinho e coragem para que eu pudesse enfrentar as dificuldades, conquistar meus objetivos e construir os meus próprios caminhos.

“Inteligência e sabedoria nem sempre andam juntas.
São águas que não brotam na mesma fonte.
Já encontrei pessoas de sabedoria brilhante, mas pouco sábias.
O contrario também é verdadeiro.”
Pe.Fábio de Melo

RESUMO

O Granito Rio Branco, um stock paleoproterozóico de 31 km^2, intrusivo no biotita-monzogranito foliado cálcico-alcalino arqueano da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás, é constituído por sienogranitos não deformados e isotrópicos, hololeucocráticos de granulação média. A mineralogia é formada por feldspato alcalino pertítico, quartzo e plagioclásio, tendo biotita cloritizada. Fluorita, allanita e zircão aparecem como minerais acessórios e, magnetita, pirita e calcopirita são escassas. Estudos de microscopia eletrônica de varredura revelaram a presença Ce-fluorita, xenotima e minerais de terras-raras pesados. Albitização e greisenização são os principais processos de alteração que afetaram intensamente o granito, sendo a mineralogia dada por albita, fluorita, topázio, clorita, muscovita, siderofilita e óxidos e/ou hidróxidos de ferro. O Granito Rio Branco apresenta valores de suscetibilidade magnética (SM) variando de 1,3 x 10^{-5} a 6,96 x 10^{-4} (SI), típico de granitos reduzidos. Geoquimicamente, este corpo mostra afinidades com granitos intraplaca e tipo-A do subtipo A2, ferrosos. É subalcalino, metaluminoso a peraluminoso, possui altas razões FeOt/(FeOt+MgO). Os padrões dos ETR revelam um ligeiro enriquecimento de ETR leves em relação ao ETR pesados e anomalia negativa acentuada de Eu (Eu/Eu*=0,08-0,13), exibindo feição em “gaivota”, característica de granitos evoluídos. O conjunto de dados obtidos demonstra o caráter evoluído do Granito Rio Branco e sua derivação a partir de líquidos enriquecidos em voláteis, causadores das transformações hidrotermais tardias. O estudo comparativo deste corpo com aqueles das suítes anorogênicas da Província Mineral de Carajás sugere que o Granito Rio Branco possui maior afinidade com os granitos das suítes Velho Guilherme e, em menor grau, Serra dos Carajás. Por outro lado, é claramente distinto da Suíte Jamon. Duas ocorrências menores de granitos isotrópicos localizados próximos a Vila Serra Dourada e a norte do stock Planalto também apresentam composição sienogranítica.

Palavras-chave: Petrografia, suscetibilidade magnética, geoquímica, geocronologia, Granito Rio Branco, Província Mineral de Carajás.

ABSTRACT

The Paleoproterozoic Rio Branco stock covers an area of ~31 km^2 and is intrusive in Archean calc-alkaline foliated biotite-bearing monzogranite of the Canaã dos Carajás region, Carajás Mineral Province. It is constituted by undeformed and isotropic, hololeucocratic syenogranite, showing equigranular texture. The granite is formed essentially by perthite alkali feldspar, quartz, and plagioclase, with additional variable amounts of chloritized biotite. Fluorite, allanite, and zircon are accessory minerals, whereas magnetite, pyrite, and chalcopyrite are scarce. Scanning electron microscopy studies indicate that these rocks also contain Ce-fluocerite, xenotime, and heavy rare earth minerals. Albitization and greisenization are the main alteration processes that affected the granite, being the mineralogy represented by albite, fluorite, topaz, chlorite, muscovite, siderophyllite, and iron oxides. Magnetic susceptibility values vary between 1,3 x 10^{-5} a 6,9 x 10^{-4} (SI), which indicate the reduced character of the granite. Geochemistry data on the Rio Branco Granite demonstrate its affinity with reduced A2-type intraplate granite. It is subalkaline, metaluminous to peraluminous and shows high FeOt/(FeOt+MgO). The rare earth element (REE) patterns are flat with little heavy REE fractionation and show accentuated negative Eu anomalies (Eu/Eu*=0,08-0,13). These characteristics are typical of evolved granites, derived from volatile-enriched liquids responsible by the intense subsolidus hydrothermal alteration. The dating of the Rio Branco granite did not give conclusive results, due to the metamictic state of the zircon, but the obtained data, associated with geological evidence, suggest that the granite is Paleoproterozoic. The comparison between the Rio Branco granite and Paleoproterozoic A-type suites of the Carajás Province suggests that the Rio Branco granite presents greater affinity with the Velho Guilherme suite and, in lesser degree, with the Serra dos Carajás suite. On the other hand, it is clearly distinct of the oxidized A-type granites of the Jamon Suite. Two minor occurrences of isotropic granites located near the Serra Dourada village and to the north of the Planalto stock are also of syenogranitic composition.

Key-words: Petrography, magnetic susceptibility, geochemistry, geochronology, Rio Branco Granite, Carajás Mineral Province.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de Localização, destacando a área de ocorrência do Granito Rio Branco. 26

Figura 2 - a) Mapa simplificado das províncias tectônicas do Estado do Pará, ressaltando os domínios Carajás (1) e o Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (2) da Província Carajás b) Mapa Geológico simplificado da Província Mineral de Carajás, destacando as suítes anorogênicas e o Granito Rio Branco. 29

Figura 3- a) Visão tomada a partir de oeste da serra que compõe o corpo Rio Branco, mostrando a proximidade deste com a mina do Sossego; as rochas em primeiro plano correspondem ao monzogranito foliado cálcico-alcalino, que é intrudido pelo *stock* Rio Branco; b) Visão panorâmica tomada a partir de leste, mostrando a paisagem de morros salientes na topografia que formam o corpo; c) Exposição do Granito Rio Branco em forma de blocos métricos; d) Visão geral de afloramentos em forma de lajedos ou blocos métricos. 35

Figura 4- a) Imagem de radar, mostrando uma visão geral do Granito Rio Branco, que se distingue de suas encaixantes pelo relevo mais expressivo; b) Imagem SRTM (*Shutter Radar Topography Mission* - NASA) mostrando as dimensões do Granito Rio Branco. Notar que as maiores elevações estão relacionadas com o corpo Rio Branco e as menores com suas encaixantes; c) Imagem de fusão de aerogamaespectrometria (canal do Th) e imagem SRTM, mostrando anomalia radiométrica positiva e contraste entre o Granito Rio Branco e suas encaixantes....36

Figura 5- Mapa Geológico da Região de Canaã dos Carajás 37

Figura 6- Mapa geológico do Granito Rio Branco. 38

Figura 7- Diagramas modais Q-A-P (campos segundo STRECKEISEN, 1976) e Q-(A+P)-M' para as rochas estudadas. 40

Figura 8- Aspectos texturais do Granito Rio Branco: a) sienogranito isotrópico de coloração rosada; b) Granito albitizado de coloração esbranquiçada; c) textura equigranular hipidiomórfica; d) Intercrescimentos granofíricos embrionários; e) Cristal de biotita cloritizada intergranular; f) Cristal subédrico de fluorita em contato com feldspato alcalino; g) Cristal de allanita com zoneamento bem marcado e metamictizada associada à biotita; h) cristal euédrico e zonado de zircão. 45

Figura 9- a) Desenvolvimento de albita intergranular em coroas trocadas; b) albita em dedos substituindo o feldspato alcalino; c) albita da variedade em tabuleiro de xadrez; d) cristal de topázio substituído por muscovita; e) associação hidrotermal, composta por topázio e muscovita substituindo plagioclásio; f) Concentrações de minerais máficos, a base de siderofilita e opacos, com fluorita associada.....46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de Localização, destacando a área de ocorrência do Granito Rio Branco. 26

Figura 2 - a) Mapa simplificado das províncias tectônicas do Estado do Pará, ressaltando os domínios Carajás (1) e o Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (2) da Província Carajás b) Mapa Geológico simplificado da Província Mineral de Carajás, destacando as suítes anorogênicas e o Granito Rio Branco. 29

Figura 3- a) Visão tomada a partir de oeste da serra que compõe o corpo Rio Branco, mostrando a proximidade deste com a mina do Sossego; as rochas em primeiro plano correspondem ao monzogranito foliado cálcico-alcalino, que é intrudido pelo *stock* Rio Branco; b) Visão panorâmica tomada a partir de leste, mostrando a paisagem de morros salientes na topografia que formam o corpo; c) Exposição do Granito Rio Branco em forma de blocos métricos; d) Visão geral de afloramentos em forma de lajedos ou blocos métricos. 35

Figura 4- a) Imagem de radar, mostrando uma visão geral do Granito Rio Branco, que se distingue de suas encaixantes pelo relevo mais expressivo; b) Imagem SRTM (*Shutter Radar Topography Mission* - NASA) mostrando as dimensões do Granito Rio Branco. Notar que as maiores elevações estão relacionadas com o corpo Rio Branco e as menores com suas encaixantes; c) Imagem de fusão de aerogamaespectrometria (canal do Th) e imagem SRTM, mostrando anomalia radiométrica positiva e contraste entre o Granito Rio Branco e suas encaixantes....36

Figura 5- Mapa Geológico da Região de Canaã dos Carajás 37

Figura 6- Mapa geológico do Granito Rio Branco. 38

Figura 7- Diagramas modais Q-A-P (campos segundo STRECKEISEN, 1976) e Q-(A+P)-M' para as rochas estudadas. 40

Figura 8- Aspectos texturais do Granito Rio Branco: a) sienogranito isotrópico de coloração rosada; b) Granito albitizado de coloração esbranquiçada; c) textura equigranular hipidiomórfica; d) Intercrescimentos granofíricos embrionários; e) Cristal de biotita cloritizada intergranular; f) Cristal subédrico de fluorita em contato com feldspato alcalino; g) Cristal de allanita com zoneamento bem marcado e metamictizada associada à biotita; h) cristal euédrico e zonado de zircão. 45

Figura 9- a) Desenvolvimento de albita intergranular em coroas trocadas; b) albita em dedos substituindo o feldspato alcalino; c) albita da variedade em tabuleiro de xadrez; d) cristal de topázio substituído por muscovita; e) associação hidrotermal, composta por topázio e muscovita substituindo plagioclásio; f) Concentrações de minerais máficos, a base de siderofilita e opacos, com fluorita associada.....46

Figura 10- Aspectos texturais da ocorrência de Serra Dourada: a) sienogranito isotrópico de coloração rosada; b) textura hipidiomórfica; c) Cristal grosso de plagioclásio; d) agregados máficos; e) cristais de zircão; f) cristal de allanita; g) cristal de prehnita com hábito fibro-radial; h) cristais de turmalina. 49

Figura 11- Aspectos texturais da ocorrência do Corpo Planalto: a) sienogranito isotrópico de coloração rosada e tonalidades amareladas; b) textura hipidiomórfica; c) Cristal de plagioclásio com textura em synneusis; d) agregados máficos; e) cristais de clorita; f) albita intergranular. 50

Figura 12- Imagem obtida por elétrons retro-espalhados em cristal de fluorita do Granito Rio Branco, juntamente com seus espectros, mostrando a variação da quantidade de Y ao longo do cristal. 51

Figura 13 - Imagem obtida por elétrons retro-espalhados em cristal de zircão do Granito Rio Branco, juntamente com seus espectros, mostrando o aspecto em 'peneira' do núcleo que é rico em inclusões e distinto da borda. 52

Figura 14- Imagem obtida por elétrons retro-espalhados em cristais de zircão, xenotima e Ce-fluorcerita do Granito Rio Branco, juntamente com seus espectros..53

Figura 15 - Imagens obtidas por elétrons retro-espalhados em (a) cristais de topázio e muscovita e (b) siderofilita do Granito Rio Branco, juntamente com seus respectivos espectros.....54

Figura 16 - Diagrama ternário FeO-TiO_2-Fe_2O_3 (simplificado), mostrando os minerais óxidos de Fe e Ti mais comuns. As retas em vermelho indicam o aumento da oxidação, da esquerda para a direita, com a razão Fe:Ti constante. 56

Figura 17 - a) Histograma e (b) gráfico de probabilidade normal referente aos dados de SM das amostras estudadas. 59

Figura 18- Principal modo de ocorrência dos minerais óxidos de Fe e Ti no Granito Rio Branco: a; b; e; f) Cristais de hematita associados à biotita cloritizada, dispostos entre os planos de clivagem deste mineral; c;d) Cristais de hematita intersticiais a feldspatos e quartzo. a, c – fotomicrografias em luz transmitida e nicóis paralelos; b, d, e, f – fotomicrografias em luz refletida e nicóis paralelos. 61

Figura 19- Amostra de mais alta suscetibilidade magnética do Granito Rio Branco: a;b;c;d) Cristais subédricos a euédricos de magnetita mostrando incipiente martitização. Em todos os casos a martita é representada pelas lamelas cinza claro, as quais se desenvolvem preferencialmente nas bordas da magnetita hospedeira; Diminutos cristais subédricos de (e) pirita e (f) calcopirita. Fotomicrografias em luz refletida e nicóis paralelos. 62

Figura 20 – Granito da ocorrência de Serra Dourada: a; b) Finos cristais de hematita, dispostos entre os planos de clivagem de biotita cloritizada; c ;d) Cristais subédricos

de magnetita associados com clorita; e) Cristal de magnetita fortemente oxidado e martitizado, intercrescido com ilmenita tipo T. a, c – Fotomicrografia em luz transmitida e nicóis paralelos; b, d, e – Fotomicrografia em luz refletida e nicóis paralelos.....63

Figura 21 – Granito da ocorrência do Corpo Planalto: a ;b) Finos cristais de hematita, dispostos entre os planos de clivagem de biotita cloritizada; c ;d) Cristais subédricos de magnetita; e) Cristal de magnetita exibindo associações com martita. a, c – Fotomicrografia em luz transmitida e nicóis cruzados; b, d, e – Fotomicrografia em luz refletida e nicóis paralelos. 64

Figura 22 - a) Diagrama discriminante de ambiente tectônico (PEARCE et al.1984) para o Granito Rio Branco; b) diagrama discriminante de granitóides tipo-A de Whalen et al. (1987); c) Diagrama Nb-Y-3Ga (EBY, 1992), mostrando a distribuição do Granito Rio Branco; d) diagrama A/CNK *vs* A/NK (proporções moleculares; SHAND, 1922), mostrando o caráter metaluminoso do Granito Rio Branco, passando a peraluminoso quando afetado por albitização. 69

Figura 23- Diagramas de variação de Harker para os óxidos dos elementos maiores e menores (% em peso) para o Granito Rio Branco. As setas indicam as variações dos elementos para as amostras afetadas por processos de albitização. Simbologia conforme a figura 22. 70

Figura 24 - Diagramas de variação de Harker para os elementos traços (em ppm) para o Granito Rio Branco. As setas indicam as variações dos elementos para as amostras afetadas por processos de albitização. Simbologia conforme a figura 22. 71

Figura 25 - a) Padrões de distribuição dos ETR normalizados pelo condrito (EVENSEN et al.1978) para as amostras representativas do Granito Rio Branco. b) Padrão correspondente ao biotita-sienogranito; c) biotita-sienogranito greisenizado; d) biotita-sienogranito albitizado.....72

Figura 26 - Diagramas de caracterização geoquímica do Granito Rio Branco: a) Na_2O *versus* K_2O (% em peso); b) FeOt/(FeOt+MgO) *versus* SiO_2; c) FeOt/(FeOt+MgO) *versus* Al_2O_3; d) Rb-Sr-Ba. Neste último, os campos correspondem a (1) Diorito, (2) granodiorito e quartzo diorito, (3) granitos anômalos, (4) granitos normais e (5) granitos extremamente diferenciados. Simbologia conforme a figura 22. 73

Figura 27- Cristais de zircão do Granito Rio Branco, amostra ARC-137. a e b) Fotomicrografias; c e d) Imagens obtidas por elétrons retro-espalhados. 75

Figura 28 - Diagrama de barras mostrando a média das idades de 6 cristais de zircão da amostra GRD-77, correspondente à ocorrência granítica de Serra Dourada. 76

Figura 29 - Diagrama Q-A-P, mostrando os campos de distribuição das variedades petrográficas da Suíte Jamon (em azul), Suíte Serra dos Carajás (em laranja) e Suíte Velho Guilherme (em verde) (Campos baseados em DALL'AGNOL et al., 2005). Os círculos em vermelho representam as composições modais de amostras do Granito Rio Branco.....79

Figura 30 - Histograma (a) e polígono de frequência (b) comparativos dos valores de SM das suítes anorogênicas da Província Mineral de Carajás (MAGALHÃES et al. 1994; DALL'AGNOL et al. 2005) e os valores obtidos para as amostras do Granito Rio Branco.....83

Figura 31 - Diagramas de comparação das características geoquímicas dos granitos Redenção (Suíte Jamon), Serra dos Carajás (Suíte Serra dos Carajás), Antonio Vicente e Velho Guilherme, (Suíte Velho Guilherme), e do Granito Rio Branco. Dados das suítes mencionadas baseados em Dall'Agnol et al.(2005).....84

Figura 32 - Padrões de distribuição dos ETR para as fácies mais evoluidas das Suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme e do Granito Rio Branco. Dados das suítes baseados em Dall'Agnol et al.(2005). 85

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO 24

1.1 APRESENTAÇÃO 24

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO 25

1.3 GEOLOGIA REGIONAL 27

1.4 JUSTIFICATIVA 30

1.5 OBJETIVOS 31

1.6 MATERIAIS E MÉTODOS 31

CAPÍTULO 2 – GEOLOGIA DO GRANITO RIO BRANCO 34

CAPÍTULO 3 – PETROGRAFIA 39

3.1 ANÁLISE MODAL 39

3.2 OBSERVAÇÕES MINERALÓGICAS E TEXTURAIS 42

3.3 ESTUDOS MINERALÓGICOS COMPLEMENTARES 51

CAPÍTULO 4 – PETROLOGIA MAGNÉTICA 55

4.1 ASPECTOS GERAIS 55

4.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS 57

4.3 MINERAIS ÓXIDOS DE Fe E Ti 60

CAPÍTULO 5 – GEOQUÍMICA 65

CAPÍTULO 6 – GEOCRONOLOGIA 74

CAPÍTULO 7 - ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O GRANITO RIO BRANCO E AS OCORRÊNCIAS GRANÍTICAS DE SERRA DOURADA E CORPO PLANALTO E OS GRANITOS TIPO A DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS 78

CAPITULO 8 - CONCLUSÕES 87

REFERENCIAS 89

ANEXO - Lista de Afloramentos do Granito Rio Branco 97

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A Província Mineral de Carajás é marcada por dois episódios de geração de magma tipo-A, os quais são: a) episódio neo-arqueano, responsável pela geração do Complexo Estrela, do Granito Serra do Rabo e da Suíte Planalto (BARROS et al., 2004; FEIO, 2009; HUHN et al., 1999; SARDINHA et al., 2006); b) episódio paleoproterozóico, em que se deu a formação das suítes Velho Guilherme, Serra dos Carajás e Jamon (DALL'AGNOL et al., 2005 e referências contidas naquele trabalho).

Granitos tipo-A foram inicialmente descritos por Loiselle e Wones (1979) como rochas alcalinas formadas em um ambiente relacionado à rifte ou anorogênico, exibindo baixos conteúdos de Al_2O_3 e CaO, altos valores de elementos com elevada carga iônica (Zr, Y, Nb e similares), alta razão FeO/(FeO+MgO), baixa fugacidade de oxigênio e reduzido conteúdo de água. Entretanto, posteriormente, granitos tipo-A oxidados também foram reconhecidos (ANDERSON ; SMITH, 1995; ANDERSON; MORRISON, 2005; DALL'AGNOL et al., 1997a, 1999b).

O Granito Rio Branco, objeto central do presente estudo, ocorre no sudeste do estado do Pará, nas circunvizinhanças da cidade de Canaã dos Carajás. Apresenta características de campo similares às dos granitos tipo-A descritos por Dall'Agnol et al. (2005). Além dele, há duas intrusões menores de granitos isotrópicos, que ocorrem nas localidades de Serra Dourada e na área-tipo do Granito Planalto. Entretanto, anteriormente a este estudo, não estava claro se tais rochas pertencem aos granitos das suítes anorogênicas presentes na Província Mineral de Carajás ou se são fácies menos deformadas de granitos tipo-A neoarqueanos (ex. Suíte Planalto). Portanto, estudos geológicos mais detalhados eram imprescindíveis para melhor caracterizar os pequenos corpos graníticos mencionados e permitir sua eventual correlação com as suítes paleoproterozóicas ou com a Suíte Planalto.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O Granito Rio Branco está localizado na região de Canaã dos Carajás, próximo à mina de cobre do Sossego, no sudeste do Estado do Pará. Partindo de Belém, o acesso ao granito pode ser feito por via terrestre ou aérea até a cidade de Marabá, seguindo-se desta em direção à Parauapebas por via terrestre pelas rodovias PA-150 e PA-275. O acesso ao município de Canaã dos Carajás se dá por estrada pavimentada, ligando o terminal ferroviário de Parauapebas com a cidade de Canaã dos Carajás e com a mina do Sossego. As demais apófises de granitos isotrópicos localizam-se próximo aos vilarejos de Serra Dourada e a leste de Vila Planalto, ainda nas vizinhanças de Canaã dos Carajás (Figura 1).

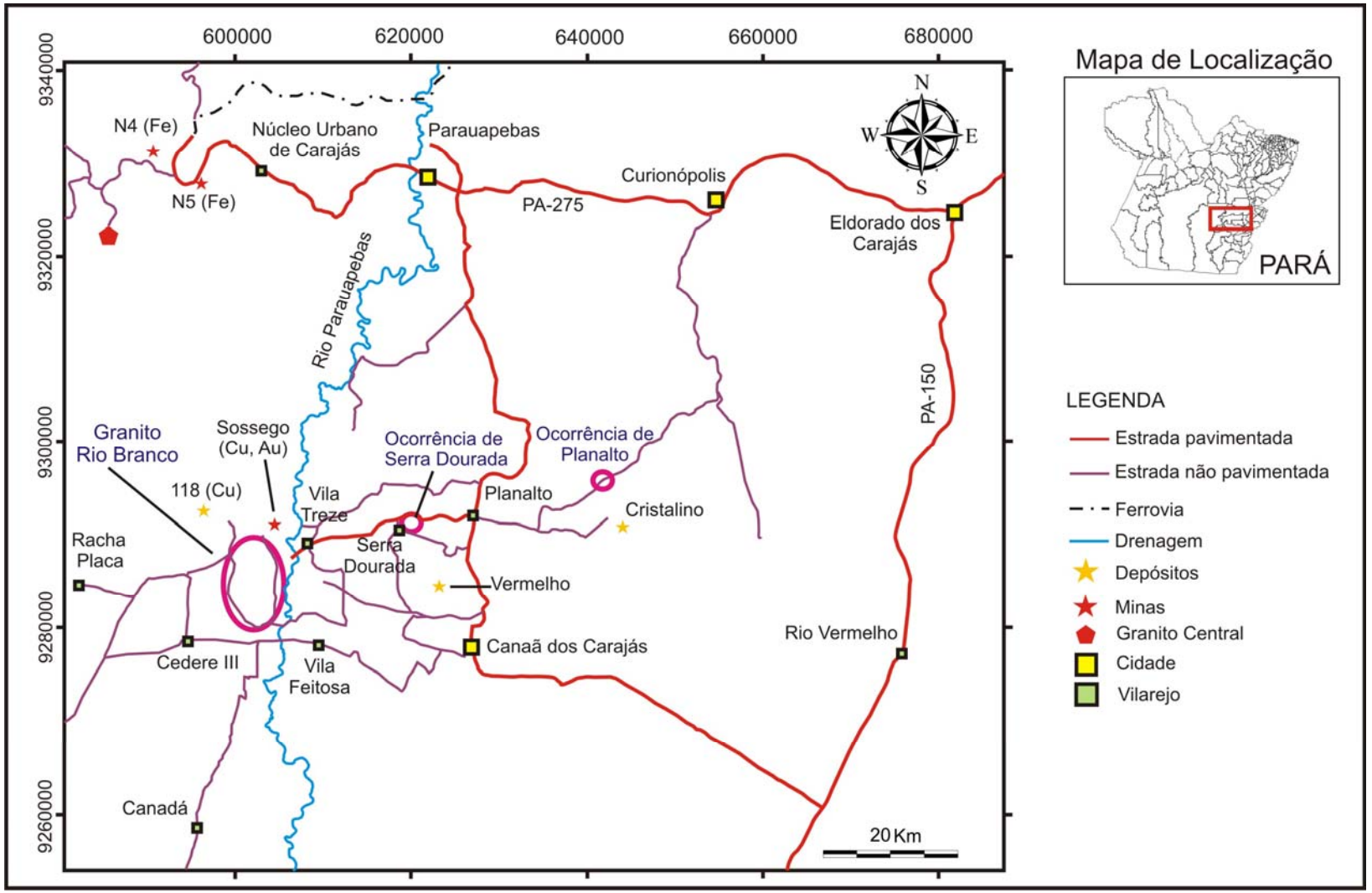

Figura 1- Mapa de Localização, destacando a área de ocorrência do Granito Rio Branco.

1.3 GEOLOGIA REGIONAL

A Província Mineral de Carajás (PMC) está localizada na porção sul-oriental do Cráton Amazônico, o qual compreende terrenos arqueanos e proterozóicos. Cordani e Sato (1999), Tassinari e Macambira (1999, 2004), Santos et al. (2000, 2003) consideram que o Cráton Amazônico é dividido em províncias geocronológicas, formadas em torno de um núcleo arqueano alongado na direção NW/SE, denominado originalmente Província Amazônia Central (TEIXEIRA et al. 1989), seguido de retrabalhamentos e acresção crustal ao longo de cinturões móveis.

Souza et al. (1996) subdividiram a Província Mineral de Carajás em dois blocos distintos, denominados de Rio Maria e Carajás. Esta proposta tem sido fortalecida ao longo do tempo (DALL'AGNOL et al. 2006), tendo sido assumida a existência dos dois domínios mencionados no recente mapa geológico do estado do Pará (Figura 2a, Vasquez et al. 2008).

O domínio Rio Maria é formado por *greenstone belts* (Supergrupo Andorinhas) e granitóides tonalítico-trondhjemítico-granodioríticos (TTG - Tonalito Arco Verde, Trondhjemito Mogno, Tonalito Mariazinha, Complexo Tonalítico Caracol e Trondhjemito Água Fria), granitóides com alto Mg dominantemente granodioríticos (Granodiorito Rio Maria e rochas afins), e granitos (granitos Xinguara, Mata Surrão, Guarantã e correlatos). As diversas unidades mencionadas possuem idades arqueanas (2,97 a 2,86 Ga; ALMEIDA, 2010 em preparação; DALL'AGNOL et al., 2006; GUIMARÃES et al., 2009 submetido; LEITE, 2001; MACAMBIRA; LAFON, 1995, PIMENTEL; MACHADO, 1994).

O domínio Carajás é constituído de granulitos máficos do Complexo Pium (3,00 Ga; PIDGEON et al. 2000) e gnaisses quartzo-feldspáticos do Complexo Xingu (SILVA et al., 1974; 2,97 Ga, AVELAR, 1996); seqüências metavulcano-sedimentares do Supergrupo Itacaiúnas (2,76 Ga; MACHADO et al. 1991) e granitóides diversos de 2,76 a 2,56 Ga (Complexo Granítico Estrela, granitos Planalto, Serra do Rabo, Old Salobo, Suíte Plaquê – ARAÚJO et al. 1988; BARROS, 1997; HUHN et al. 1999; LINDENMAYER, 1990; SARDINHA, 2002).

Nesse contexto, diversos granitos tipo-A paleoproterozóicos cortam as unidades arqueanas, tanto do domínio Rio Maria, quanto do domínio Carajás. Esse magmatismo paleoproterozóico foi dividido em três suítes (Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme), conforme suas características petrográficas e geoquímicas e o

grau de oxidação de seus magmas (DALL'AGNOL et al. 2005). Os granitos tipo-A oxidados, intrusivos em rochas arqueanas do domínio Rio Maria, foram agrupados na Suíte Jamon, representada pelos granitos Jamon, Musa, Marajoara, Manda Saia, Redenção e Bannach. Já os granitos tipo-A moderadamente reduzidos, intrusivos em rochas arqueanas da Bacia Carajás e do Domínio de transição foram englobados na Suíte Serra dos Carajás, representada pelos granitos Serra dos Carajás, Pojuca e Cigano (Figura 2b, DALL'AGNOL et al. 1999, 2005, 2006). Mais recentemente, o Granito Seringa também foi correlacionado à Suíte Serra dos Carajás (PAIVA JR., 2009). Na região do Xingu, os granitos estaníferos da Suíte Velho Guilherme (TEIXEIRA, 1999; TEIXEIRA et al. 2002) cortam o complexo Xingu e rochas vulcânicas intermediárias e félsicas do Supergrupo Uatumã. Diques félsicos a máficos, contemporâneos dos granitos proterozóicos, seccionam tanto as unidades arqueanas quanto os granitos paleoproterozóicos (FERREIRA, 2009; GASTAL, 1987; HUHN et al. 1988; SOUZA et al. 1990; SILVA Jr. et al. 1999;).

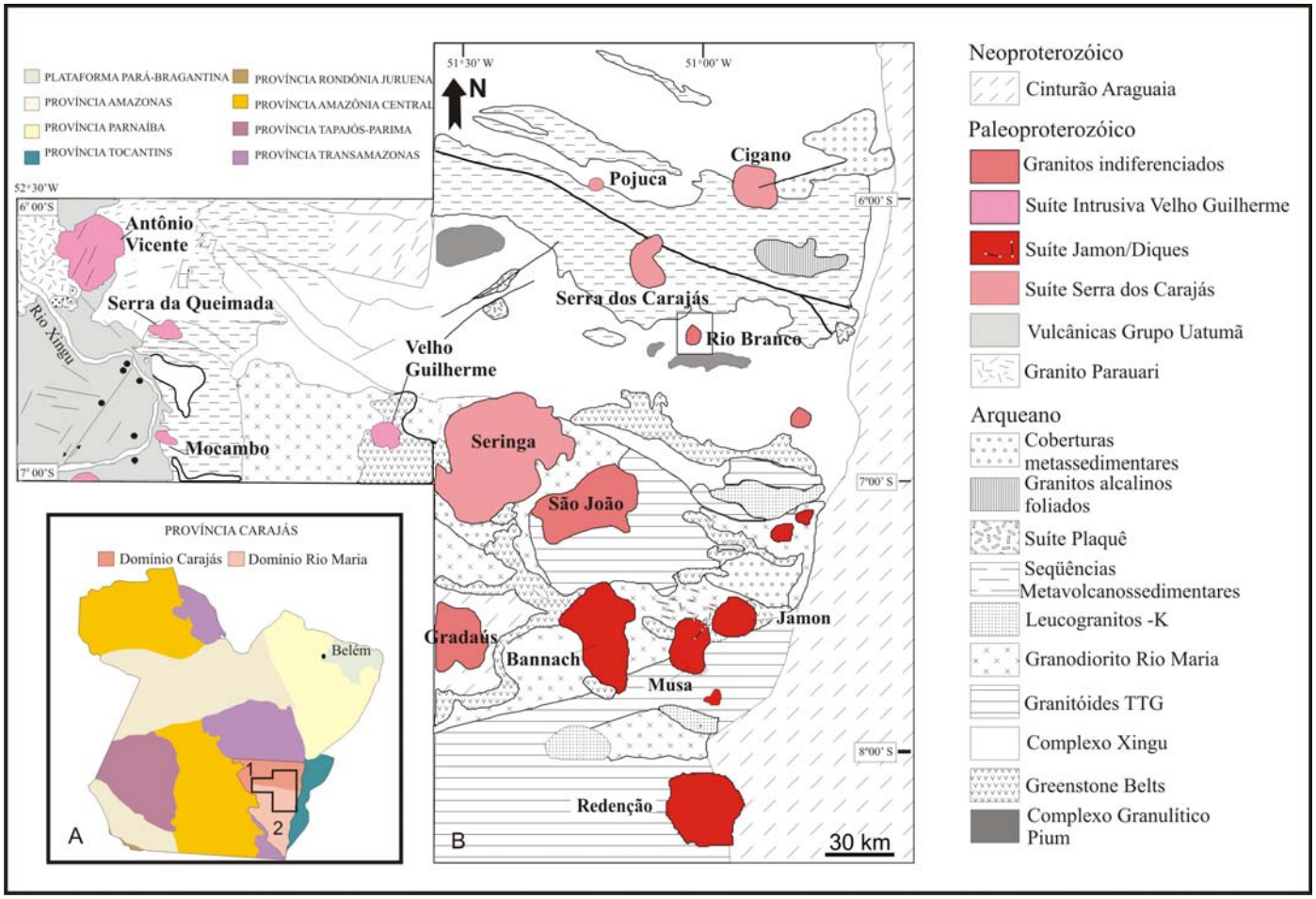

Figura 2 - a) Mapa simplificado das províncias tectônicas do Estado do Pará, ressaltando os domínios Carajás (1) e o Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (2) da Província Carajás b) Mapa Geológico simplificado da Província Mineral de Carajás, destacando as suítes anorogênicas e o Granito Rio Branco.

Fonte: (DALL'AGNOl, et al. 2005); (VASQUEZ et al. 2008)

1.4 JUSTIFICATIVA

Em mapeamento geológico na região de Canaã dos Carajás, sudeste do Cráton Amazônico, efetuado por geólogos do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (SARDINHA, 2005; SOARES, 2002), foi reconhecido e amostrado um corpo granítico intrusivo em rochas arqueanas, formado por rochas isotrópicas, denominado informalmente de Granito Rio Branco. A caracterização deste *stock* granítico era, até o desenvolvimento do presente trabalho, muito limitada, não se dispondo de estudos petrográficos, geoquímicos e de suscetibilidade magnética sobre o mesmo, nem tampouco de determinação de sua idade.

Em trabalhos de campo mais recentes, duas novas ocorrências de granitos isotrópicos foram encontradas nas localidades de Serra Dourada e imediatamente a norte da área tipo do Granito Planalto (FEIO, 2009). Entretanto não foram observadas relações conclusivas de campo entre estas rochas e suas encaixantes que auxiliassem no seu posicionamento estratigráfico. Tais rochas apresentam um amplo interesse em termos científicos, uma vez que tem sido descrito por diversos autores um vasto magmatismo tipo-A na Província Mineral de Carajás, de idade arqueana (BARROS et al. 2001; SARDINHA et al. 2006) e paleoproterozóica (~1,88 Ga, ALMEIDA et al. 2006; BARROS et al. 1995; BOTELHO et al. 2005; DALL'AGNOL et al. 1994, 1999, 2005; GONÇALEZ et al. 1988; JAVIER RIOS et al. 1995; LINDENMAYER et al. 2005; MACHADO et al. 1991; OLIVEIRA et al. 2002, 2005, 2008; TEIXEIRA et al. 2002).

Os granitos paleoproterozóicos tipo-A da Província Mineral de Carajás foram divididos em três suítes (Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme), com base em suas características petrográficas e geoquímicas, seu potencial metalogenético e nas condições de fugacidade de oxigênio reinantes durante sua cristalização (DALL'AGNOL et al. 2005). A Suíte Jamon está inserida na região do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, a Suíte Velho Guilherme ocorre na região do Xingu e a Suíte Serra dos Carajás se distribui em diversos domínios da serra homônima, estando geograficamente mais próxima da área de ocorrência do Granito Rio Branco (Figs. 1, 2b).

Os estudos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos do Granito Rio Branco devem permitir a definição das suas principais características e uma avaliação mais criteriosa de sua afinidade com as suítes mencionadas e, talvez, até

mesmo posicioná-lo em uma das três suítes. Do mesmo modo, a caracterização das ocorrências de Serra Dourada e Planalto também devem levar a avanços expressivos no conhecimento destas rochas e, talvez, permitir situá-las estratigraficamente e correlacioná-las com as suítes anteriormente citadas.

1.5 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é a caracterização do Granito Rio Branco no que diz respeito aos seus aspectos petrográficos e geoquímicos, além de se definir seu comportamento magnético e idade. Com base nisso, os estudos a serem efetuados visam atingir os seguintes objetivos específicos:

1 - Caracterização petrográfica e mineralógica do Granito Rio Branco;

2 - Determinação do comportamento magnético das diversas variedades identificadas no corpo;

3 - Definição dos minerais óxidos de Fe e Ti, bem como de suas relações texturais;

4 - Caracterização geoquímica do Granito Rio Branco e discussão a respeito de suas afinidades geoquímicas, tipologia e processos magmáticos que controlaram sua evolução;

5 - Obtenção da idade de cristalização do pluton, com base no método Pb-Pb em zircão.

6 - Comparações entre o Granito Rio Branco e os demais corpos graníticos das Suítes anorogênicas da Província Mineral de Carajás

Adicionalmente a estes objetivos, serão realizados estudos de caracterização petrográfica, e comportamento magnético das apófises graníticas de Serra Dourada e Planalto, acrescidos de datação geocronológica no caso da primeira.

1.6 MATERIAIS E MÉTODOS

1.6.1 Pesquisa Bibliográfica

Foi efetuado levantamento bibliográfico com ênfase na geologia da Província Mineral de Carajás, principalmente no que concerne aos granitos tipo-A, sua petrografia, geoquímica, geocronologia e comportamento magnético. Em termos teóricos foram pesquisados artigos relacionados às condições de oxidação em

magmas, especialmente aqueles graníticos, e à influência da fugacidade de oxigênio na evolução de rochas ígneas.

1.6.2 Petrografia

A petrografia contou com a descrição mesoscópica de amostras representativas dos maciços estudados, seguida de estudos de lâminas delgadas e polidas em microscópio ótico utilizando tanto as técnicas de luz transmitida, quanto de luz refletida (esta voltada, sobretudo, para os minerais opacos). Foram realizadas análises modais em amostras representativas dos granitos estudados, utilizando para tanto, um contador eletrônico de pontos, da marca *Swift*, onde foram contados em média 1500 pontos para cada amostra. Posteriormente, as composições modais identificadas foram plotadas no diagrama QAP (STRECKEISEN, 1976) para classificação das rochas estudadas, conforme estabelecido pela IUGS.

1.6.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

Os estudos mineralógicos efetuados em microscópico eletrônico de varredura (MEV) visaram a identificação de fases que não puderam ser determinadas com precisão por meio de microscopia ótica, bem como das relações texturais dos principais minerais formadores da rocha e acessórios. Esses estudos foram desenvolvidos no laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu Paraense Emílio Goeldi, sob a supervisão dos professores Hilton T. Costi e Albano A.S. Leite.

1.6.4 Suscetibilidade Magnética

As medidas de SM foram realizadas no Laboratório de Petrologia Magnética do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), utilizando suscetibilímetro SM-30, fabricado pela *ZH INSTRUMENTS*, que permite medidas em materiais com SM variando até $1x10^{-7}$ SI. Em todas as amostras foram efetuadas quatro medidas, considerando-se sempre a média dessas medidas como representativa para cada amostra. O tratamento dos dados foi realizado com o programa Minitab 15, através da elaboração de diagramas de probabilidade e histogramas de frequência.

1.6.5 Geoquímica

As análises químicas em rocha total foram realizadas no *Acme Analytical Laboratories* Ltda. (Vancouver, CANADÁ), sendo dosados os conteúdos de elementos maiores e menores (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_{3t}, MgO, CaO, Na_2O, TiO_2, Cr_2O_3, P_2O_5, PF), traço (Zn, Cu, Pb, Ba, Be, Cs, Ga, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, W, Zr, Bi) e terras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu). Os elementos maiores e menores foram analisados por ICP-ES e os elementos-traço e terras raras por ICP-MS.

A caracterização geoquímica foi baseada nos procedimentos indicados em Ragland (1989) e Rollinson (1993) e fundamenta-se na avaliação do comportamento dos elementos maiores, menores e traço, através de diagramas de variação clássicos e vários diagramas propostos na literatura (SHAND, 1951; WHALEN et al. 1987; PEARCE et al. 1984).

1.6.6 Geocronologia

As datações geocronológicas foram realizadas no Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) do Instituto de Geociências da UFPA. O método empregado foi o de evaporação de Pb em zircão por termoionização, cujos princípios básicos foram desenvolvidos por Kober (1986, 1987), tendo sua adaptação ao Pará-Iso sido discutida por Gaudette et al. (1998). Os cristais foram extraídos das amostras utilizando-se o método clássico de separação de minerais pesados, que envolve trituração, pulverização, elutriação, separação magnética e aplicação de bromofórmio.

A determinação da idade dos cristais de zircão selecionados foi realizada em um espectrômetro de massa marca FINNIGAN, modelo MAT-262. Este equipamento utiliza filamentos duplos de rênio, sendo um de ionização e outro de evaporação, técnica que proporciona a emissão de um sinal de Pb estável por longo período de tempo (KOBER, 1986). As análises envolveram o aquecimento gradativo dos cristais de zircão em etapas de 1450°, 1500° e 1550°C, e posterior determinação de idade para cada uma delas. A idade final de cada amostra foi a média dos resultados obtidos a temperaturas mais elevadas em todos os cristais analisados que apresentaram resultados coerentes. As correções para chumbo comum (^{204}Pb) foram realizadas por intermédio do modelo de Stacey e Kramers (1975).

CAPÍTULO 2 – GEOLOGIA DO GRANITO RIO BRANCO

O Granito Rio Branco acha-se exposto em uma pequena serra e forma um corpo semicircular com 31 km² de área tendo seu eixo maior, alongado segundo a direção NS, 7 km de extensão e o menor 4,5 km. Está localizado imediatamente a sul da mina do Sossego, a oeste da cidade de Canaã dos Carajás (Fig. 1). É formado por uma paisagem de colinas suaves, cobertas por vegetação fechada, transformada em reserva ecológica pela Vale (Figs. 3a, 3b). Este corpo é intrusivo em biotita-monzogranito foliado cálcico-alcalino de ampla distribuição nesta região (SOARES, 2002; SARDINHA, 2005; FEIO, 2009), sendo formado por rochas isotrópicas, sem evidências de deformação (Fig. 5). Os afloramentos encontrados são lajedos ou blocos métricos (Figs. 3c, d), compostos por rochas de cor rosada a esbranquiçada, equigranulares médias ou localmente grossas, hololeucrocráticas, contendo proporções modais pouco elevadas (< 5,5%) de biotita, geralmente alterada.

Os limites aproximados entre o corpo Rio Branco e suas encaixantes são facilmente reconhecidos em imagens de radar (Fig. 4a), porém contatos diretos entre ele e suas encaixantes não foram observados no campo. Os padrões geomorfológicos contrastantes entre o maciço granítico e suas encaixantes, assim como a amostragem sistemática realizada, contribuem para delimitação de seus domínios. Os morros que compõem o Granito Rio Branco se destacam marcadamente no relevo e atingem altitudes de até 600 metros, verificando-se um grande contraste topográfico com o domínio das rochas encaixantes, formado por zonas peneplanizadas ou pequenas colinas (Fig. 4b). Os domínios do Granito Rio Branco também são facilmente identificados em imagem de fusão de aerogamaespectrometria (canal do Th) e imagem SRTM, a qual revela comportamento altamente radiométrico para o *stock* Rio Branco, definindo uma anomalia positiva que contrasta com os padrões mostrados pelas rochas encaixantes (Fig. 4c).

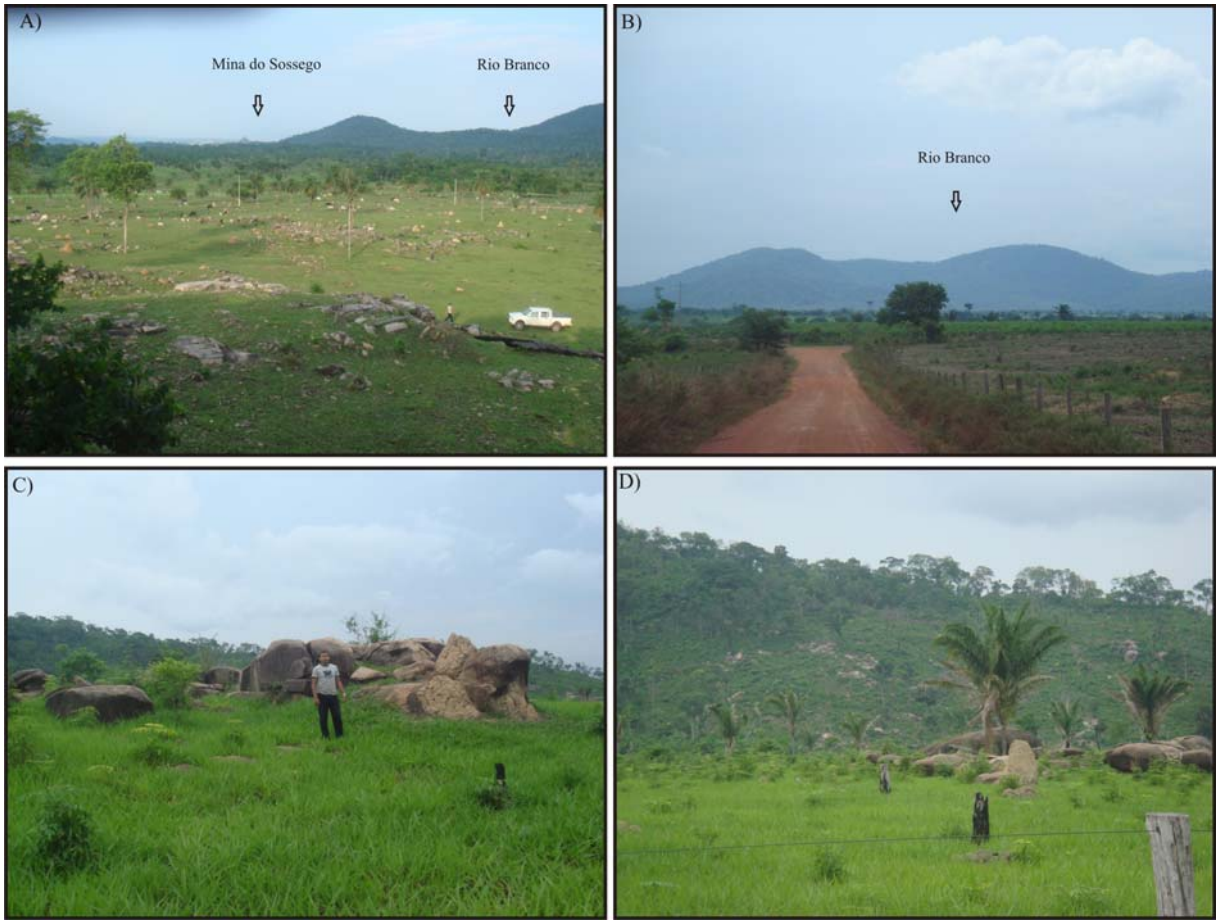

Figura 3- a) Visão tomada a partir de oeste da serra que compõe o corpo Rio Branco, mostrando a proximidade deste com a mina do Sossego; as rochas em primeiro plano correspondem ao monzogranito foliado cálcico-alcalino, que é intrudido pelo *stock* Rio Branco; b) Visão panorâmica tomada a partir de leste, mostrando a paisagem de morros salientes na topografia que formam o corpo; c) Exposição do Granito Rio Branco em forma de blocos métricos; d) Visão geral de afloramentos em forma de lajedos ou blocos métricos.

As apófises graníticas de Serra Dourada e Planalto são formadas por rochas isotrópicas, desprovidas de deformação. Em imagens de satélite e radar, esses pequenos corpos mostram padrões pouco característicos e aspecto topográfico muito semelhante ao das rochas encaixantes o que dificulta a sua delimitação. No entanto, mapeamento geológico realizado na região (FEIO et al., 2009) possibilitou o reconhecimento e consequente amostragem desses corpos graníticos,que não tiveram sua forma e extensão perfeitamente delimitados (Fig. 5). Suas relações de contato tampouco puderam ser observadas.

A amostragem efetuada no corpo granítico Rio Branco está representada na figura 6 e a localização da amostragem feita nos pequenos corpos isotrópicos de Serra Dourada e Planalto está indicada na figura 5.

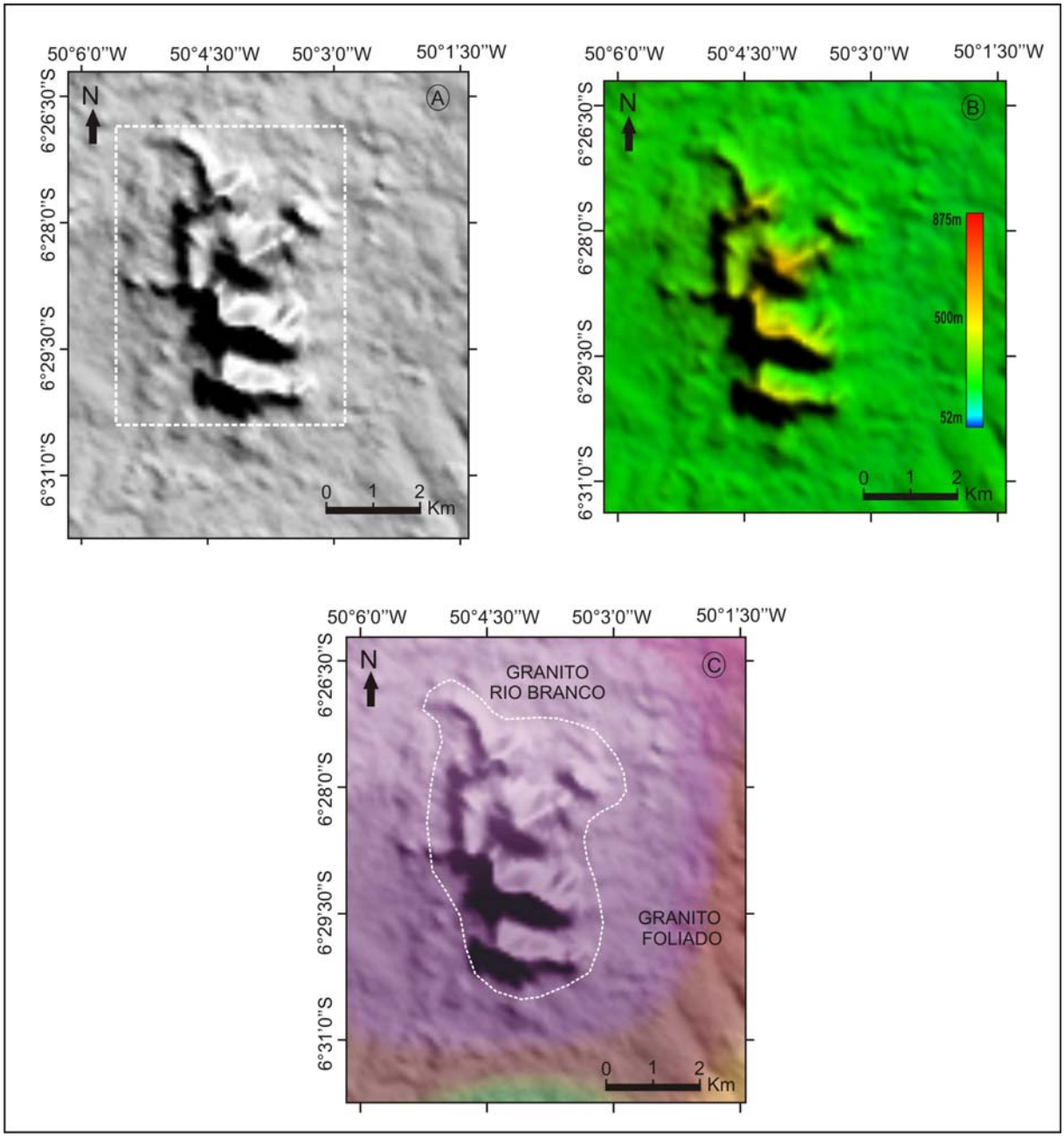

Figura 4- a) Imagem de radar, mostrando uma visão geral do Granito Rio Branco, que se distingue de suas encaixantes pelo relevo mais expressivo; b) Imagem SRTM (*Shutter Radar Topography Mission* - NASA) mostrando as dimensões do Granito Rio Branco. Notar que as maiores elevações estão relacionadas com o corpo Rio Branco e as menores com suas encaixantes; c) Imagem de fusão de aerogamaespectrometria (canal do Th) e imagem SRTM, mostrando anomalia radiométrica positiva e contraste entre o Granito Rio Branco e suas encaixantes.

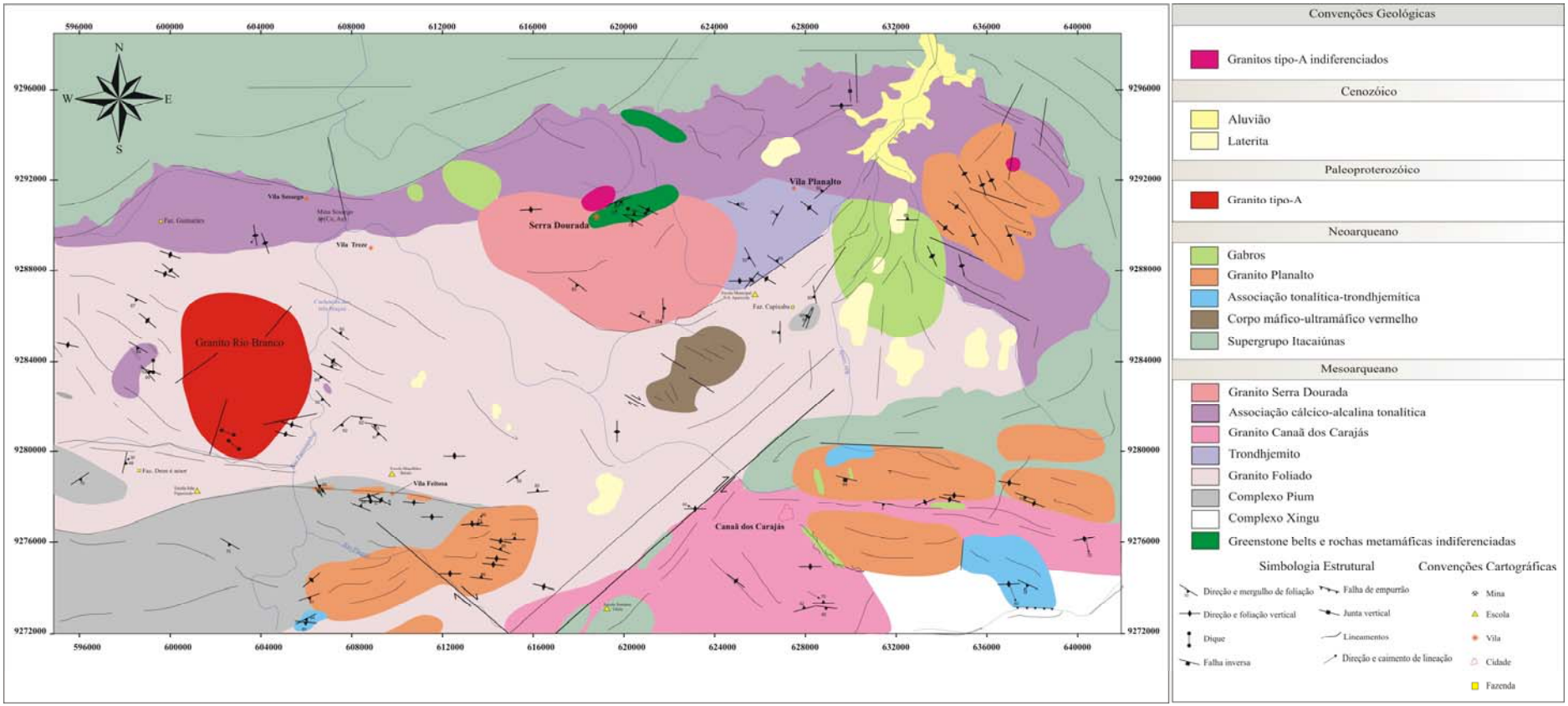

Figura 5- Mapa Geológico da Região de Canaã dos Carajás

Fonte: Mapa preliminar de FEIO, 2009.

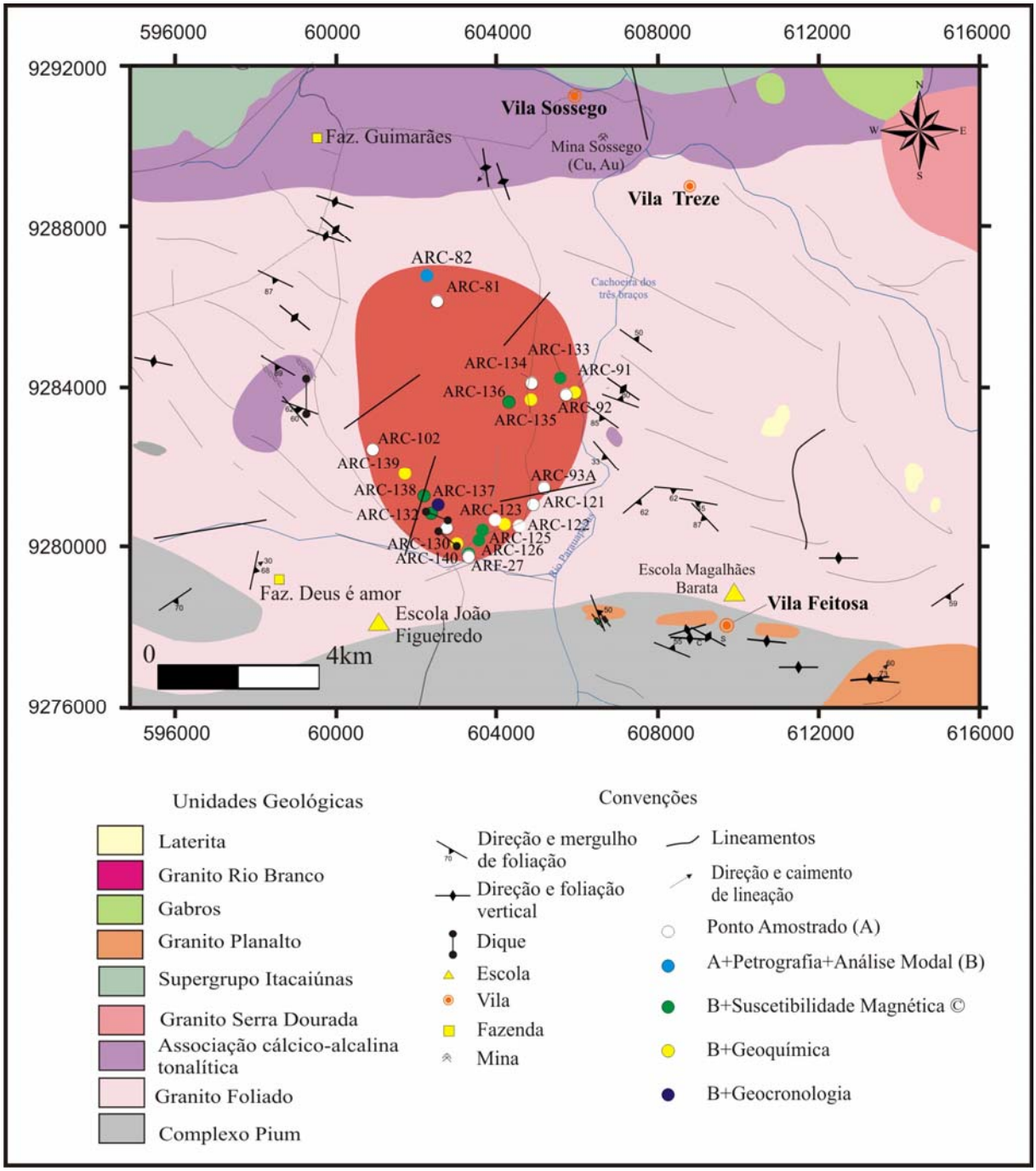

Figura 6- Mapa geológico do Granito Rio Branco.

Fonte: Mapa preliminar de FEIO, 2009.

CAPÍTULO 3 – PETROGRAFIA

3.1 ANÁLISE MODAL

A tabela 1 apresenta as composições modais de 11 amostras do Granito Rio Branco, em percentagem em volume, e os dados modais obtidos para as ocorrências de Serra Dourada e Planalto. Os diagramas QAP e Q-(A+P)-M' (Fig. 7) revelam que as amostras estudadas plotam exclusivamente no campo dos sienogranitos. Na confecção destes diagramas, A representa o somatório de feldspato alcalino + albita e M' corresponde ao somatório do conteúdo modal de minerais máficos (biotita, zircão, hidróxido de ferro, allanita e clorita).

O Granito Rio Branco é formado por rochas hololeucrocráticas, com conteúdo modal de máficos entre 1 e 5,5 %. As amostras da borda SW do corpo apresentam os conteúdos modais de minerais máficos mais elevados (~5,5 %) e correspondem às rochas que se apresentam ligeiramente greisenizadas. Já as amostras da porção N do corpo apresentam os maiores valores modais de albita subsolidus, podendo, inclusive, corresponder a granitos albitizados. Quanto às amostras de Serra Dourada e corpo Planalto, ambas são rochas leucrocráticas, com conteúdos modais de máficos inferiores a 10%. Entretanto, os granitos coletados próximo ao Granito Planalto possuem valores semelhantes aos observados no Granito Rio Branco, ao passo que a única amostra analisada de Serra Dourada apresenta um somatório de máficos próximo a 10%.

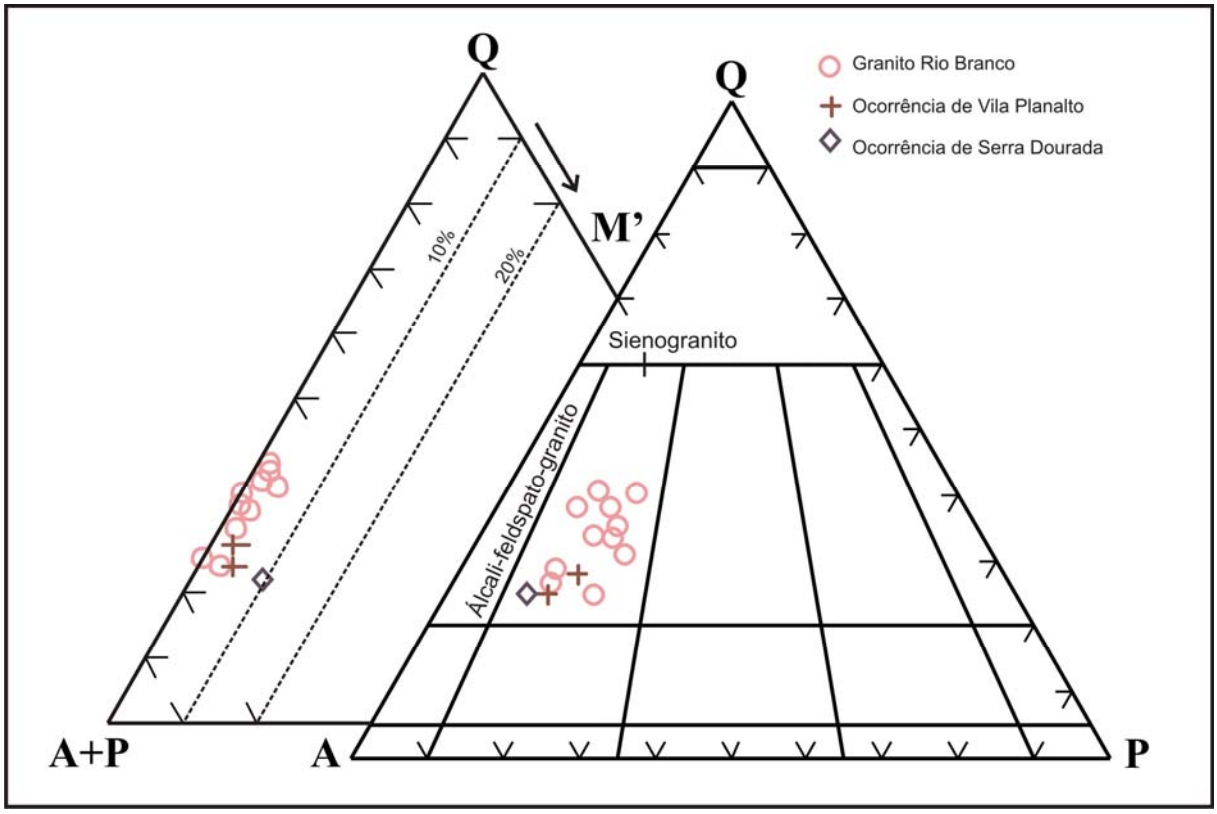

Figura 7- Diagramas modais Q-A-P (campos segundo STRECKEISEN, 1976) e Q-(A+P)-M' para as rochas estudadas.

Tabela 1- Composições modais de amostras do Granito Rio Branco e das ocorrências de Serra Dourada e Corpo Planalto

	Granito Rio Branco											Ocorrências		
												SD	CP	
Amostra	ARC 123[1]	ARC 125[1]	ARC 130[1]	ARC 137[2]	ARC 133[1]	ARC 82[1]	ARC 91	ARC 135[1,2]	ARC 136[1]	ARC 138[3]	ARC 139[3]	GRD 77	GRD 142 F	GRD 143
Fácies Mineralogia	SGM	SGM	SGM	SGM	SGMF	SGM albitizado	SGM albitizado	SGM albitizado	SGM albitizado	SGM greisenizado	SGM greisenizado	SGG	SGG	SGG
Feld. alcalino + albita	46,6	46	46,9	42	45,8	49,8	58,6	48,1	61,9	53,1	48,4	58	58,6	54,4
Quartzo	34,9	39,6	32,2	38,8	37	33	28,8	30	25	23,6	35,9	22,4	24	27,4
Plagioclásio	17	11,8	17	16,6	14,7	14,6	12,4	19,6	12,1	18,8	10	10,2	12,6	15,2
Biotita+ clorita	0,1	1,8	2,7	2,3	1,8	1	-	2,1	0,1	3	4,7	7,9	3,9	2,9
Fluorita	0,6	0,6	1	0,2	0,4	0,8	-	-	-	0,8	0,8	-	0,2	-
Allanita	0,4	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0,4	0	Tr
Zircão	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0,2	0,1	Tr
Epidoto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	0,4	-
Prehnita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Tr	-	-
Turmalina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Tr	-	-
Óxido/hidróxidos de ferro	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Muscovita	Tr	Tr	Tr	0,1	0,3	Tr	Tr	0,2	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Σ Máficos = M'	0,5	1,8	2,7	2,4	2,1	1	Tr	2,3	0,1	3	4,7	9,2	4,6	2,9

SGM: Sienogranito Médio

SGMF: Sienogranito Médio a Fino

SGG: Sienogranito Grosso

[1] Biotita inteiramente oxidada e cloritizada

[2] Granito com topázio e albita

[3] Granito com topázio, siderofilita, clorita e fluorita

SD: Serra Dourada

CP: Corpo Planalto

3.2 OBSERVAÇÕES MINERALÓGICAS E TEXTURAIS

3.2.1 Granito Rio Branco

Neste trabalho foram descritas 24 amostras do Granito Rio Branco, coletadas ao longo das bordas do corpo, já que a porção central do mesmo é recoberta por floresta densa, constituindo parte da reserva florestal sob jurisdição da Vale.

O Granito Rio Branco é formado por rochas isotrópicas de coloração rosada (Fig. 8a), localmente esbranquiçada (Fig. 8b) ou avermelhada, devido, respectivamente, à albitização e à greisenização. Ao microscópico, as rochas apresentam textura hipidiomórfica equigranular média, localmente fina ou grossa. A seguir serão descritas em detalhe as variedades de rocha e os tipos de alteração presentes no Granito Rio Branco.

3.2.1.1 Sienogranito equigranular médio

Texturalmente a rocha é hipidiomórfica equigranular média, com variedades ora finas ora grossas, sendo formada essencialmente por feldspato alcalino pertítico, quartzo e plagioclásio (Fig. 8c), sendo a biotita a principal fase máfica, enquanto que fluorita1, allanita, zircão e opacos figuram como minerais acessórios.

O feldspato alcalino é pertítico e exibe cristais euédricos a subédricos de granulação média (1-5 mm) ou, localmente, grossa (< 13 mm). Seus contatos com os minerais essenciais são retilíneos, embora ocorram localmente contatos irregulares. Mostra texturas de exsolução modificadas (SMITH E BROWN, 1988), representadas por pertitas em veios e texturas de substituição, com desenvolvimento de albita em coroas trocadas. Mostra-se parcialmente transformado para sericita e impregnado por óxidos e/ou hidróxidos de ferro.

O quartzo forma cristais subédricos a anédricos, de granulação média (1 a 5 mm). Mostram contatos retos ou, por vezes, irregulares entre si e com as demais fases minerais. Localmente, formam intercrescimentos granofíricos com o feldspato alcalino (Fig. 8d).

O plagioclásio exibe cristais subédricos a euédricos, de granulação média (< 5 mm). Apresenta contornos retilíneos e contatos regulares ou mais raramente irregulares com os demais minerais (Fig. 8e). Mostra maclamento tipo albita e

comumente encontra-se alterado, sendo substituído por sericita-muscovita, fluorita, topázio e argilominerais.

A biotita, com pleocroísmo variando de marrom avermelhado a amarelo pálido, forma agregados ou grãos individuais subédricos a anédricos de granulação fina a média (~2 a 0,5 mm), intersticiais aos cristais de quartzo e feldspato alcalino. Apresenta-se, em geral, intensamente alterada para clorita ou oxidada, principalmente na borda dos cristais e ao longo das clivagens (Fig. 8e).

A fluorita quando associada à biotita mostra contatos retos com a mesma e é subédrica, porém muitas vezes se dispõe de modo intersticial aos demais cristais e é anédrica. Apresenta granulação média a fina, com dimensões de até 3 mm (Fig. 8f).

A allanita exibe cristais euédricos de granulação fina (0,2-0,8mm), com pleocroísmo variando de amarelo pálido a vermelho castanho. Acha-se normalmente zonada e metamictizada (Fig. 8g).

O zircão ocorre como diminutos cristais euédricos, sempre encontrados na forma de inclusões nos demais minerais da rocha (Fig. 8h). Encontra-se normalmente zonado e bastante metamictizado.

Os óxidos/hidróxido de ferro são raros. Quando presentes tendem a associar-se à biotita ou marcam os contatos entre os grãos de feldspatos.

3.2.1.2 Transformações pós-magmáticas

As fases minerais secundárias, relacionadas aos processos de alteração pós-magmática, estão representadas por albita, topázio, fluorita2, muscovita, siderofilita e óxidos e/ou hidróxidos de ferro.

A albita se apresenta em diversas formas, sendo a mais comum as lamelas sódicas que se desenvolvem inicialmente por exsolução no interior do feldspato alcalino e são posteriormente modificadas resultando em pertitas em veios (*vein-perthite;* SMITH E BROWN, 1988). Porém, em rochas onde a albitização foi mais intensa, há igualmente formação de albita intergranular das variedades texturais em coroas trocadas (Fig. 9a) e em dedos (Fig. 9b), bem como de albita em tabuleiro de xadrez (*chess-board,* Fig. 9c). Esses tipos são interpretados como sendo produtos da substituição do feldspato alcalino. Esse tipo de alteração é mais intenso na porção NE do corpo.

O topázio forma cristais anédricos, intersticiais, parcialmente substituídos por muscovita, ou arredondados. Encontra-se substituindo o plagioclásio ou associado à fluorita, quartzo e sericita-muscovita (Figs. 9d,e).

A fluorita 2 ocorre como cristais anédricos, produto da alteração do plagioclásio, ou ao longo das clivagens da biotita.

A muscovita na rocha é produto da alteração de plagioclásio e topázio.

A siderofilita, com pleocroísmo variando de marrom a creme pálido, mostra cristais límpidos, anédricos de granulação média (> 1 mm, Fig. 9f).

Os óxidos/hidróxidos de ferro ocorrem associados à biotita e clorita e serão descritos no capítulo sobre petrologia magnética.

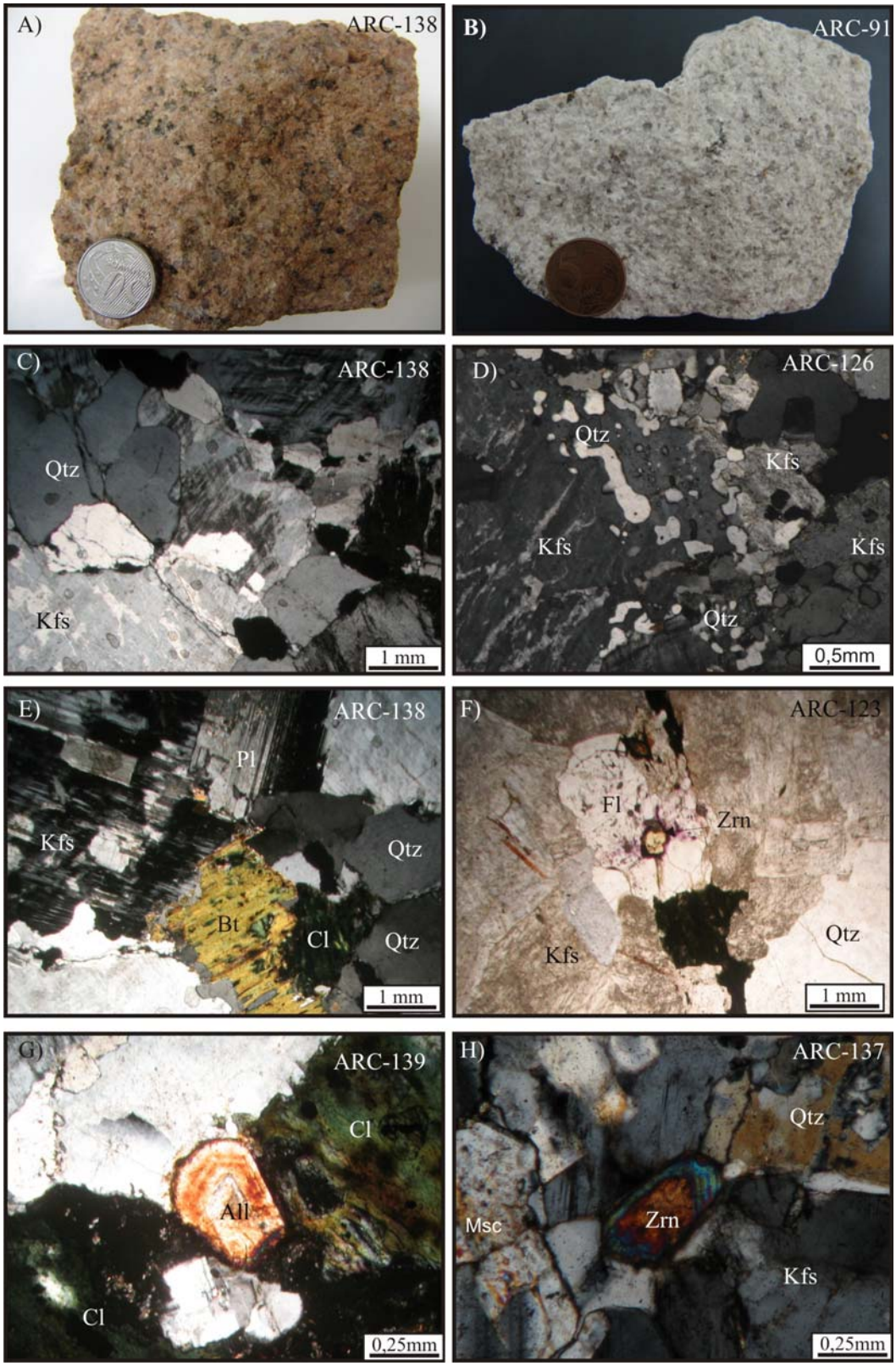

Figura 8- Aspectos texturais do Granito Rio Branco: a) sienogranito isotrópico de coloração rosada; b) Granito albitizado de coloração esbranquiçada; c) textura equigranular hipidiomórfica; d) Intercrescimentos granofíricos embrionários; e) Cristal de biotita cloritizada intergranular; f) Cristal subédrico de fluorita em contato com feldspato alcalino; g) Cristal de allanita com zoneamento bem marcado e metamictizada associada à biotita; h) cristal euédrico e zonado de zircão.
Simbologia: Kretz (1983).

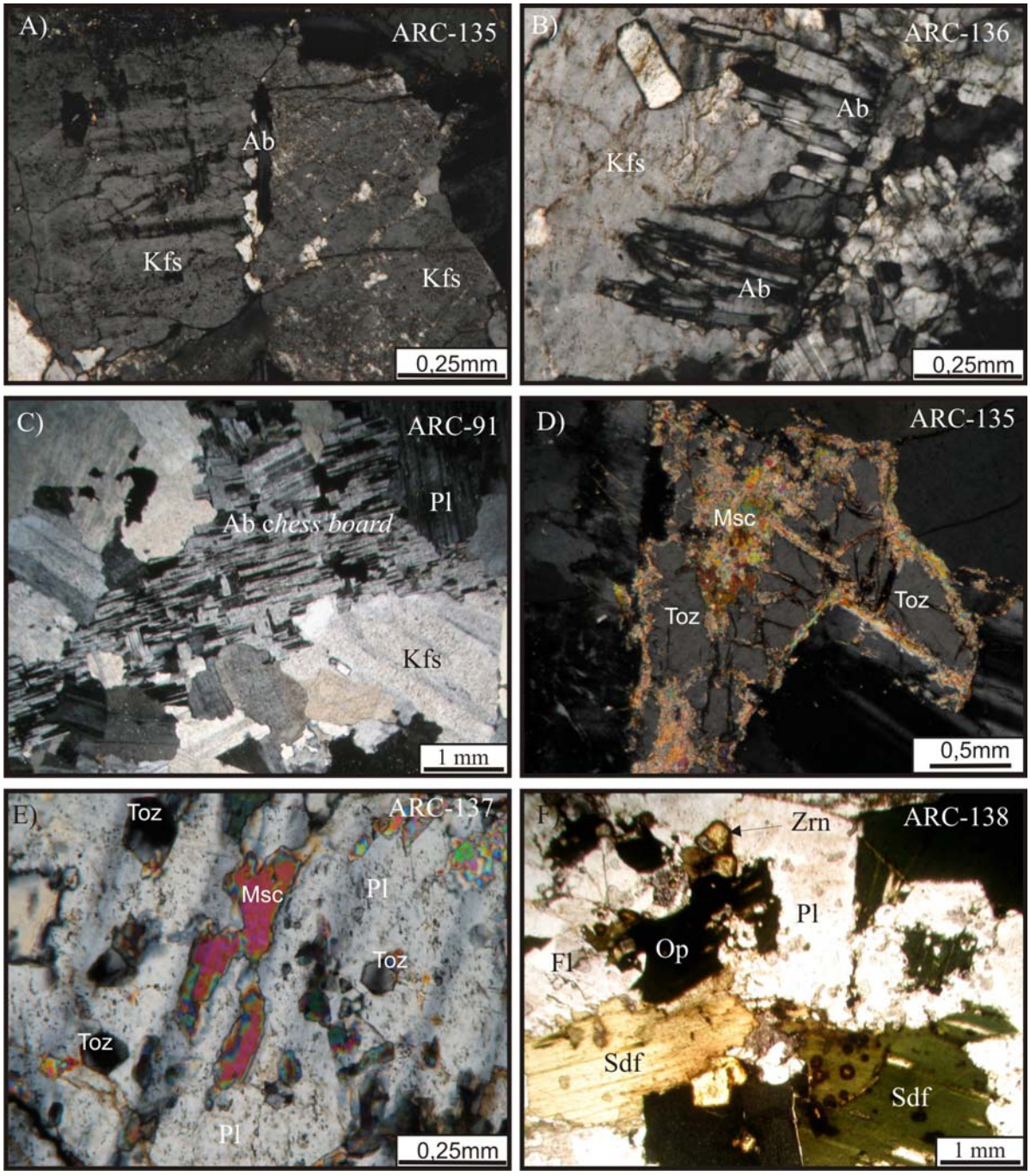

Figura 9- a) Desenvolvimento de albita intergranular em coroas trocadas; b) albita em dedos substituindo o feldspato alcalino; c) albita da variedade em tabuleiro de xadrez; d) cristal de topázio substituído por muscovita; e) associação hidrotermal, composta por topázio e muscovita substituindo plagioclásio; f) Concentrações de minerais máficos, a base de siderofilita e opacos, com fluorita associada.
Simbologia: Kretz (1983).

3.2.2 Ocorrências de Serra Dourada e Corpo Planalto

A ocorrência de Serra Dourada é caracterizada por exibir textura inequigranular média a grossa, com variações locais que vão de fina a muito grossa. É uma rocha hololeucocrática, de coloração rosa com tons avermelhados e pontuações escuras, que correspondem aos minerais máficos (Fig. 10a). Ao microscópio, apresenta textura granular hipidiomórfica, e é formada essencialmente por feldspato alcalino pertítico, quartzo e plagioclásio (Fig. 10b), cujos aspectos texturais, em termos de quartzo e feldspato alcalino, são similares aos descritos para o Granito Rio Branco.

Em relação ao plagioclásio, este é encontrado em cristais grossos (>5 mm), com zoneamento bem definido. Mostra maclamentos tipo albita e comumente encontra-se alterado, com transformações para argilominerais e sericita-muscovita. Em algumas ocorrências, acha-se isolado e circundado por cristais de quartzo (Fig. 10c).

A biotita é a principal fase máfica presente. Ocorre formando agregados máficos, circundados por feldspatos e comumente acha-se alterada para clorita (Fig. 10d).

Como acessórios figuram principalmente zircão (Fig. 10e), apatita e allanita, os quais aparecem predominantemente como pequenos cristais subédricos inclusos nos demais minerais, embora alguns cristais anédricos e bem desenvolvidos de allanita, também componham os agregados máficos (Fig. 10f). Além desses, ainda há minerais opacos, associados às concentrações de máficos, finos cristais de epidoto, sempre entremeados com a biotita, prehnita, exibindo hábito fibro-radial (Fig. 10g), e raros cristais prismáticos de turmalina, isolados ou compondo os agregados máficos (Fig. 10h).

As transformações pós-magmáticas identificadas são, ao que parece, distintas das observadas no Granito Rio Branco, pois embora processos de cloritização e albitização, representados respectivamente pela intensa substituição da biotita por clorita, e por albitas intergranulares, principalmente nos contatos entre cristais de feldspatos, também estejam presentes, é muito significativa a presença de prehnita e turmalina, fases minerais que não foram observadas no Granito Rio Branco. A ocorrência de turmalina é particularmente significativa, porque, embora este mineral esteja presentes nos granitos da Suíte Serra dos Carajás, ele não é comumente observado em granitos tipo A que são tipicamente pobres em boro. Outro aspecto

que merece registro é a melhor preservação do zircão neste granito (Fig. 10e), se comparado com o presente no Granito Rio Branco, em geral muito metamictizado

As amostras estudadas da ocorrência do Corpo Planalto assemelham-se texturalmente e mineralogicamente ao Granito Rio Branco. Essas rochas apresentam coloração rosa e exibem uma textura equigranular média a grossa (Fig. 11a). Possuem uma grande similaridade com o Granito Rio Branco em termos das texturas exibidas por quartzo e feldspatos alcalino (Fig. 11b) e mostram conteúdos muito reduzidos de minerais ferromagnesianos, o que confere caráter hololeucocrático para essas rochas.

O plagioclásio é encontrado em cristais subédricos, com granulação média a grossa (~5mm). Apresenta um zoneamento bem definido, maclamentos tipo albita e em algumas situações, exibe texturas em synneusis (VANCE, 1969). Mostra-se alterado, com transformações para argilominerais, sericita-muscovita e epidoto (Fig. 11c).

O principal constituinte máfico é a biotita, muitas vezes alterada para clorita. Este mineral aparece em lamelas subédricas, formando concentrações máficas ou cristais isolados. Comumente apresenta inclusões de zircão e mostra associações com finos cristais de epidoto. Também são encontrados cristais de fluorita, a qual aparece principalmente ocupando os interstícios da rocha, e alguns raros minerais opacos, dispostos principalmente entre os planos de clivagem da biotita (Fig. 11d).

Em relação às transformações pós-magmáticas, predominam processos de cloritização, verificados na intensa substituição da biotita por clorita (Fig. 11e), e albitização, representada principalmente pela ocorrência de albitas intergranulares (Fig. 11f).

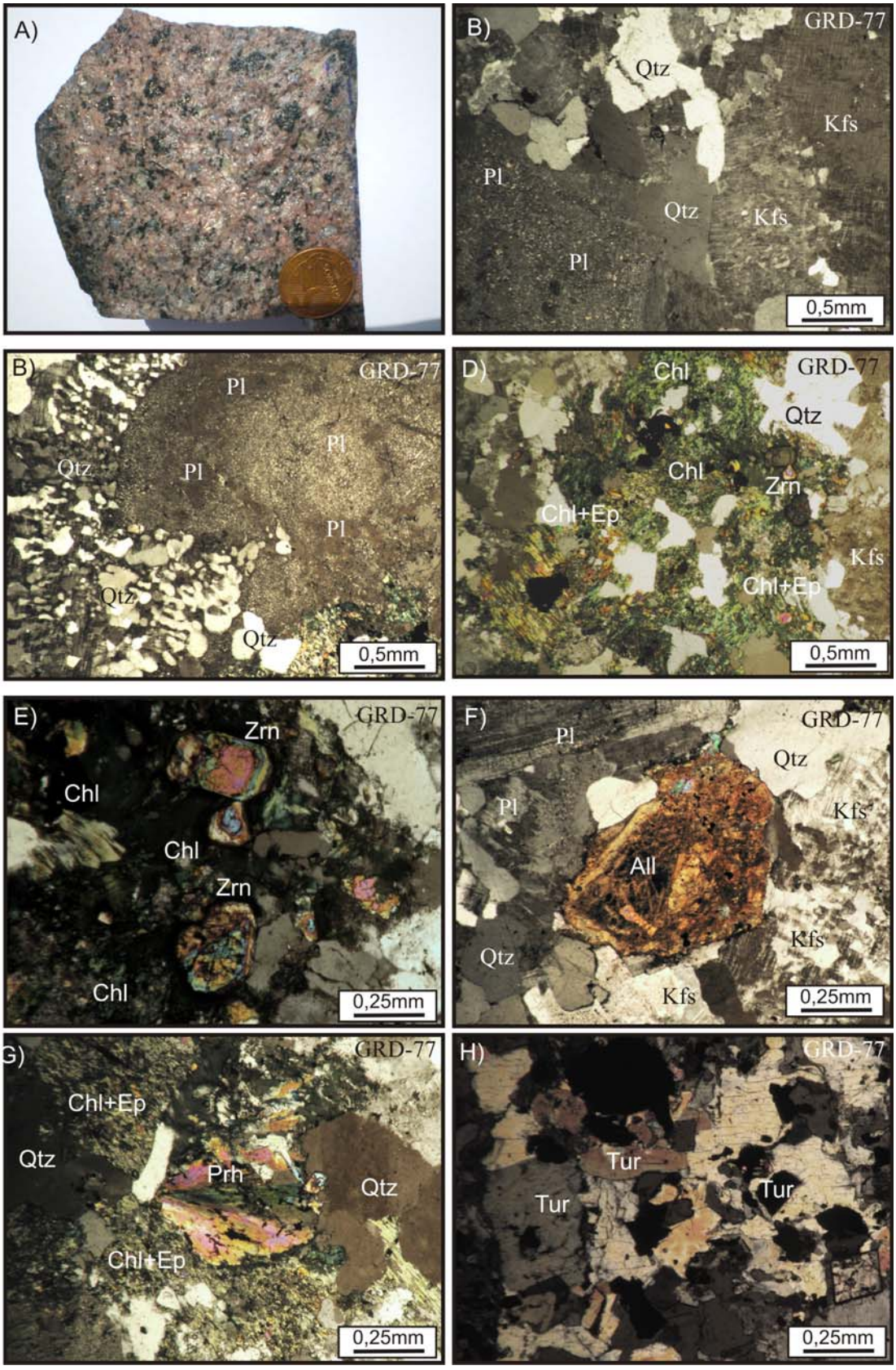

Figura 10- Aspectos texturais da ocorrência de Serra Dourada: a) sienogranito isotrópico de coloração rosada; b) textura hipidiomórfica; c) Cristal grosso de plagioclásio; d) agregados máficos; e) cristais de zircão; f) cristal de allanita; g) cristal de prehnita com hábito fibro-radial; h) cristais de turmalina.
Simbologia: Kretz (1983).

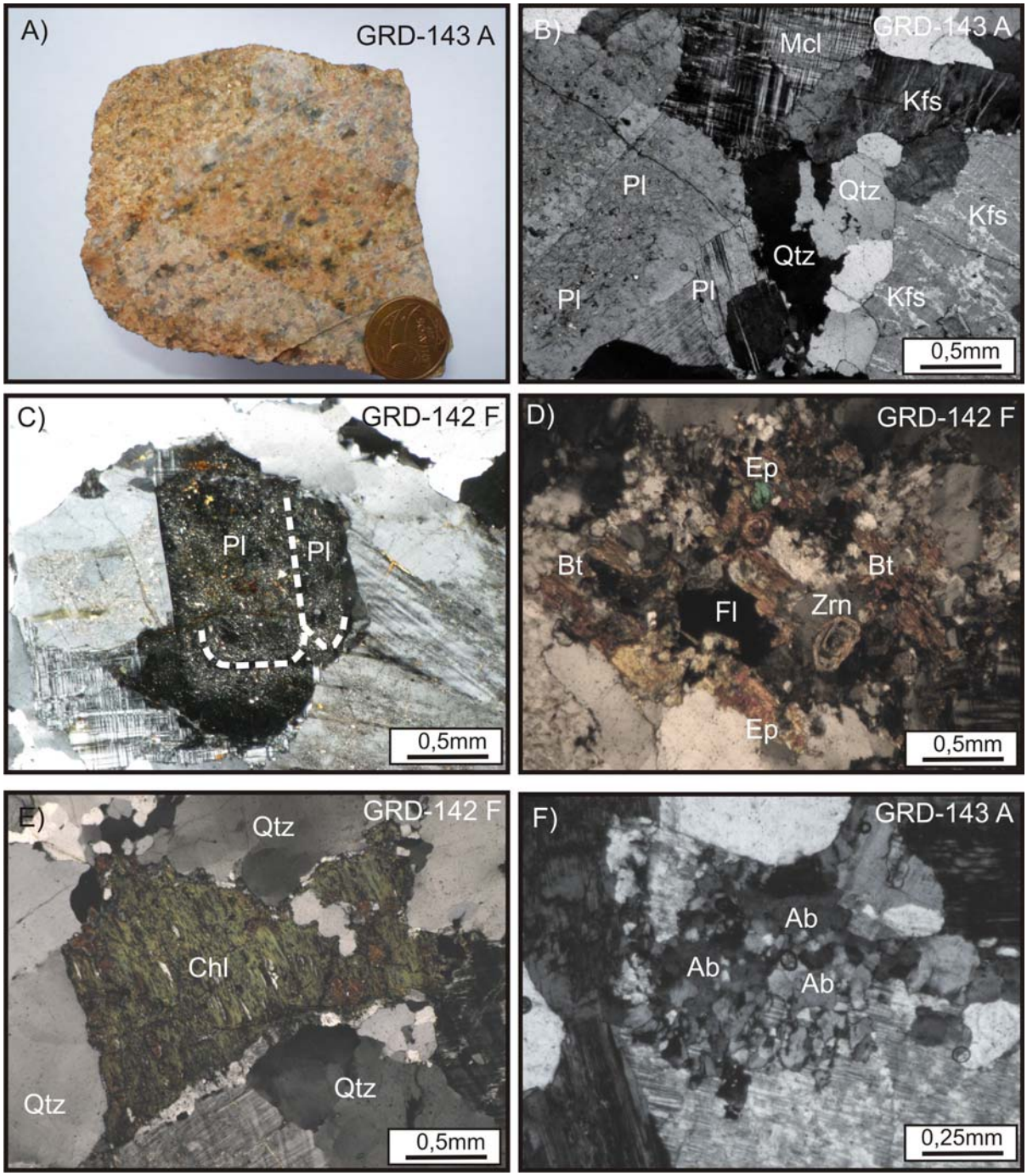

Figura 11- Aspectos texturais da ocorrência do Corpo Planalto: a) sienogranito isotrópico de coloração rosada e tonalidades amareladas; b) textura hipidiomórfica; c) Cristal de plagioclásio com textura em synneusis; d) agregados máficos; e) cristais de clorita; f) albita intergranular.
Simbologia: Kretz (1983).

3.3 ESTUDOS MINERALÓGICOS COMPLEMENTARES

O estudo mineralógico no Granito Rio Branco foi realizado através de microscopia eletrônica de varredura (MEV), visando reconhecer e discutir as peculiaridades da mineralogia deste corpo por meio de: (1) exame em detalhe de suas relações texturais, envolvendo imagens de elétrons retro-espalhados das fases minerais presentes; (2) elaboração de espectros por *Energy-Dispersive-Spectroscopy* (EDS); e (3) realização de análises químicas semi-quantitativas dos minerais selecionados. Esse estudo foi realizado dominantemente nos minerais acessórios, sendo os resultados obtidos discutidos a seguir.

3.3.1 Fluorita – CaF_2

A fluorita presente no Granito Rio Branco é comumente subédrica a anédrica, de cor branca a levemente lilás. Mostra associações com as fases máficas ou aparece preenchendo cavidades. As análises por EDS revelaram que este mineral apresenta quantidades expressivas de Y na sua estrutura, sendo que o núcleo (4,3%) é mais enriquecido em relação a sua borda (0,29%). (Fig. 12).

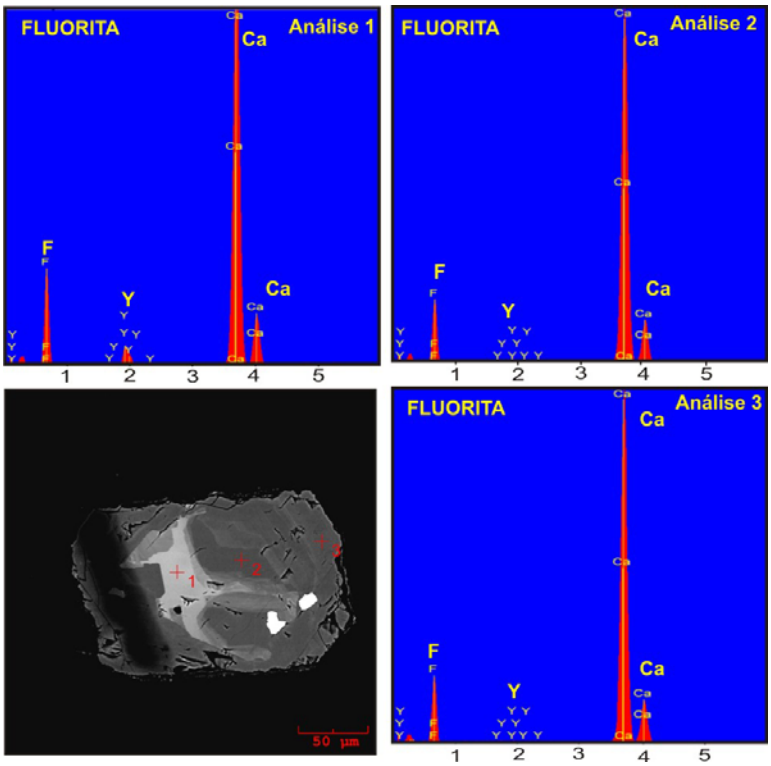

Figura 12- Imagem obtida por elétrons retro-espalhados em cristal de fluorita do Granito Rio Branco, juntamente com seus espectros, mostrando a variação da quantidade de Y ao longo do cristal.

3.3.2 Zircão – $ZrSiO_4$

Os cristais de zircão exibem formas subédricas a anédricas e, mais raramente, euédricas. Apresenta um zoneamento bem definido, razões Zr/Hf entre 14,7 e 21,9, com média de 19,1 e conteúdos elevados de Hf, U e Th. As imagens obtidas por elétrons retro-espalhados, juntamente com as análises por EDS, mostraram que este mineral apresenta um núcleo muito alterado, metamictizado e rico em inclusões que apresentam elevados conteúdos de U (6%) e Th (29%). Em contrapartida, as bordas deste mineral possuem características físicas e composicionais distintas do núcleo. As porções mais externas do cristal exibem menor grau de alteração, zoneamento expressivo e composição mais pobre em U (0,3%) e Th (0,1%), conforme visto na figura 13.

De acordo com Lamarão et al. (2006), essas características são similares às fornecidas por zircões de granitos estaníferos do Cráton Amazônico e destoam das características apresentadas pelos zircões dos granitos anorogênicos paleoproterozóicos não especializados em estanho do referido cráton.

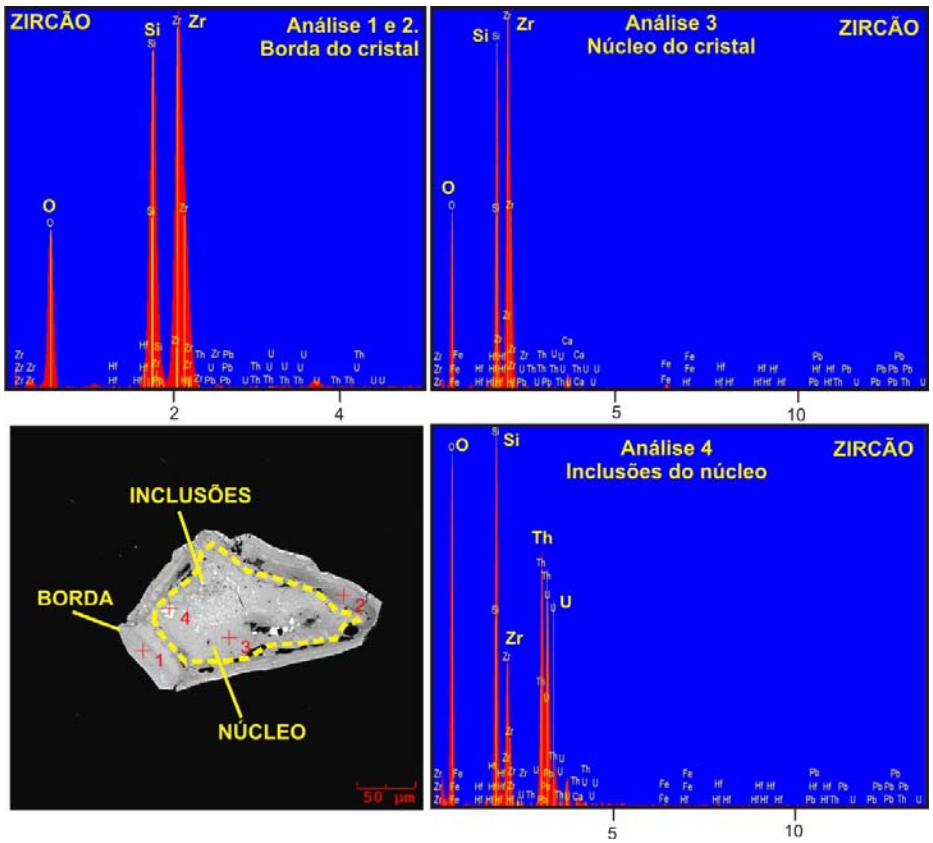

Figura 13 - Imagem obtida por elétrons retro-espalhados em cristal de zircão do Granito Rio Branco, juntamente com seus espectros, mostrando o aspecto em 'peneira' do núcleo que é rico em inclusões e distinto da borda.

3.3.3 Xenotima - YPO_4

Este mineral é encontrado em cristais anédricos, de dimensões máximas de 40 µm. As análises químicas semi-quantitativas apontaram, além das presenças de O (36,4%) e P (17,9%), conteúdos elevados de Y (34,4%) e uma notável concentração de ETR pesados (Fig. 14).

3.3.4 Ce-Fluorcerita - (Ce,La)F3

A Ce-fluorcerita, juntamente com a allanita, é o principal mineral acessório portador de ETR leves no Granito Rio Branco. Ocorre com formas subédricas a anédricas, de dimensões máximas de 80 µm. Os dados químicos semi-quantitativos permitiram identificar conteúdos elevados de Ce (41,4%), La (15,6%) e Nd (9,7%) (Fig. 14).

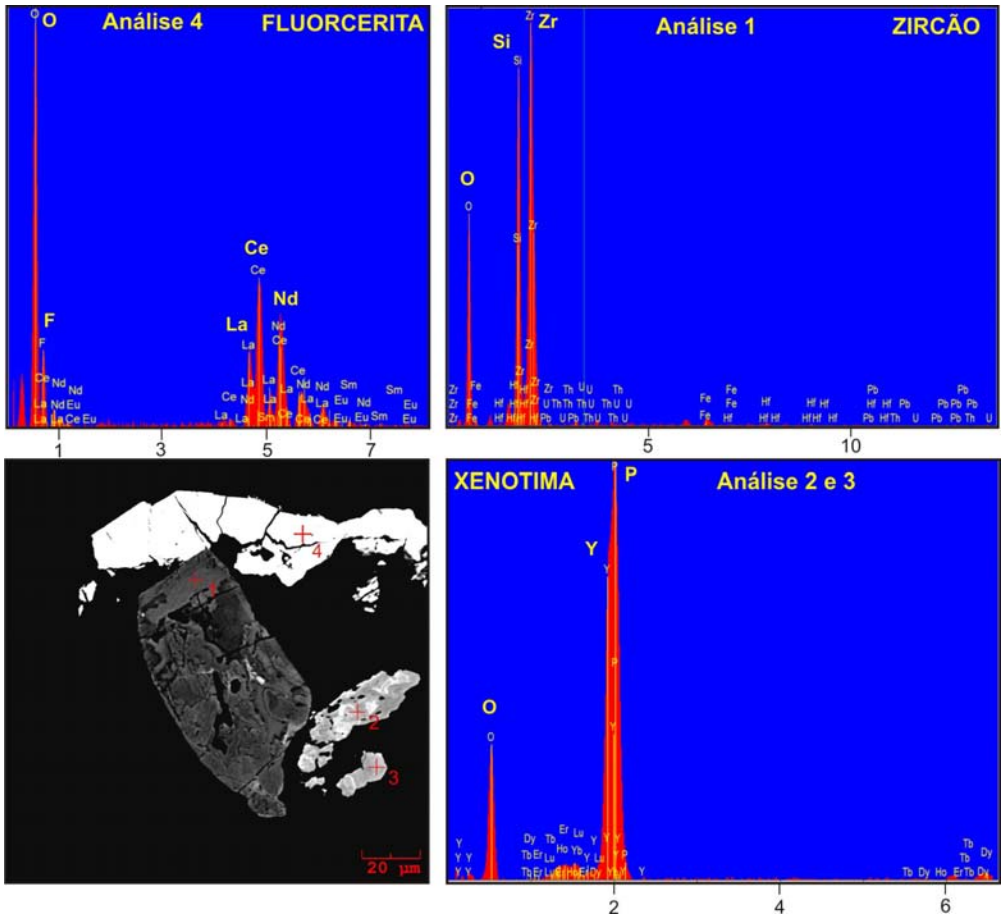

Figura 14- Imagem obtida por elétrons retro-espalhados em cristais de zircão, xenotima e Ce-fluorcerita do Granito Rio Branco, juntamente com seus espectros.

3.3.5 Topázio – $Al_2SiO_4(F,OH)_2$

O topázio aparece com formas subédricas a anédricas, por vezes arredondadas. Encontra-se associado a muscovita e possui elevados conteúdos de O (44%), Al (28,4%), Si (14,8) e F (12,6%) (Fig. 15).

3.3.6 Siderofilita

A siderofilita é uma fase acessória presente nas porções greisenizadas do Granito Rio Branco. Mostra lamelas subédricas com poucos sinais de alteração e possui conteúdos expressivos de Fe (18,4) e Al (10%) (Fig. 15).

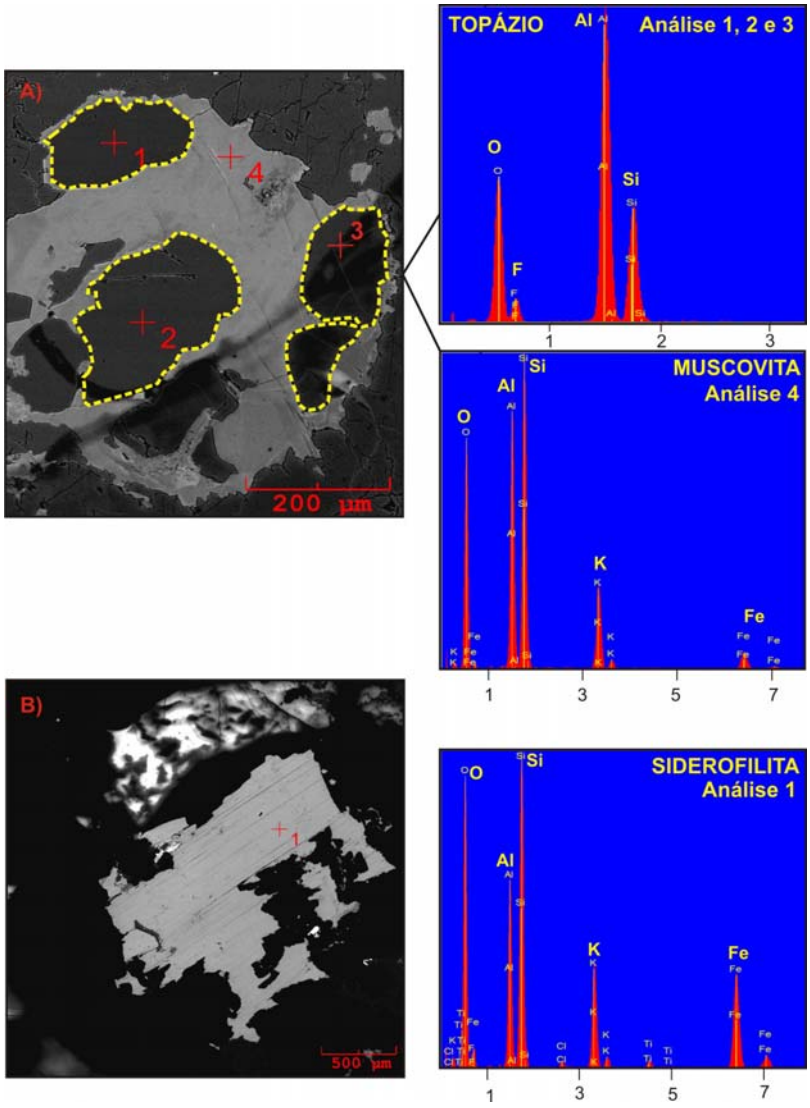

Figura 15 - Imagens obtidas por elétrons retro-espalhados em (a) cristais de topázio e muscovita e (b) siderofilita do Granito Rio Branco, juntamente com seus respectivos espectros.

CAPÍTULO 4 – PETROLOGIA MAGNÉTICA

4.1 ASPECTOS GERAIS

Segundo Clark (1999), a petrologia magnética associa estudos de suscetibilidade magnética, caracterização dos minerais de óxidos de Fe e Ti e petrologia convencional, com o objetivo de entender os processos que formaram ou alteraram os minerais magnéticos nas rochas.

A suscetibilidade magnética (SM) de uma rocha está diretamente ligada à quantidade e modo de ocorrência dos minerais ferromagnéticos nela contidos, tendo em vista que estes minerais são responsáveis pela intensidade e estabilidade da SM no decorrer do tempo. As rochas mostram características magnéticas similares às dos minerais ferromagnéticos que elas contém.

Segundo Clark (1999), as propriedades magnéticas de uma rocha dependem da partição do ferro (Fe) entre os minerais de óxidos de Fe e Ti, fortemente magnéticos, e as fases fracamente magnéticas (silicatos, carbonatos etc.). Esta partição depende, por sua vez, da composição química, estado de oxidação do Fe e das condições petrogenéticas.

Haggerty (1979) apresentou os minerais magnéticos formadores de rochas mais importantes e comuns dentro de três sistemas químicos: a) FeO-TiO_2-Fe_2O_3 (Fig. 16); b) Sulfetos (Fe-Ni-S); c) Ligas metálicas (Fe-Ni-Co). Aquele autor relata ainda que podem existir soluções sólidas entre os componentes de cada sistema e que as propriedades magnéticas dos minerais formadores dessas soluções variam em função do grau de solubilidade do sólido. As composições dos minerais individuais são controladas por suas temperaturas iniciais de formação, pela composição química da rocha, pela presença do *solvus* ao longo da solução sólida e pela fugacidade de oxigênio (fO_2) e de enxofre (fS_2).

Budinggton e Lindsley (1964) discutiram a importância dos minerais óxidos de Fe e Ti como geobarômetros e geotermômetros e seu interesse econômico. Esses autores dividiram os minerais óxidos de Fe e Ti em duas séries: série espinélio (titanomagnetita) e série romboédrical (ilmeno-hematita). Ainda segundo aqueles autores, os óxidos de Fe e Ti (FeO-TiO_2-Fe_2O_3) podem formar diversas associações minerais em função da intensidade de oxidação (fO_2), sendo as variedades texturais e as assembléias mais comumente encontradas, envolvendo estes minerais,

fortemente dependentes de processos relacionados à oxidação e exsolução. Através destes processos, os cristais de titanomagnetita primária podem apresentar durante sua evolução diferentes feições texturais, observadas principalmente na coexistência de magnetita e ilmenita sob condições de intercrescimento (BUDINGGTON E LINDSLEY, 1964; DALL'AGNOL et al. 1997).

Quanto aos sulfetos, Tarling (1971) expressa que a pirrotita (FeS1-x) é o mineral mais interessante, pois apresenta variações nas suas propriedades magnéticas em função da quantidade de enxofre. Para algumas composições, principalmente para x=0,14 (x varia de 0 a 1), a pirrotita mostra fortes propriedades magnéticas. Outros minerais também podem apresentar propriedades magnéticas em temperatura ambiente, como por exemplo, a cassiterita (SnO_2), mas a sua magnetização está relacionada a inclusões de magnetita dentro de sua estrutura e não a magnetismo próprio.

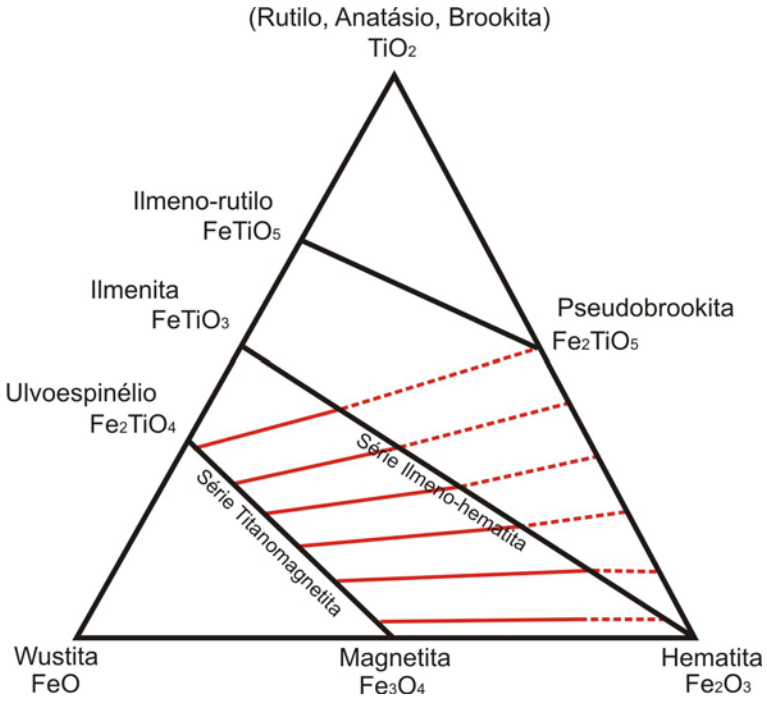

Figura 16 - Diagrama ternário FeO-TiO_2-Fe_2O_3 (simplificado), mostrando os minerais óxidos de Fe e Ti mais comuns. As retas em vermelho indicam o aumento da oxidação, da esquerda para a direita, com a razão Fe:Ti constante.
Fonte: Tarling, 1971 (modificado).

4.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

O Granito Rio Branco apresenta valores de suscetibilidade magnética (SM) variando de $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ (valor mínimo) a $6{,}96 \cdot 10^{-4}$ SI (valor máximo) (Tab. 2), com média de $1{,}55 \cdot 10^{-4}$ SI. Os parâmetros estatísticos estão sumarizados na tabela 3. Os valores de SM mostraram, sobretudo, uma grande concentração no intervalo entre log -4,69 e -3,83 (SI), com alguns valores obedecendo a uma fraca dispersão. A análise baseada em histogramas de freqüência revela que a distribuição do conjunto de amostras estudadas ocorre segundo um padrão unimodal e estão situadas entre log -4,88 e -3,15 (Fig. 17a). A partir destes dados magnéticos foi possível elaborar o gráfico de probabilidade normal (Fig. 17b), que levou à caracterização de uma única população, designada de “A”. A caracterização desta população foi definida a partir de um segmento de reta com certa inclinação, onde se agrupam as amostras alinhadas segundo este mesmo segmento e que cobrem diferentes intervalos de SM.

Os valores de suscetibilidade magnética das amostras selecionadas do Granito Rio Branco são sempre inferiores a $1 \cdot 10^{-3}$ (SI), demonstrando que apresentam sistematicamente valores muito baixos de SM, o que, somado às informações decorrentes do estudo dos minerais óxidos de Fe e Ti, fornece indicações claras de que as variedades que compõem o corpo em seu atual nível de erosão devem ter se formado em condições extremamente redutoras ou, eventualmente, em condições oxidantes, porém tendo sido submetidos a processos subsolidus que desestabilizaram a magnetita.

Para as ocorrências de Serra Dourada e Corpo Planalto, os valores de SM encontrados são comparativamente mais elevados que os valores obtidos para o Granito Rio Branco. Ainda assim, estas rochas também apresentaram baixos valores de SM, com apenas duas amostras apresentando $SM > 1 \cdot 10^{-3}$ (SI), sendo que o valor máximo obtido corresponde a única amostra medida da ocorrência de Serra Dourada (Tab. 2). A análise dos dados de SM desses granitos a partir de histograma e gráfico de probabilidade normal (Fig. 17) revela que os valores obtidos para a ocorrência do Corpo Planalto se aproximam ou superam os maiores valores encontrados para o Granito Rio Branco, demonstrando que as amostras estudadas apresentam um comportamento magnético um pouco distinto do apresentado por este granito. Essas informações devem refletir a natureza dos minerais óxidos de Fe

e Ti dessas rochas e indicam que as amostras selecionadas do granito da ocorrência do Corpo Planalto apresentam assinatura magnética similar a de granitos ligeiramente reduzidos ou moderadamente oxidados. Já o granito da ocorrência de Serra Dourada apresenta comportamento análogo ao de granitos moderadamente oxidados. No entanto, considerando que o estudo de suscetibilidade magnética dessas ocorrências foi baseado em apenas 4 amostras (3 amostras para a ocorrência de Corpo Planalto e 1 para Serra Dourada), esta interpretação deve ser vista como preliminar, sendo necessário um estudo mais detalhado para concluir a respeito da assinatura magnética desses granitos.

Tabela 2- Dados de SM das amostras estudadas.

	Amostra	K(SI)	Log (K)SI
OCORRÊNCIA DE SERRA DOURADA	GRD-77	$6{,}8\cdot10^{-3}$	-2,164
CORPO PLANALTO	GRD-142 F	$1{,}6\cdot10^{-3}$	-2,78495
	GRD-143C	$6\cdot10^{-4}$	-3,22185
	143 A	$3{,}3\cdot10^{-4}$	-3,47721
GRANITO RIO BRANCO	ARC-137	$6{,}96\cdot10^{-4}$	-3,15697
	ARC-138	$5{,}7\cdot10^{-4}$	-3,24413
	ARC-132A	$1{,}53\cdot10^{-4}$	-3,81436
	ARC-126	$1{,}46\cdot10^{-4}$	-3,83367
	ARC-139	$1{,}03\cdot10^{-4}$	-3,98576
	ARC-133	$9{,}3\cdot10^{-5}$	-4,03152
	ARC-140	$8{,}6\cdot10^{-5}$	-4,0655
	ARC-130	$4{,}6\cdot10^{-5}$	-4,33724
	ARC-136	$4{,}3\cdot10^{-5}$	-4,36653
	ARC-123	$3{,}3\cdot10^{-5}$	-4,48149
	ARC-135	$2\cdot10^{-5}$	-4,69897
	ARC-125	$2\cdot10^{-5}$	-4,69897
	ARC-91	$1{,}3\cdot10^{-5}$	-4,88606

Tabela 3- Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Granito Rio Branco.

Parâmetros Estatísticos	K(SI)
Média	$1{,}55\text{x}10^{-4}$
Média geométrica	$7{,}5306\text{x}10^{-5}$
Variância	$4{,}7741\text{x}10^{-8}$
Desvio padrão	$2{,}18497\text{x}10^{-4}$
Valor mínimo	$1{,}3\cdot10^{-5}$
Valor máximo	$6{,}96\cdot10^{-4}$

K(SI): Valor médio de SM no Sistema Internacional.

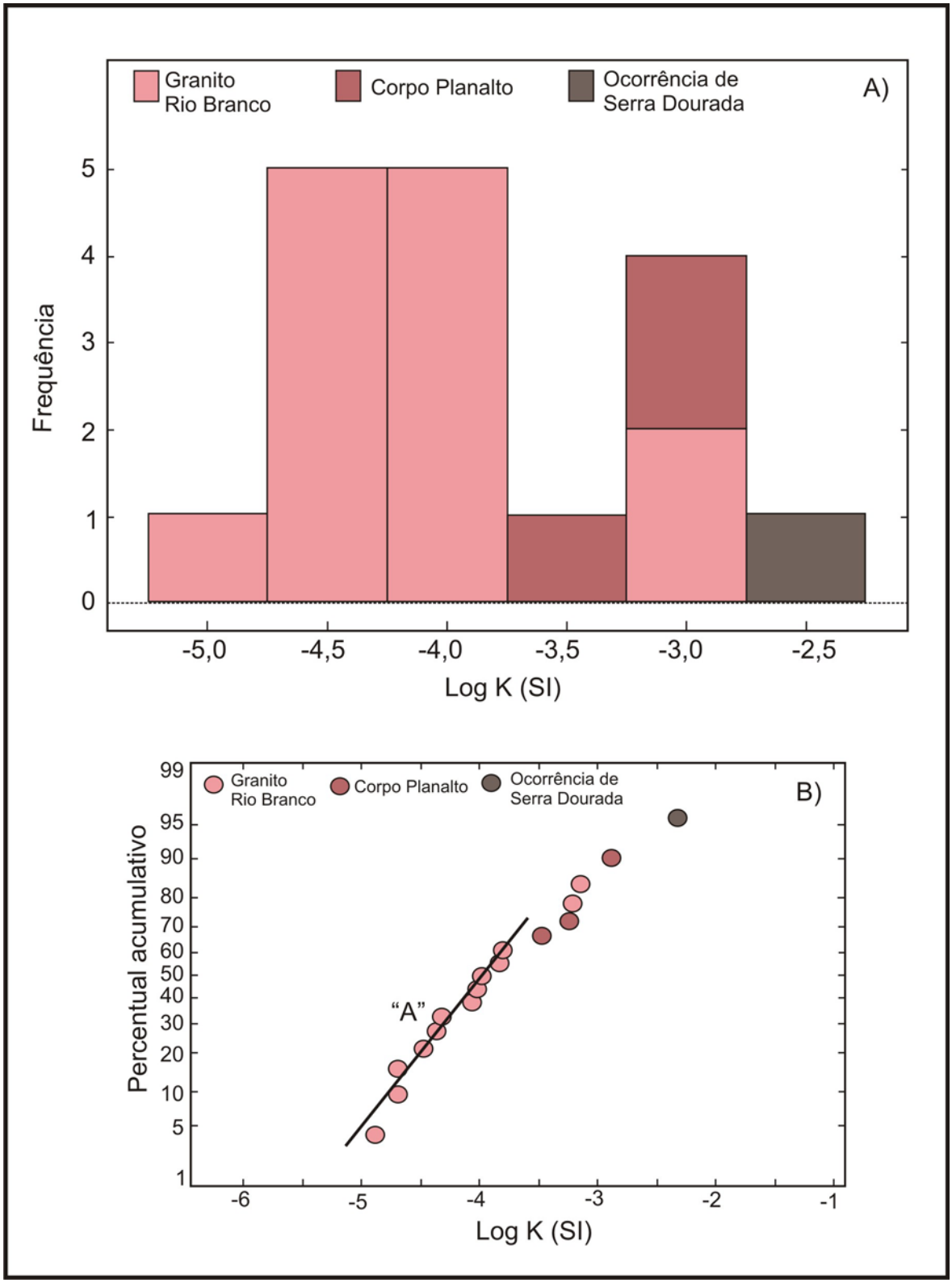

Figura 17 - a) Histograma e (b) gráfico de probabilidade normal referente aos dados de SM das amostras estudadas.

4.3 MINERAIS ÓXIDOS DE Fe E Ti

Os minerais óxidos de Fe e Ti constituintes do Granito Rio Branco são essencialmente hematita e raríssimos cristais de magnetita.

A hematita encontra-se geralmente inclusa ou associada com biotita cloritizada, ou como cristais isolados, intersticiais aos feldspatos. Quando associada à biotita cloritizada, forma cristais finos e alongados dispostos segundo os planos de clivagem da clorita (Fig. 18). Este tipo de ocorrência é verificado principalmente nas amostras onde a biotita primária foi intensamente cloritizada e oxidada. A hematita ocorre também localmente como produto de alteração da magnetita, na forma de martita, a qual exibe formas irregulares e desenvolve-se a partir das bordas da magnetita hospedeira.

A magnetita aparece em uma única amostra (ARC-137), a qual possui o mais alto valor de SM do Granito Rio Branco. Apresenta-se em raros e diminutos cristais subédricos a euédricos, com sinais de oxidação. Em algumas ocorrências, o processo de substituição parcial dos cristais de magnetita por martita é evidente (Figs. 19 a,b,c,d).

Localmente foram identificados cristais subédricos de pirita e calcopirita, disseminados pela rocha. A calcopirita encontra-se associada à bornita (Figs. 19 e,f).

No granito da ocorrência de Serra Dourada, foram identificados magnetita, ilmenita e hematita, todos em baixas proporções modais. Nesta rocha, a magnetita formas pequenos cristais subédricos a euédricos, com sinais de oxidação. Localmente mostra intercrescimentos com ilmenita. A ilmenita ocorre sempre em contato direto ou intercrescida com a magnetita. Segundo os tipos texturais de ilmenita sugeridos por Buddington e Lindsley (1964), Dall'Agnol et al. (1997) e Haggerty (1991), foi encontrada sobretudo ilmenita do tipo T, em treliça. A hematita ocorre em finos cristais alongados, dispostos ao longo dos planos de clivagem da biotita cloritizada (Fig. 20).

Na ocorrência do Corpo Planalto, o mineral óxido de Fe e Ti predominante é magnetita, a qual apresenta evidências de corrosão e se apresenta parcialmente martitizada (Fig. 21). Tal como no Granito Rio Branco, há lamelas de hematita associadas com biotita cloritizada.

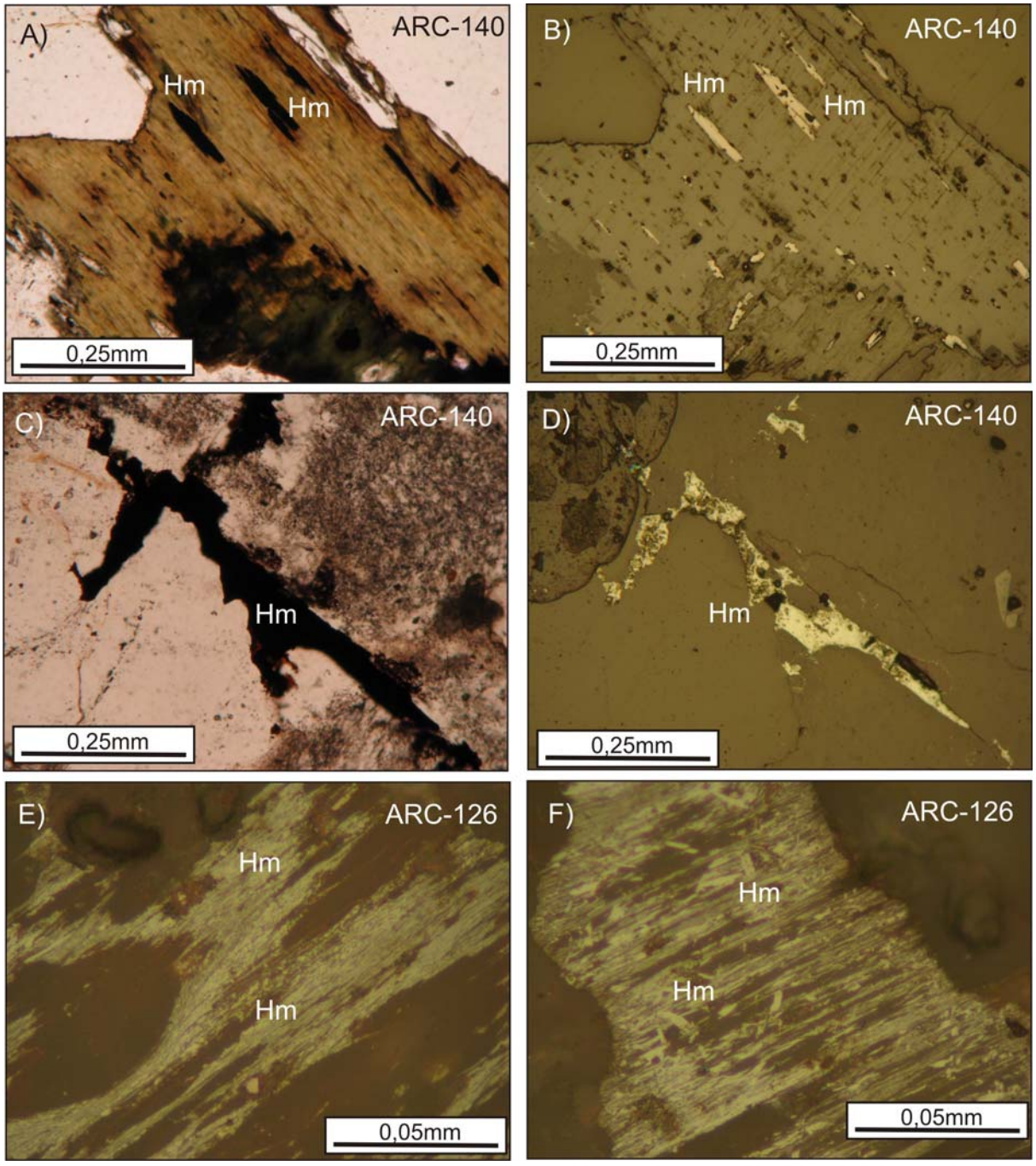

Figura 18- Principal modo de ocorrência dos minerais óxidos de Fe e Ti no Granito Rio Branco: a; b; e; f) Cristais de hematita associados à biotita cloritizada, dispostos entre os planos de clivagem deste mineral; c;d) Cristais de hematita intersticiais a feldspatos e quartzo. a, c – fotomicrografias em luz transmitida e nicóis paralelos; b, d, e, f – fotomicrografias em luz refletida e nicóis paralelos.

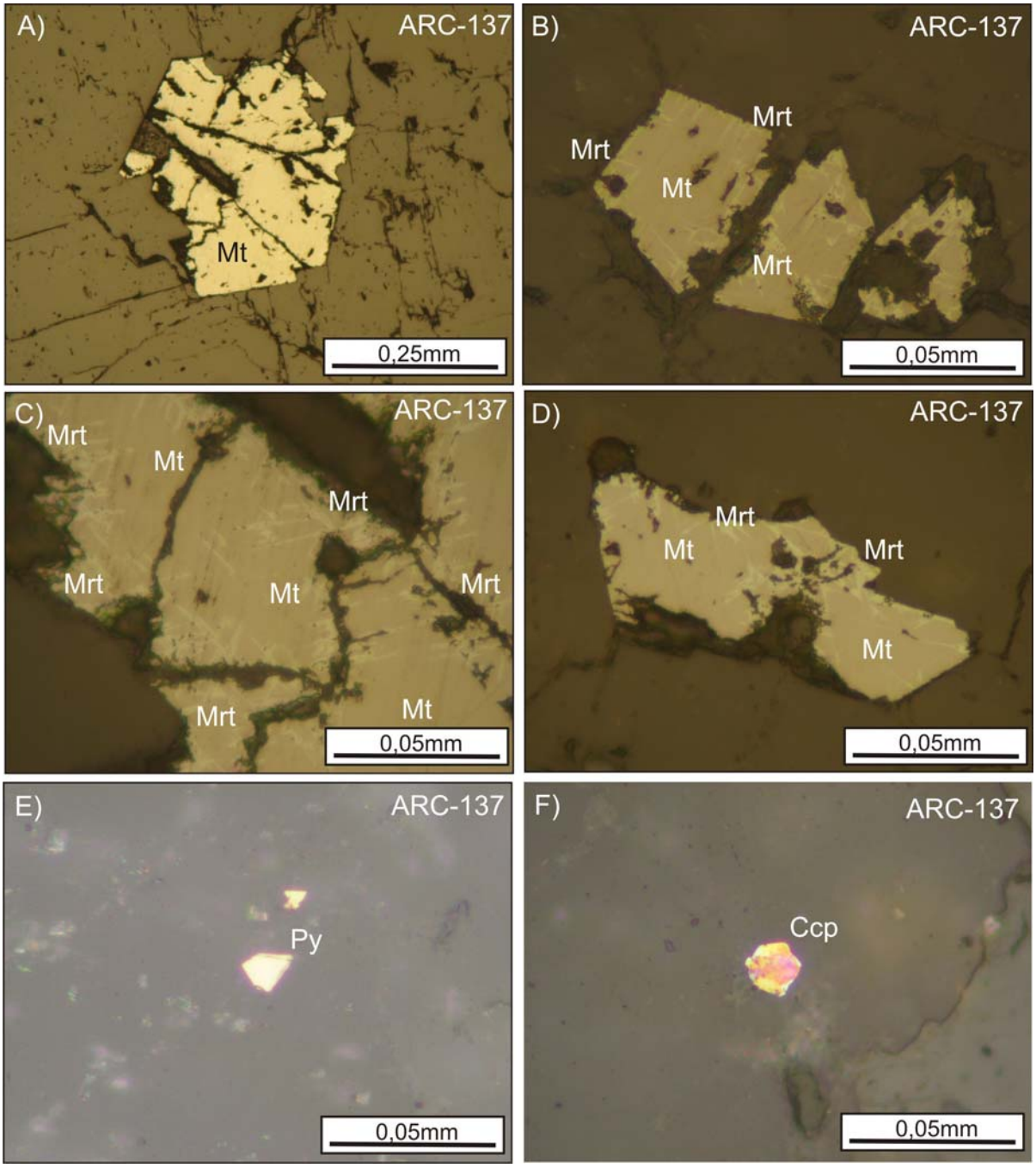

Figura 19- Amostra de mais alta suscetibilidade magnética do Granito Rio Branco: a;b;c;d) Cristais subédricos a euédricos de magnetita mostrando incipiente martitização. Em todos os casos a martita é representada pelas lamelas cinza claro, as quais se desenvolvem preferencialmente nas bordas da magnetita hospedeira; Diminutos cristais subédricos de (e) pirita e (f) calcopirita. Fotomicrografias em luz refletida e nicóis paralelos.

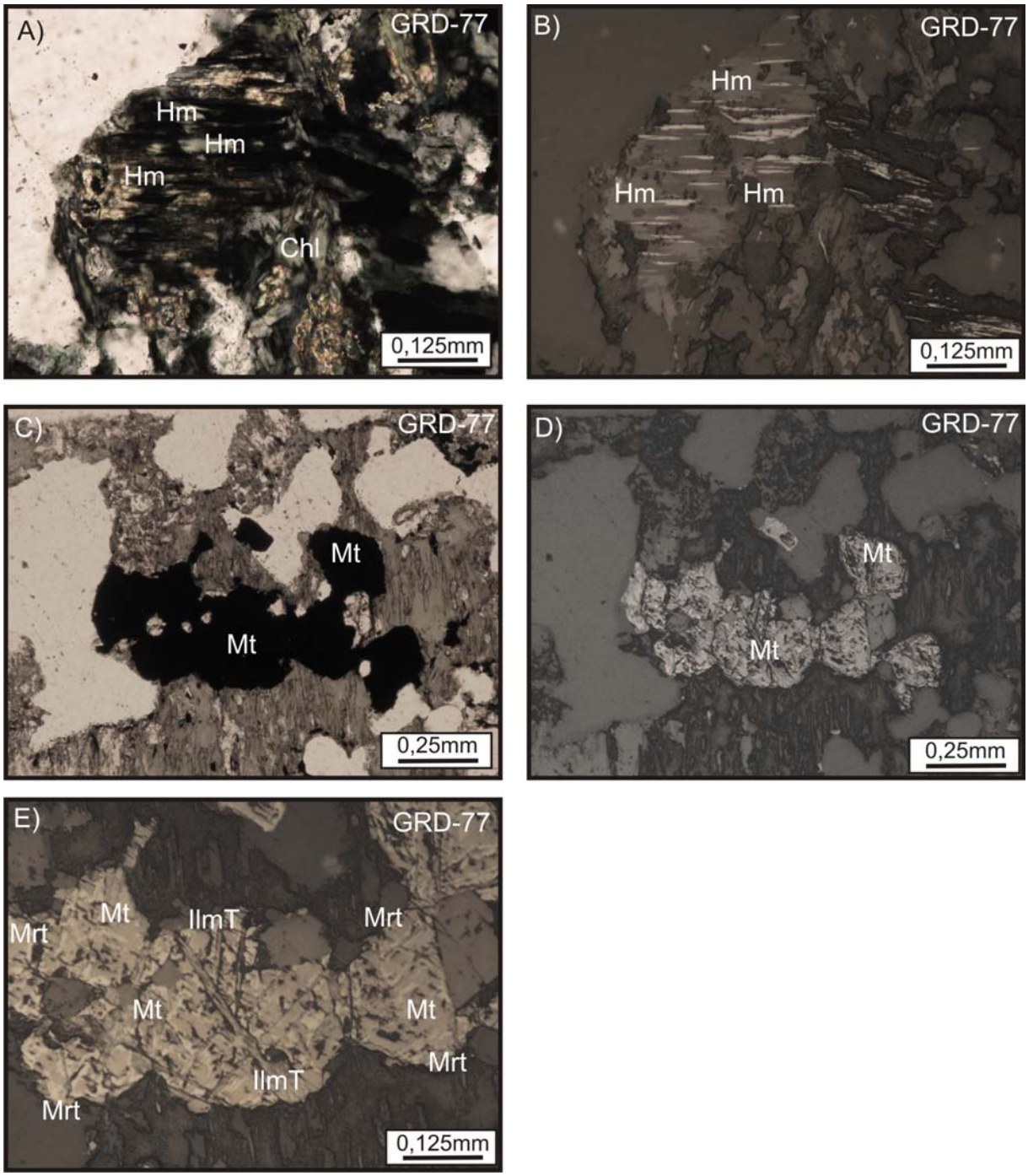

Figura 20 – Granito da ocorrência de Serra Dourada: a; b) Finos cristais de hematita, dispostos entre os planos de clivagem de biotita cloritizada; c ;d) Cristais subédricos de magnetita associados com clorita; e) Cristal de magnetita fortemente oxidado e martitizado, intercrescido com ilmenita tipo T. a, c – Fotomicrografia em luz transmitida e nicóis paralelos; b, d, e – Fotomicrografia em luz refletida e nicóis paralelos.

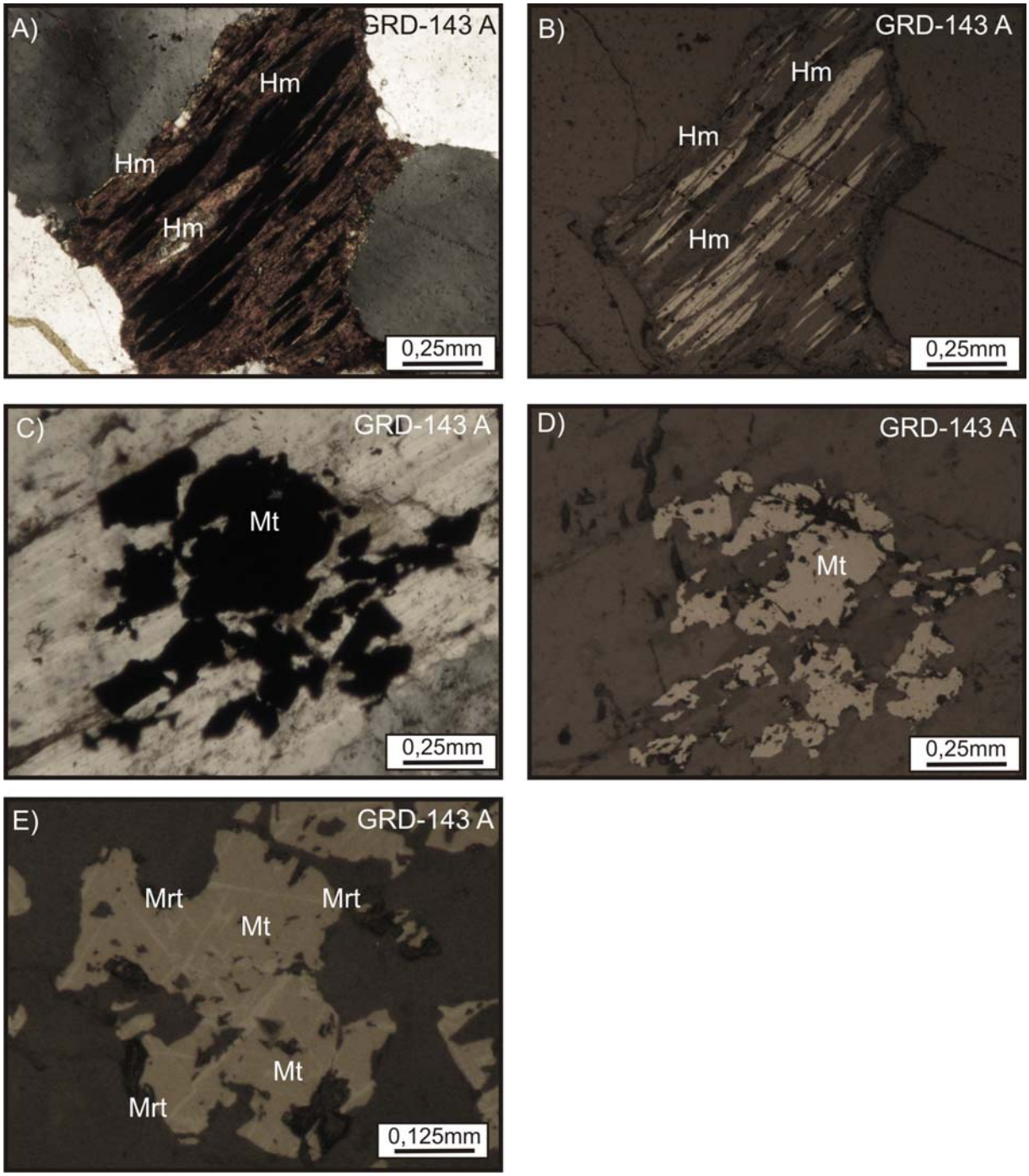

Figura 21 – Granito da ocorrência do Corpo Planalto: a ;b) Finos cristais de hematita, dispostos entre os planos de clivagem de biotita cloritizada; c ;d) Cristais subédricos de magnetita; e) Cristal de magnetita exibindo associações com martita. a, c – Fotomicrografia em luz transmitida e nicóis cruzados; b, d, e – Fotomicrografia em luz refletida e nicóis paralelos.

CAPÍTULO 5 – GEOQUÍMICA

Este capítulo tem como finalidade a caracterização química do Granito Rio Branco, permitindo assim a definição de sua assinatura geoquímica e tipologia, bem como avaliar sua afinidade geoquímica com as suítes anorogênicas descritas na região. Em relação às ocorrências de Serra Dourada e Corpo Planalto, os estudos geoquímicos ainda encontram-se em desenvolvimento.

Com base na petrografia, na distribuição espacial e no grau de preservação, foram selecionadas 6 amostras para análise química, consideradas representativas do Granito Rio Branco.

As análises químicas dos elementos maiores, menores, traços e terras raras das amostras selecionadas para o estudo geoquímico do Granito Rio Branco são apresentadas na tabela 4. Nesta, além das amostras do Granito Rio Branco, constam para comparação análises químicas de amostras das fácies mais evoluídas dos principais granitos que compõem as suítes anorogênicas da Província Mineral de Carajás.

Os dados litogeoquímicos mostraram que as amostras selecionadas do Granito Rio Branco possuem afinidade geoquímica com granitos intra-placa (Fig. 22a; campos cf. PEARCE et al. 1984),e assemelham-se aos granitos tipo-A (Fig. 22b; WHALEN et al. 1987), do subgrupo A_2 (Fig. 22c; EBY, 1992). Exibem natureza subalcalina e caráter metaluminoso a peraluminoso (Fig. 22d). As características geoquímicas e a assinatura tipo A deste granito são consistentes com o fato de ser correlacionado aos granitos anorogênicos paleoproterozóicos da província, os quais possuem assinatura geoquímica similar.

O Granito Rio Branco é formado por rochas ricas em sílica ($77,71\% < SiO_2 < 73,84\%$), com baixos conteúdos de TiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO e P_2O_5. Mostram, ainda, baixos teores de Sr e Ba, moderados de Zr e Hf, e sistematicamente altos de Rb, Y, Th, U, Nb, e Ga (Tabela 4). De modo geral, o quimismo do Granito Rio Branco mostrou-se relativamente uniforme para as amostras analisadas em termos de elementos maiores, menores e traço, havendo dispersões somente nas amostras que sofreram transformações pós-magmáticas (Figs. 23 e 24). As amostras albitizadas mostram empobrecimento em TiO_2, FeOt, CaO, K_2O, e enriquecimento em Na_2O em relação aos granitos dominantes no corpo. Dentre os elementos traços, verificou-se um decréscimo em Ba, Rb, Zr, Y e

Nb associado à transformação. A composição geoquímica da amostra greisenizada é muito similar à observada nas amostras menos afetadas por alterações hidrotermais, o que demonstra que o processo de greisenização foi incipiente, não tendo sido capaz de mobilizar os elementos químicos de modo expressivo.

Os padrões de elementos terras raras (ETR) das amostras analisadas normalizadas com base em condrito (EVENSEN et al.,1978) revelam que as rochas do Granito Rio Branco exibem anomalia negativa extremamente acentuada de Eu (Eu/Eu*=0,05-0,2) e um fracionamento pouco expressivo de ETR pesados ([La/Lu]n=2,8-10,3), determinando, assim, padrões em “gaivota”, típicos de granitos evoluídos e fusões graníticas portadoras de F e Sn (HAAPALA, 1997; TAYLOR E FRYER, 1983). O padrão de ETR do granito mais intensamente albitizado (ARC-91) é semelhante aos das demais amostras, mas apresenta conteúdos relativamente mais baixos de ∑ETR, demonstrando que os fluidos responsáveis pelos processos de albitização foram capazes de remobilizar os ETR do protólito granítico. Em contrapartida, o padrão da amostra ligeiramente greisenizada é muito semelhante ao padrão observado nos granitos dominantes, o que demonstra que a greisenização não foi capaz de remobilizar os ETR do protólito granítico (Fig. 25).

Em todas as amostras estudadas, as razões K_2O/Na_2O são sempre superiores a unidade (Tab. 4), com exceção da amostra intensamente albitizada (ARC-91), que apresenta acentuado enriquecimento em sódio (Fig. 26a). As razões FeOt/(FeOt+MgO) são extremamente elevadas e sempre superiores a 0,93 (Tab. 4). No diagrama FeOt/(FeOt+MgO) *versus* SiO_2 (Fig. 26 b; baseado em FROST et al. 2001), as amostras do Granito Rio Branco incidem no campo dos granitos tipo-A ferrosos. Do mesmo modo, as altas razões FeOt/(FeOt+MgO) permitem classificar o Granito Rio Branco como granito tipo-A reduzido (Fig. 26 c; campos cf. DALL’AGNOL E OLIVEIRA 2007), tal como observado nos estudos de petrologia magnética. Ainda em termos de razões, como consequência dos baixos teores de Sr e Ba observados no Granito Rio Branco, as razões Rb/Sr e Rb/Ba são, via de regra, altas, exceto para a amostra intensamente albitizada (ARC-91), que perdeu Rb ao longo da transformação. No diagrama Rb-Sr-Ba (Figura 26d; cf. EL-BOUSEILY E EL-SOKKARY, 1975), nota-se que as composições analisadas incidem no campo dos granitos extremamente diferenciados, com apenas uma dispersão, correspondente à amostra intensamente albitizada.

Tabela 4- Composições químicas de variedades do Granito Rio Branco e das fácies mais evoluídas de granitos das suítes anorogênicas da PMC.

GRANITO/ SUÍTE	GRANITO RIO BRANCO						SUÍTE JAMON		SUÍTE SERRA DOS CARAJÁS		SUÍTE VELHO GUILHERME	
							REDENÇÃO		SERRA DOS CARAJÁS		ANTÔNIO VICENTE	VELHO GUILHERME
FÁCIES	BSG	BSGG	BSG	BSG	BSGA	BSGA	BMzG	LMzG	BSG	BSG	BSG	BSG
AMOSTRAS	ARC-130	ARC-139	ARC-123	ARC-137	ARC-135	ARC-91	JCR-01D	DCR-07	CJ-29B	CJ-32B	SL-3ª	NN-VG32
SiO_2 (% em peso)	73.84	73.90	74.29	74.34	77.50	77.71	74.20	76.00	73.89	74.50	74.40	75.67
TiO_2	0.09	0.05	0.05	0.08	0.02	0.02	0.30	0.12	0.16	0.20	0.17	0.05
Al_2O_3	12.93	12.87	13.25	12.47	12.43	13.47	13.30	13.10	12.68	11.85	12.42	12.29
Fe_2O_3t	1.67	1.54	0.66	2.38	0.77	0.16	1.31	0.65	1.10	1.03	2.25*	1.39*
FeOt	1.50	1.38	0.59	2.14	0.69	0.14	0.62	0.31	1.34	1.92	Nd	Nd
MnO	0.02	0.01	0.02	0.01	<0.01	<0.01	0.05	0.03	nd	0.01	0.02	0.01
MgO	0.06	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	0.22	<0.10	0.03	0.04	0.14	0.02
CaO	1.21	1.03	1.21	0.85	0.26	0.23	1.10	0.55	0.68	1.11	1.02	0.58
Na_2O	3.46	3.43	3.54	3.48	3.65	7.36	3.50	3.10	2.74	2.82	3.29	3.79
K_2O	5.37	5.68	5.72	4.85	4.50	0.18	5.10	5.40	6.03	5.57	5.22	4.57
P_2O_5	<0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02	0.05	0.01	0.13	0.14	0.12	0.01
PF	1.2	1.3	1.0	1.3	0.8	0.8	0.31	0.17	0.55	0.22	0.86	0.71
Total	98.65	98.54	98.78	98.99	99.14	99.15	100.1	99.44	99.33	99.41	99.91	99.09
Ba (ppm)	227	103	443	90	145	37	909	32	nd	nd	386	20
Rb	278.4	352.1	226.3	443.1	358.1	10.9	204	396	243	253	339	533
Sr	27.1	11.8	52.6	10.9	8.9	33.5	196	27	69	62	51	9
Zr	162.7	137.1	174.3	301.1	58.7	106.9	258	126	244	301	163	106
Nb	94.1	123.7	129.2	182.7	46.2	55.7	21	21	28	75	34	37
Y	244.0	315.5	220.3	308.6	68.7	90.8	71	30	115	78	63	114
Ga	31.4	31.7	24.0	36.1	34.4	31.1	23	27	nd	nd	<5	29
Th	103.6	91.0	74.6	150.0	38.2	49.2	<5	<5	nd	nd	56	48
U	32.4	29.0	16.7	34.0	18.1	25.7	<10	<10	nd	nd	30	12
Cu	16.2	7.7	14.7	3.9	41.7	4.8	nd	nd	nd	nd	9	Nd
Zn	16	12	17	19	7	7	nd	nd	nd	nd	24	27
La	45.5	61.0	172.8	110.9	44.1	20.2	71.8	11.9	268	160	80.90	26.38
Ce	104.9	138.6	183.0	261.3	176.9	16.9	139.7	31.9	259	331	157.80	61.58

Nd	61.4	85.6	178.7	115.0	38.1	20.4	51.7	9.2	168	107	49.4	32.31
Sm	18.35	25.84	43.15	28.36	9.50	6.30	9.3	1.8	27	16.5	10.7	9.13
Eu	0.66	0.49	3.22	0.43	0.16	0.59	1.4	0.2	2.33	1.24	0.7	0.10
Gd	23.37	31.93	43.32	30.81	8.32	8.46	7.6	1.3	18.9	11.1	8.7	10.49
Dy	29.45	39.42	40.50	37.70	13.60	14.42	5.0	0.8	17.2	8.91	9.8	14.35
Er	20.09	27.05	23.26	26.45	11.36	11.52	3.6	0.4	9.78	4.82	6.3	10.69
Yb	20.78	26.59	21.24	26.14	17.09	12.69	2.8	0.4	8.44	4.05	7.6	11.56
Lu	3.10	3.86	2.87	3.80	2.56	1.88	0.4	0.1	1.06	0.56	1.0	1.79
FeOt/(FeOt+MgO)	0.9616	0.9928	0.9519	0.9953	0.9857	0.9350	0.90	0.92	0.98	0.98	0.94	0.98
K_2O/Na_2O	1.552	1.655	1.615	1.393	1.232	0.0244	1.46	1.74	2.20	1.98	1.59	1.22
Eu/Eu*	0.099	0.053	0.229	0.045	0.054	0.251	0.49	0.29	0.30	0.26	0.21	0.03
$(La/Lu)_N$	5.826	2.824	1.039	1.667	1.420	10.33	18.63	12.37	25.90	28.57	8.09	1.47

PF: Perda ao fogo nd: não determinado; *-Fe_2O_3 total; A = Albitizado; G = Greisenizado; B = Biotita; MzG = Monzogranito; SG = Sienogranito; L = Leuco.

Composições dos granitos Redenção, Serra dos Carajás, Antonio Vicente e Velho Guilherme

Fonte: Dall'Agnol et al. (2005) e referências apresentadas naquele trabalho.

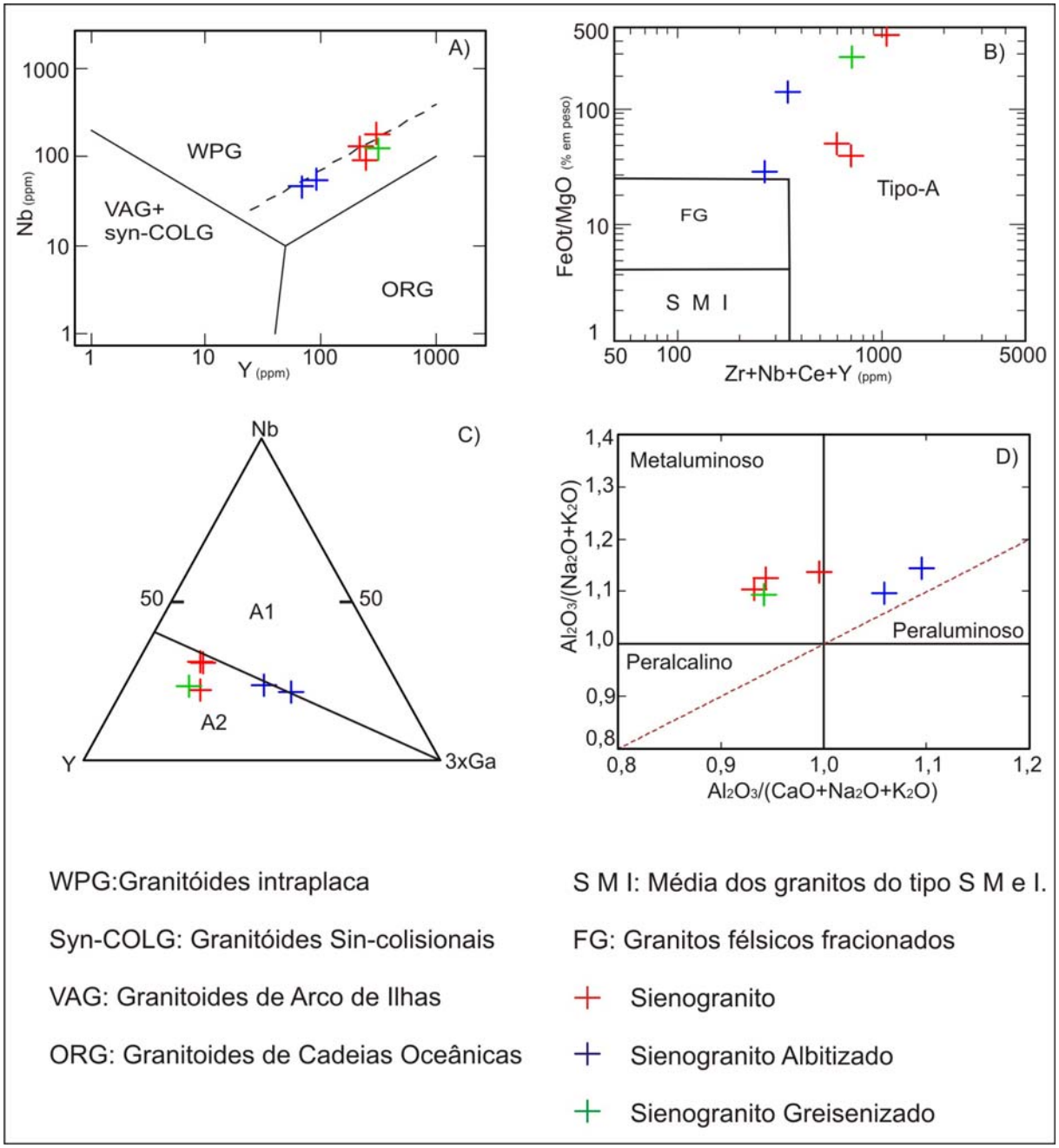

Figura 22 - a) Diagrama discriminante de ambiente tectônico (PEARCE et al.1984) para o Granito Rio Branco; b) diagrama discriminante de granitóides tipo-A de Whalen et al. (1987); c) Diagrama Nb-Y-3Ga (EBY, 1992), mostrando a distribuição do Granito Rio Branco; d) diagrama A/CNK *vs* A/NK (proporções moleculares; SHAND, 1922), mostrando o caráter metaluminoso do Granito Rio Branco, passando a peraluminoso quando afetado por albitização.

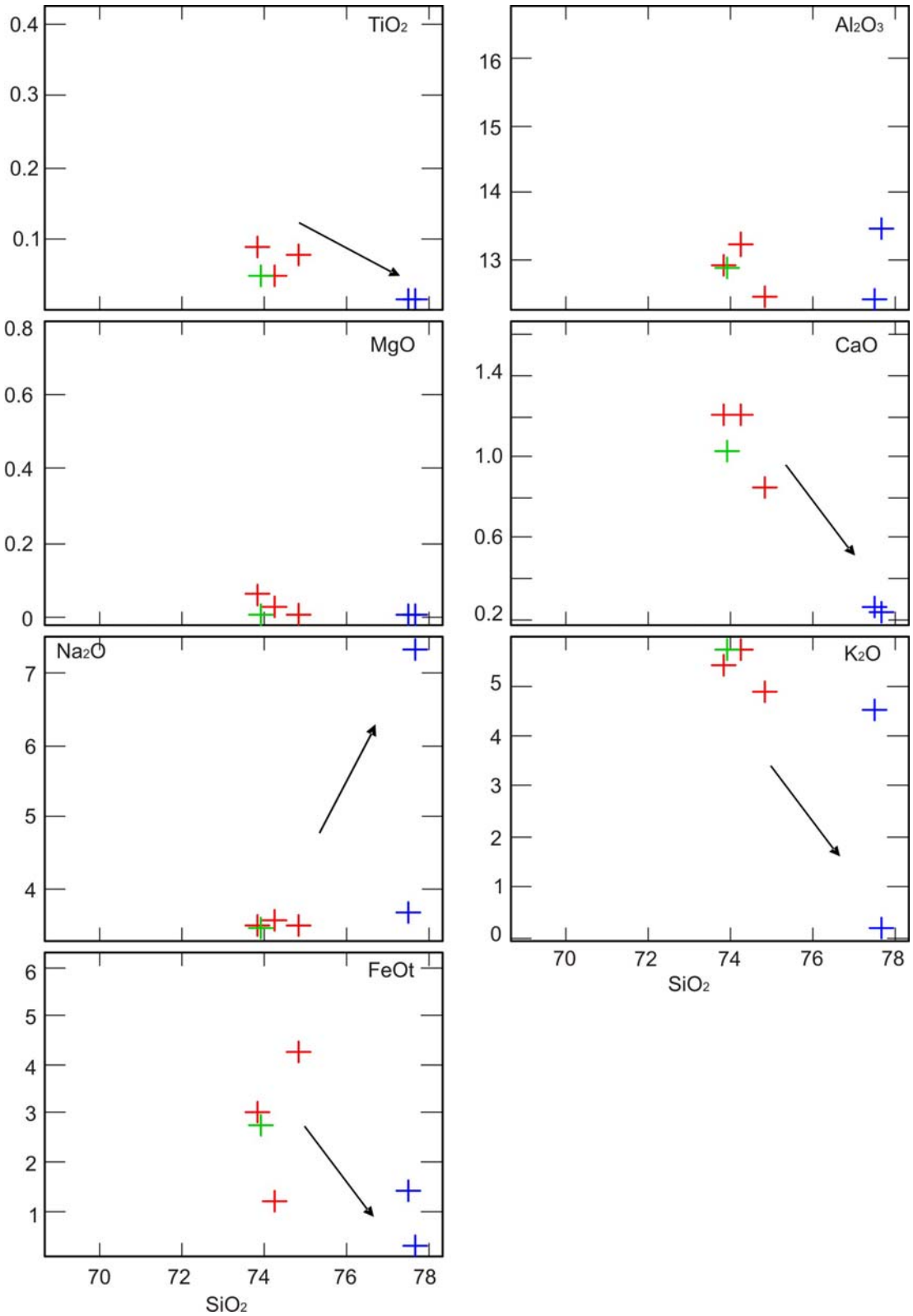

Figura 23- Diagramas de variação de Harker para os óxidos dos elementos maiores e menores (% em peso) para o Granito Rio Branco. As setas indicam as variações dos elementos para as amostras afetadas por processos de albitização. Simbologia conforme a figura 22.

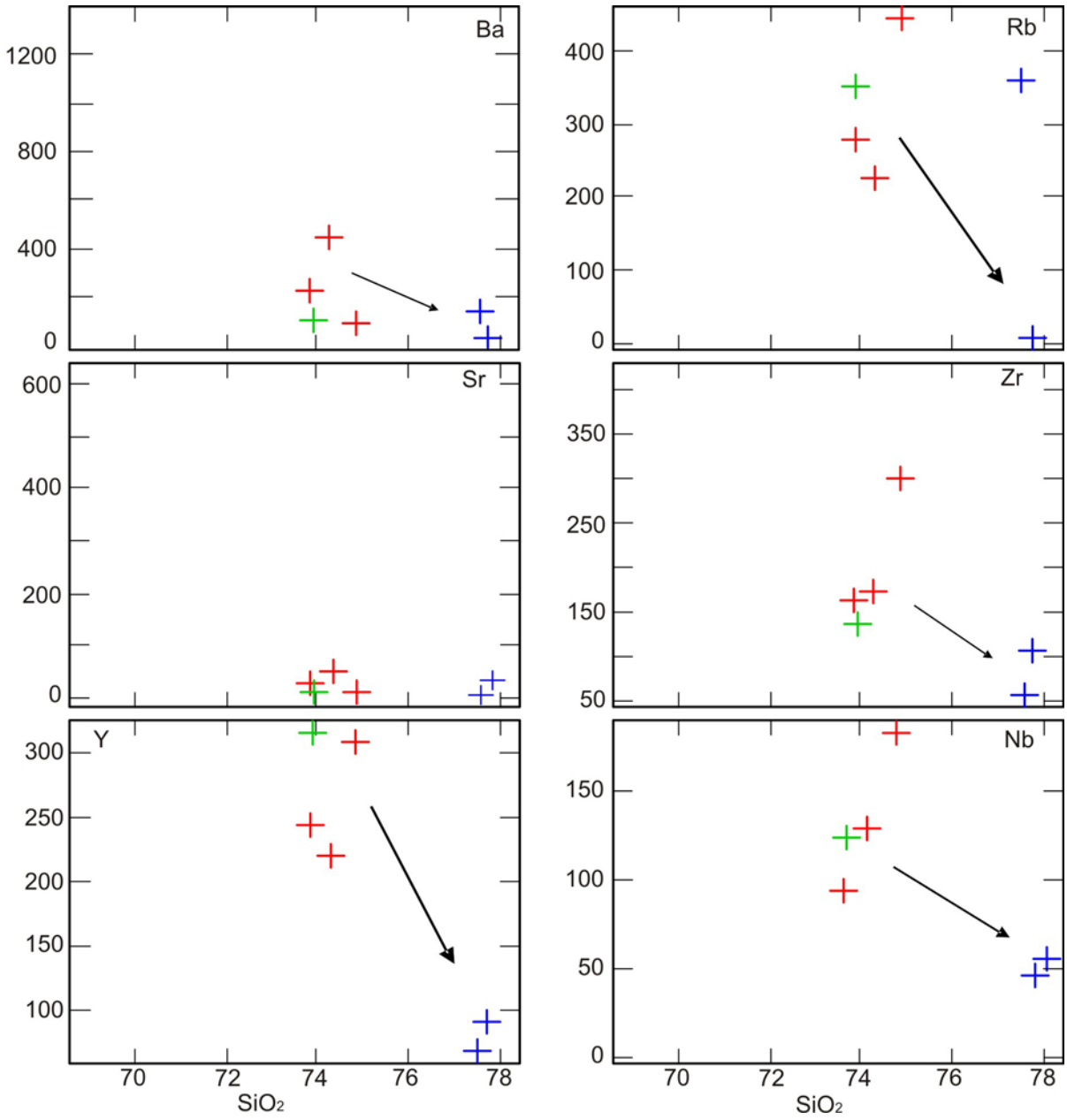

Figura 24 - Diagramas de variação de Harker para os elementos traços (em ppm) para o Granito Rio Branco. As setas indicam as variações dos elementos para as amostras afetadas por processos de albitização. Simbologia conforme a figura 22.

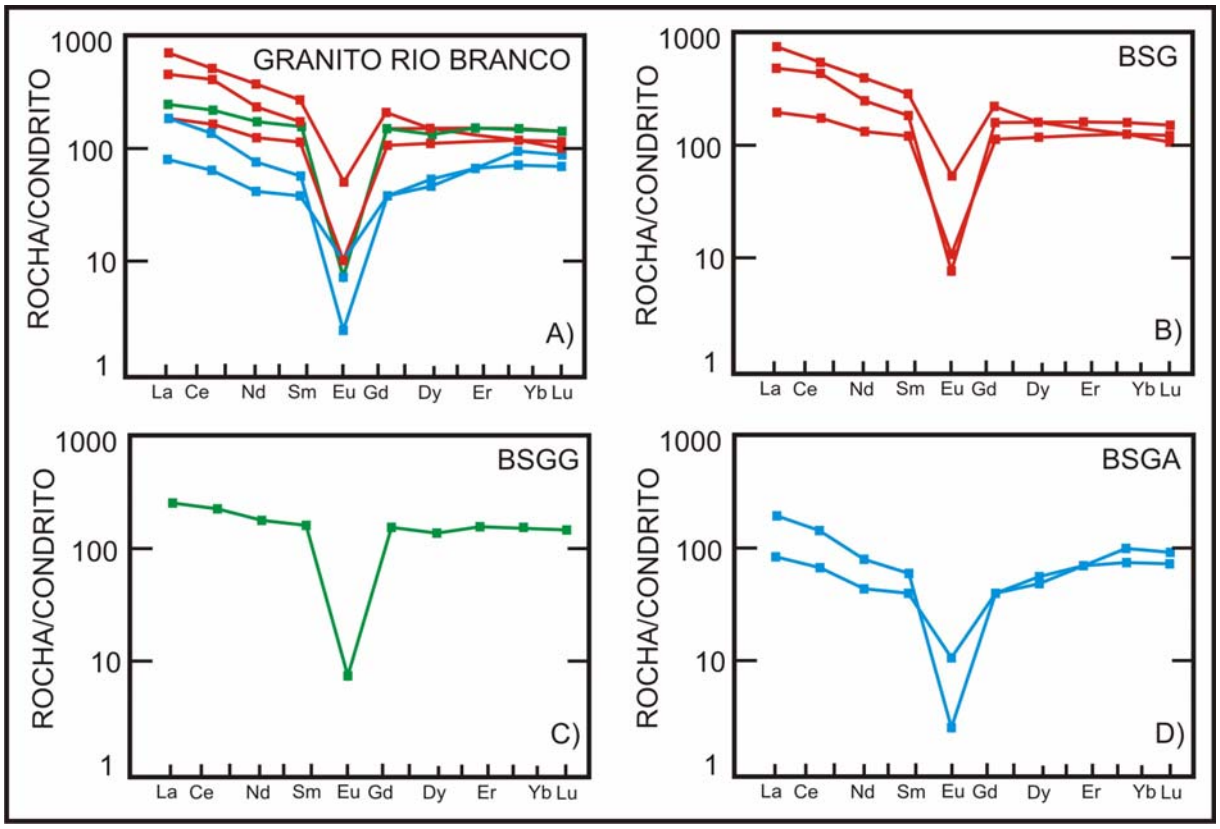

Figura 25 - a) Padrões de distribuição dos ETR normalizados pelo condrito (EVENSEN et al.1978) para as amostras representativas do Granito Rio Branco. b) Padrão correspondente ao biotita-sienogranito; c) biotita-sienogranito greisenizado; d) biotita-sienogranito albitizado.

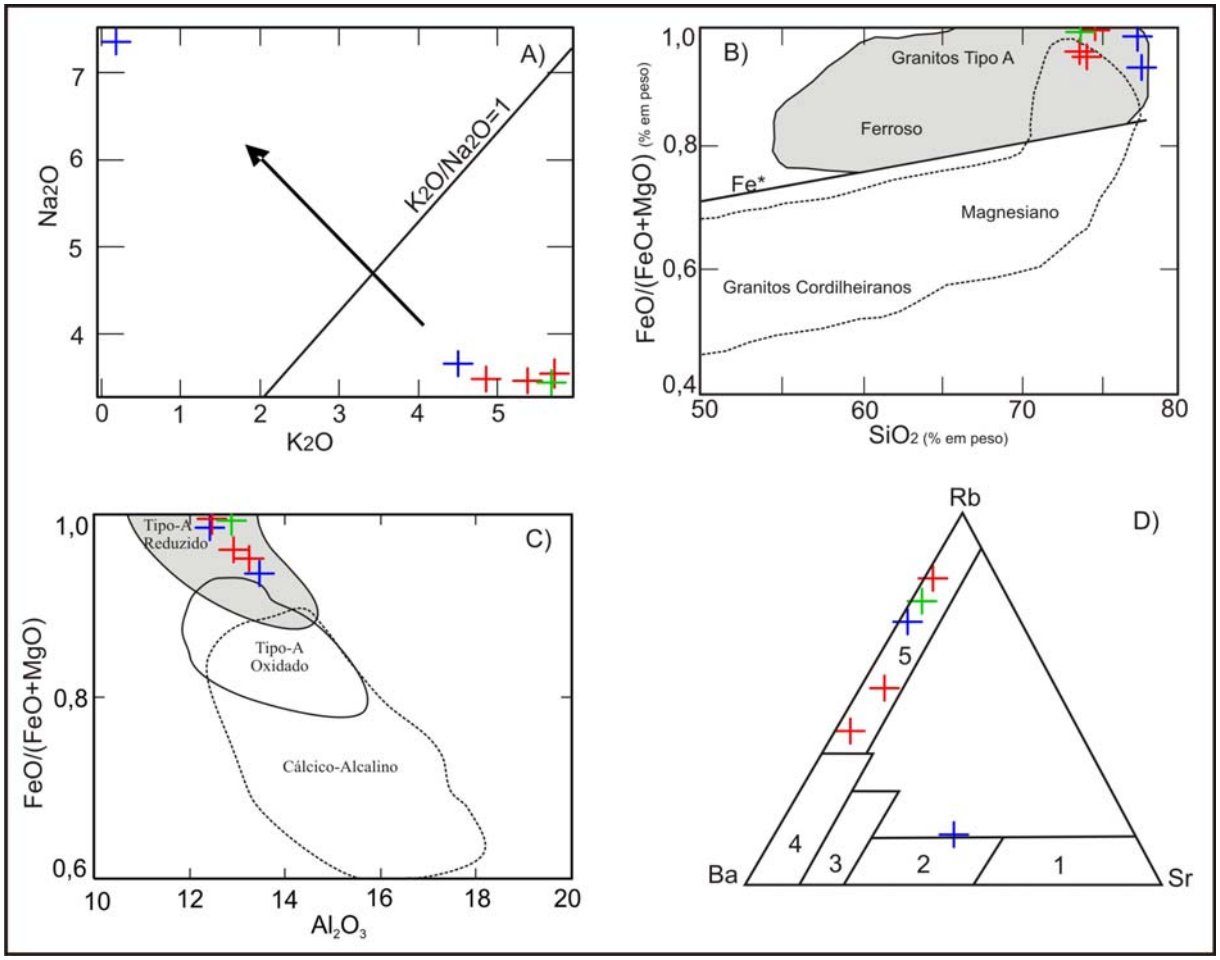

Figura 26 - Diagramas de caracterização geoquímica do Granito Rio Branco: a) Na_2O *versus* K_2O (% em peso); b) FeOt/(FeOt+MgO) *versus* SiO_2; c) FeOt/(FeOt+MgO) *versus* Al_2O_3; d) Rb-Sr-Ba. Neste último, os campos correspondem a (1) Diorito, (2) granodiorito e quartzo diorito, (3) granitos anômalos, (4) granitos normais e (5) granitos extremamente diferenciados. Simbologia conforme a figura 22.

CAPÍTULO 6 – GEOCRONOLOGIA

Os estudos geocronológicos tiveram por objetivo determinar as idades de cristalização dos granitos estudados neste trabalho, para melhor posicioná-los estratigráficamente e avaliar a possibilidade de correlacioná-los às suítes do tipo A neoarqueanas ou paleoproterozóicas descritas na Província Mineral de Carajás. Tais estudos deveriam complementar as deduções feitas a partir de relações de campo, imagens de sensores remotos e afinidades petrográficas, geoquímicas e comportamento magnético.

Foram selecionadas para datação as amostras ARC-137 e GRD-77, pertencentes, respectivamente, ao Granito Rio Branco e à ocorrência granítica de Serra Dourada. Em relação à ocorrência do Corpo Planalto, os estudos geocronológicos ainda encontram-se em desenvolvimento.

Na amostra ARC-137 do Granito Rio Branco, constatou-se que os cristais de zircão selecionados apresentavam cor caramelo claro e formas subédricas, por vezes arredondadas. Em geral mostraram-se fraturados, com elevado grau de metamictização e frequentes inclusões escuras (Figs. 27 a, b, c). Mais raramente, formam prismas curtos, com arestas abrasadas e sinais de zoneamento (Figura 26 d). 24 grãos foram selecionados para análise, porém dentre estes muitos não forneceram resultados adequados, sendo que apenas 7 cristais forneceram sinal de chumbo suficientemente estável para a realização da análise (Tab. 5).

Dentre esses sete grãos, os de números 1, 3, 4 e 9 foram excluídos do cálculo da idade por possuírem razões $^{204}Pb/^{206}Pb$ maiores que 4×10^{-4}. Os cristais 2 e 5 apresentaram idades de 1908,7±7 Ma e 1893,6±15,8, respectivamente, em uma única etapa de evaporação cada, o que não garante resultado confiável, pois, teoricamente, poderiam apresentar idades mais antigas na etapa de temperatura mais elevada. O grão 7 revelou idade de 1694,7±183,1 e foi eliminado subjetivamente por apresentar um erro muito elevado, sendo interpretado como um dado não conclusivo. Portanto, os dados obtidos não permitem a definição de uma idade média para a cristalização do maciço.

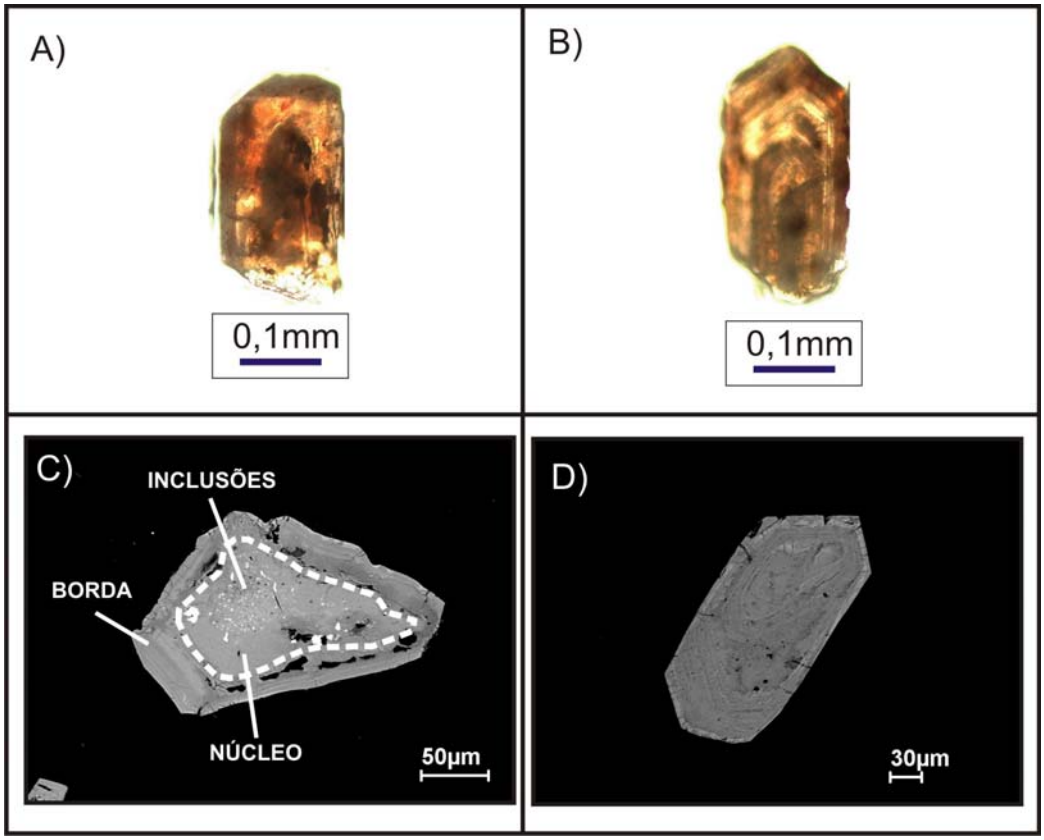

Figura 27- Cristais de zircão do Granito Rio Branco, amostra ARC-137. a e b) Fotomicrografias; c e d) Imagens obtidas por elétrons retro-espalhados.

Portanto, as tentativas de datação do Granito Rio Branco foram infrutíferas, devido ao avançado estágio de metamictização em que se encontram os cristais de zircão da amostra selecionada. Durante as análises, a grande maioria dos grãos não forneceu sinal de chumbo estável, impossibilitando a efetivação das mesmas. Como uma tentativa anterior de datação de outra amostra do Granito Rio Branco (ARF-27), efetuada pelo então doutorando Alex Souza Sardinha, também vinculado ao GPPG, as mesmas dificuldades foram enfrentadas, não chegando a nenhum resultado consistente. Conclui-se que o problema é de caráter geral, sendo inerente ao fato do granito ser muito evoluído e ter sido afetado por intensas transformações pós-magmáticas. No entanto, as relações de campo, somadas às informações petrográficas e geoquímicas, permitem correlacionar o Granito Rio Branco às suítes anorogênicas paleoproterozóico da Província Mineral de Carajás.

Para a ocorrência de Serra Dourada, a idade de cristalização foi determinada a partir da análise de 6 cristais de zircão. São cristais de cor rosa, transparentes, a maioria com faces e arestas preservadas, em geral fraturadas e eventualmente

exibindo inclusões de cores escuras. Apresentam formas de prismas curtos e alguns cristais mostram leve efeito metamíctico. As idades $^{207}Pb/^{206}Pb$ obtidas variam entre 2618,7±7,7 Ma e 2746,9±9,7 Ma, com média de 2736,3±3,2 Ma. Essa idade é interpretada como a idade mínima de cristalização da rocha (Fig. 28 e tab. 5).

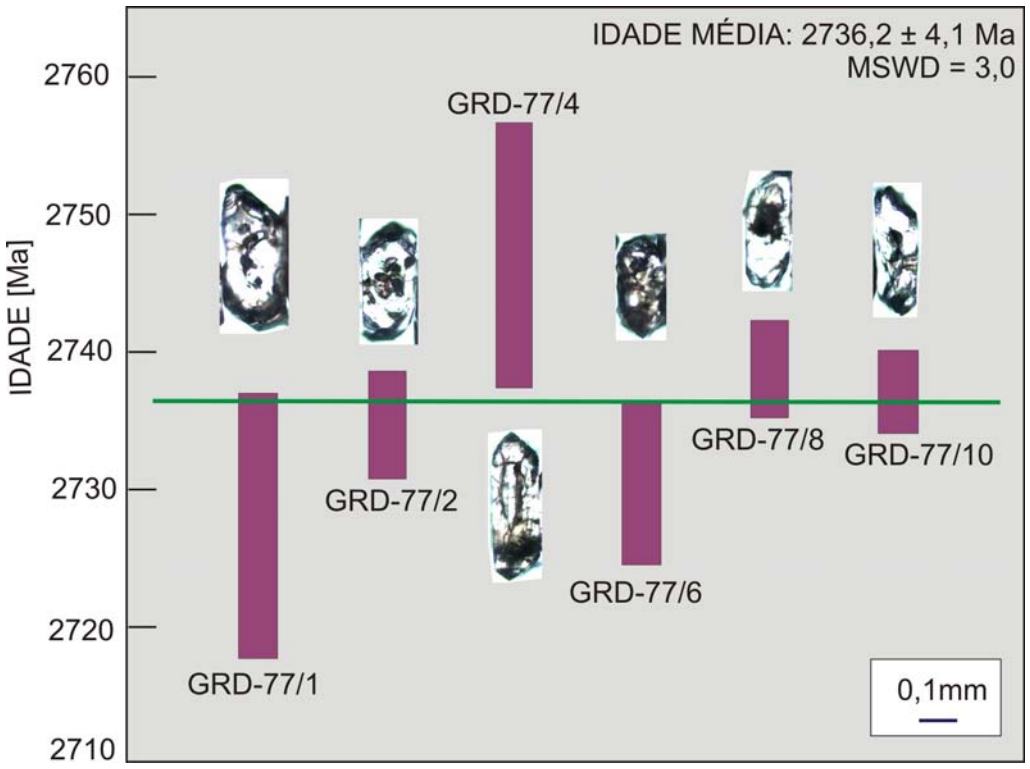

Figura 28 - Diagrama de barras mostrando a média das idades de 6 cristais de zircão da amostra GRD-77, correspondente à ocorrência granítica de Serra Dourada.

Tabela 5 – Resultados analíticos Pb-Pb em zircão do Granito Rio Branco e da ocorrência de granito da Serra Dourada

Zircao	Razoes	$^{204}Pb/^{206}Pb$	2s	$(^{208}Pb/^{206}Pb)c$	2s	$(^{207}Pb/^{206}Pb)c$	2s	Idade	2s
Granito Rio Branco (Amostra ARC-137)									
ARC137/1	0/36	0,002306	0,000348	0,44521	0,00687	0,06661	0,00579	825,7	181,5
ARC137/2	4/22	0,000000	0,000000	0,14381	0,00279	0,11684	0,00045	1908,7	7
	0/6	0,000339	0,000400	0,11054	0,01364	0,10462	0,00555	1708	97,4
ARC137/3	0/8	0,001107	0,000026	0,24742	0,00235	0,06331	0,00043	718,8	14,4
ARC137/4	0/16	0,000800	0,000020	0,66911	0,00399	0,09177	0,00225	1463,1	46,7
	0/16	0,000167	0,000044	0,19629	0,00168	0,11343	0,00082	1855,3	13
ARC137/5	16/16	0,000028	0,000005	0,17136	0,00137	0,11586	0,00102	1893,6	15,8
ARC137/7	0/6	0,000000	0,000000	0,189	0,02858	0,10387	0,01032	1694,7	183,1
ARC137/9	0/32	0,001538	0,000679	0,37123	0,01791	0,06998	0,01138	928,1	333,8
Média	**20/158**				**Idade média dos grãos=**		**não determinada**		**6,3**
Ocorrência de Serra Dourada (Amostra GRD-77)									
GRD77/1	0/8	0,000000	0,000000	0,16802	0,01456	0,18579	0,01586	2705,4	140,9
	22/22	0,000063	0,000074	0,17724	0,00199	0,18824	0,00111	2727,2	9,7
GRD77/2	16/16	0,000000	0,000000	0,25668	0,01073	0,18907	0,00046	2734,5	4,0
GRD77/4	0/26	0,000000	0,000000	0,20686	0,01389	0,17881	0,00289	2642,2	26,8
	22/22	0,000000	0,000000	0,19235	0,00065	0,19050	0,00113	2746,9	9,7
GRD77/6	0/6	0,000000	0,000000	0,15557	0,00214	0,18016	0,00055	2654,6	5,0
	8/8	0,000000	0,000000	0,17516	0,01042	0,18858	0,00069	2730,2	6,0
GRD77/8	0/18	0,001876	0,000167	0,10321	0,07197	0,15259	0,00229	2375,4	25,5
	40/40	0,000058	0,000013	0,16947	0,00052	0,18955	0,00042	2738,7	3,6
GRD77/10	0/4	0,000914	0,000022	0,35888	0,00368	0,17631	0,00081	2618,7	7,7
	0/38	0,000254	0,000008	0,21933	0,00174	0,19004	0,00023	2742,9	2,0
	32/32	0,000274	0,000003	0,21910	0,00118	0,18936	0,00036	2737,0	3,1
Média	**140/240**					**Idade Média dos grãos =**		**2736,3**	**3,2**

(c) - razão $^{207}Pb/^{206}Pb$ e $^{208}Pb/^{206}Pb$ corrigida do Pb comum

CAPÍTULO 7 - ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O GRANITO RIO BRANCO E AS OCORRÊNCIAS GRANÍTICAS DE SERRA DOURADA E CORPO PLANALTO E OS GRANITOS TIPO A DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

Os estudos realizados neste trabalho permitem comparar o Granito Rio Branco às suítes anorogênicas da Província Mineral de Carajás (DALL'AGNOL et al. 2005). A afinidade do granito estudado com as referidas suítes é indicada por seu caráter isotrópico e textura hipidiomórfica equigranular média, sem evidências de deformação expressiva. Embora texturas porfiríticas e rapakivi não tenham sido identificadas no Granito Rio Branco, o mesmo revela diversos aspectos texturais e composicionais que sugerem afinidade com os granitos anorogênicos das mencionadas suítes. Em termos petrográficos, o Granito Rio Branco é composto fundamentalmente por sienogranitos, hololeucocráticos, com conteúdo de máficos inferiores a 5%, similar ao observado nas fácies mais evoluídas das suítes Jamon e Serra dos Carajás e nas fácies dominantes da Suíte Velho Guilherme.

Segundo Dall'Agnol et al. (2005), os granitos da Suíte Jamon são compostos por monzogranitos e sienogranitos subordinados, com conteúdos de minerais máficos variando normalmente entre 15% e 5%. Nas fácies menos evoluídas o conteúdo de máficos pode ultrapassar 20% e em leucogranitos diferenciados é inferior a 5%. Na Suíte Serra dos Carajás, monzogranitos e sienogranitos são dominantes, e a quantidade de minerais máficos é geralmente inferior a 15%. Na Suíte Velho Guilherme, sienogranitos são dominantes sobre monzogranitos e álcali-feldspato-granitos. Em geral, os granitos da Suíte Velho Guilherme são mais leucocráticos que os granitos das outras suítes. Nas três suítes, a biotita é o máfico varietal exclusivo das fácies mais evoluídas, enquanto que biotita+hornblenda compõem as fases máficas dominantes nas demais fácies. O diagrama QAP mostra as composições modais das diferentes suítes e do Granito Rio Branco (Fig. 29).

Quanto à mineralogia, o Granito Rio Branco contém biotita, allanita e zircão como fases máficas. As fases pós-magmáticas são representadas principalmente por albita, topázio, fluorita, siderofilita e sericita-muscovita. Na Suíte Jamon, a assembléia mineralógica acessória primária é formada por zircão, apatita, magnetita, ilmenita, allanita e titanita (DALL'AGNOL et al. 1999; OLIVEIRA 2001). Fluorita ocorre somente nas fácies mais evoluídas. Os processos subsolidus são geralmente limitados à alteração do plagioclásio e das fases máficas. Na Suíte Serra

dos Carajás, a mineralogia acessória é similar a da Suíte Jamon, entretanto, titanita é rara ou ausente, sendo fluorita mais comum e ocasionalmente turmalina está presente (BARROS et al. 1995; ELY et al. 2001; JAVIER RIOS et al. 1995). Na Suíte Velho Guilherme, a fácies sienogranítica é desprovida de titanita. Fluorita é mais comum e esporadicamente ocorrem monazita e xenotima. Pode conter topázio e siderofilita, como produto da greisenização.

Em termos comparativos, a abundância de fluorita e de minerais hidrotermais como albita, siderofilita, topázio e a ausência de titanita na fácies sienogranítica do Granito Rio Branco indica que esta fácies formou-se a partir de líquido muito evoluído e rico em fases voláteis entre as quais se destaca o flúor.

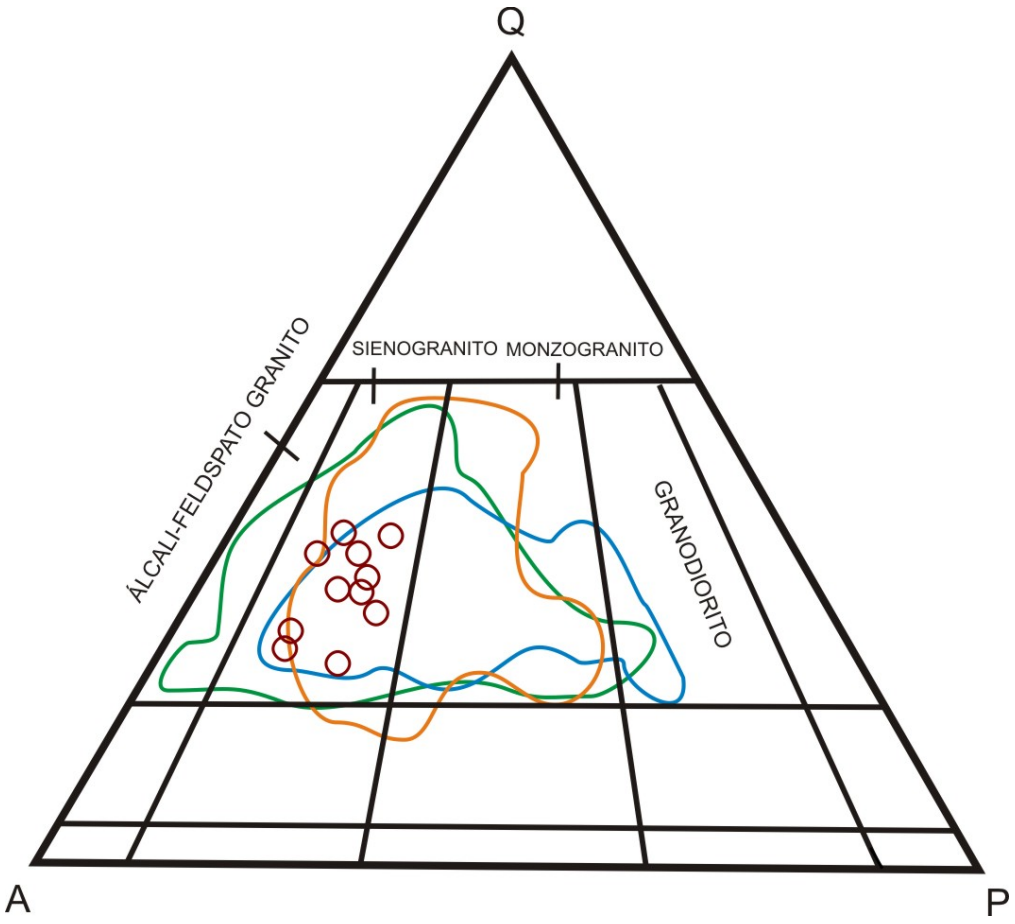

Figura 29 - Diagrama Q-A-P, mostrando os campos de distribuição das variedades petrográficas da Suíte Jamon (em azul), Suíte Serra dos Carajás (em laranja) e Suíte Velho Guilherme (em verde) (Campos baseados em DALL'AGNOL et al., 2005). Os círculos em vermelho representam as composições modais de amostras do Granito Rio Branco

Os dados de SM e a petrografia de opacos do Granito Rio Branco revelaram que esse corpo apresenta comportamento magnético típico de granito reduzido. Dall'Agnol et al. (2005) encontraram valores de SM relativamente altos ($1{,}05 \cdot 10^{-3}$ a

54,73·10^{-3} SI) e distribuição unimodal para os granitos da Suíte Jamon. Os valores mais elevados de SM foram encontrados em fácies granodioríticas e monzograníticas com anfibólio e os valores mais baixos correspondem aos biotita-leucogranitos. Para a Suíte Serra dos Carajás os valores de SM são moderados (1.0·10^{-3} - 5.0·10^{-3}) e na Suíte Velho Guilherme os valores de SM são em parte superpostos aos da Suíte Serra dos Carajás, porém com dominância de valores relativamente mais baixos (<1.0·10^{-3}), principalmente nas fácies sienogranito e álcali-feldspato granito.

A figura 30, juntamente com a tabela 6, apresentam uma comparação entre as assinaturas magnéticas das diferentes suítes anorogênicas mencionadas e das amostras do corpo Rio Branco, sumarizando os dados de SM obtidos para essas rochas. A tabela 7 exibe um quadro comparativo entre os minerais opacos dessas diversas suítes anorogênicas e do Granito Rio Branco. Os estudos de caracterização dos minerais óxidos de Fe e Ti indicam uma maior afinidade deste granito com aqueles da Suíte Velho Guilherme.

Em relação à assinatura geoquímica, os granitos das diferentes suítes em questão apresentam características de granitos tipo-A (WHALEN et al. 1987; EBY 1992) e intra-placas (PEARCE et al. 1984). São granitos ferrosos, com razões FeOt/(FeOt+MgO) > 0.8, com conteúdos de sílica >65% e caráter metaluminoso a peraluminoso. Possuem razões Na_2O/K_2O geralmente entre 1.0 e 2.0, havendo aumento gradativo da Suíte Jamon para a Suíte Velho Guilherme e Serra dos Carajás (DALL'AGNOL et al. 2005). Os padrões de ETR mostram baixas razões (La/Lu)n, moderadas a pronunciadas anomalias negativas de Eu (Tab. 4), geralmente se tornando mais marcantes das fácies menos evoluídas para as fácies mais evoluídas. De acordo com Dall'Agnol et al. (2005), as mais acentuadas anomalias negativas de Eu estão relacionadas com os sienogranitos especializados da Suíte Velho Guilherme e com os leucogranitos descritos na Suíte Serra dos Carajás. As características geoquímicas do Granito Rio Branco assemelham-se de modo geral àquelas descritas para os Granitos da Suíte Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme (Fig. 31). Entretanto, a classificação de granitos tipo-A reduzidos (Fig. 31; cf. DALL'AGNOL E OLIVEIRA 2007) e o padrão de ETR, com sua característica forma de 'gaivota' (Fig. 32), sugere uma maior afinidade do Granito Rio Branco com os granitos da Suíte Velho Guilherme e o distingue de modo marcante

dos granitos da Suíte Jamon e, em menor grau, daqueles da Suíte Serra dos Carajás.

Tabela 6: Sumário dos dados de SM das diferentes suítes anorogênicas e do Granito Rio Branco.

SUÍTES/GRANITOS	INTERVALOS DE SM ($1X\ 10^{-4}$)	FÁCIES
SUÍTE JAMON	13-71	LEOCOGRANITOS (LM;LS)
SUÍTE SERRA DOS CARAJÁS	0,57-32	BS;BMS
SUÍTE VELHO GUILHERME	6,3-40	BS;BM
GRANITO RIO BRANCO	0,13-6,9	BS

Tabela 7: Caracterização dos opacos das diferentes suítes anorogênicas da Província Carajás e do Granito Rio Branco.

MINERAIS OPACOS		SUÍTE JAMON	SUÍTE SERRA dos CARAJÁS	SUÍTE VELHO GUILHERME	GRANITO RIO BRANCO
MAGNETITA PRIMÁRIA (Tmt original)		Abundante	Variável	Comum nas fácies com anf.e em algumas amostras de BSG.	Escassa ou ausente
MAGNETITA SECUNDÁRIA					
ILMENITA	I	Mais abundante nos monzogranitos	ABMG, ABMP, MT	Comum em todas as fácies	Ausente
	c T		Comum em todas as fácies	Fácies com anf.e em algumas amostras de BSG.	Ausente
	S	Rara ou ausente	Rara ou ausente	BSG	
HEMATITA		Comum	Comum	Comum	Comum
MARTITA				BSG	Rara
GOETHITA		Rara	Rara	Rara	Rara
PIRITA		Rara	Rara	Rara	Comum
CONTEÚDO		Tr-2%	Tr-1%	Tr-0,7%	Tr< 0,1%

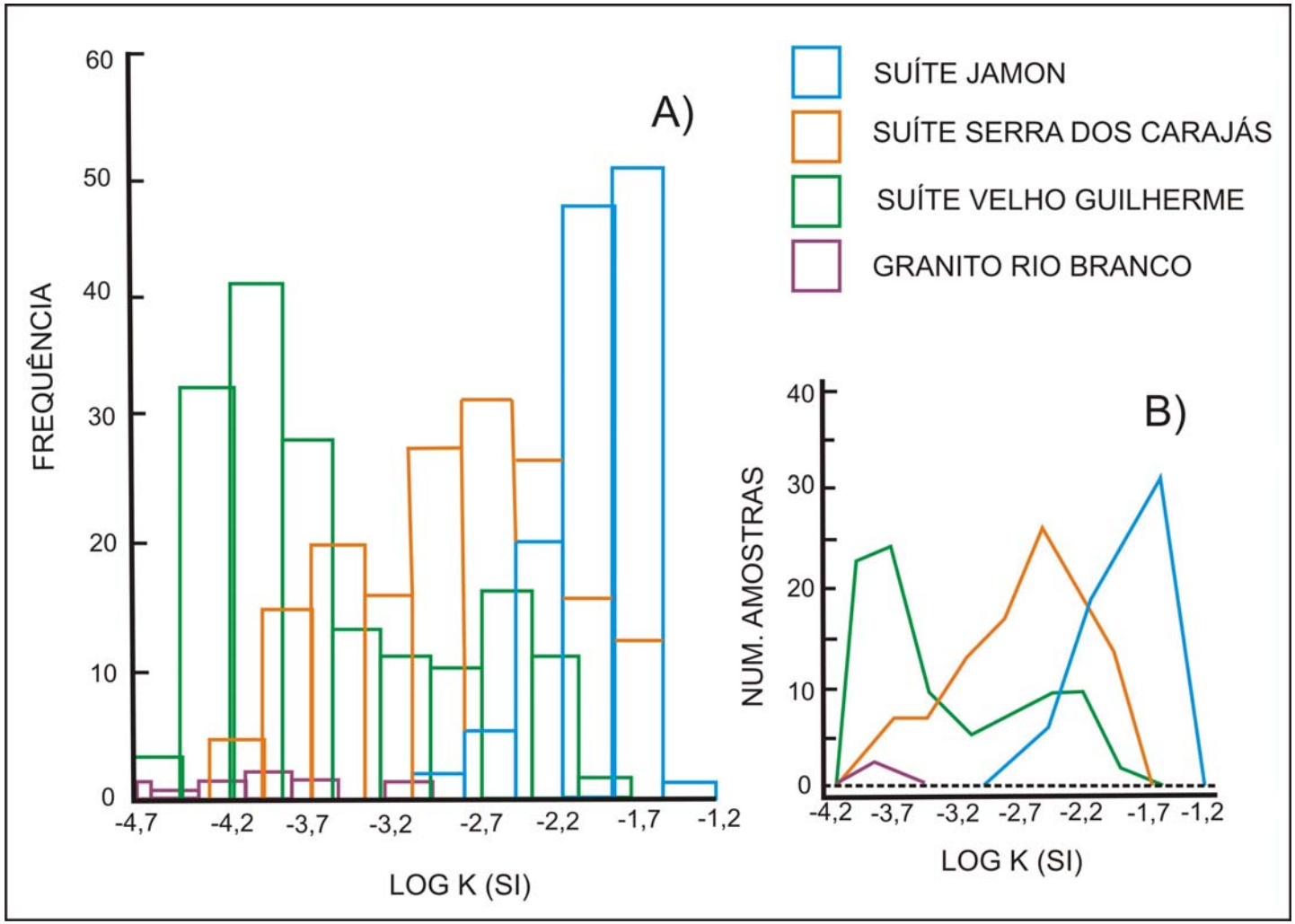

Figura 30 - Histograma (a) e polígono de frequência (b) comparativos dos valores de SM das suítes anorogênicas da Província Mineral de Carajás (MAGALHÃES et al. 1994; DALL'AGNOL et al. 2005) e os valores obtidos para as amostras do Granito Rio Branco.

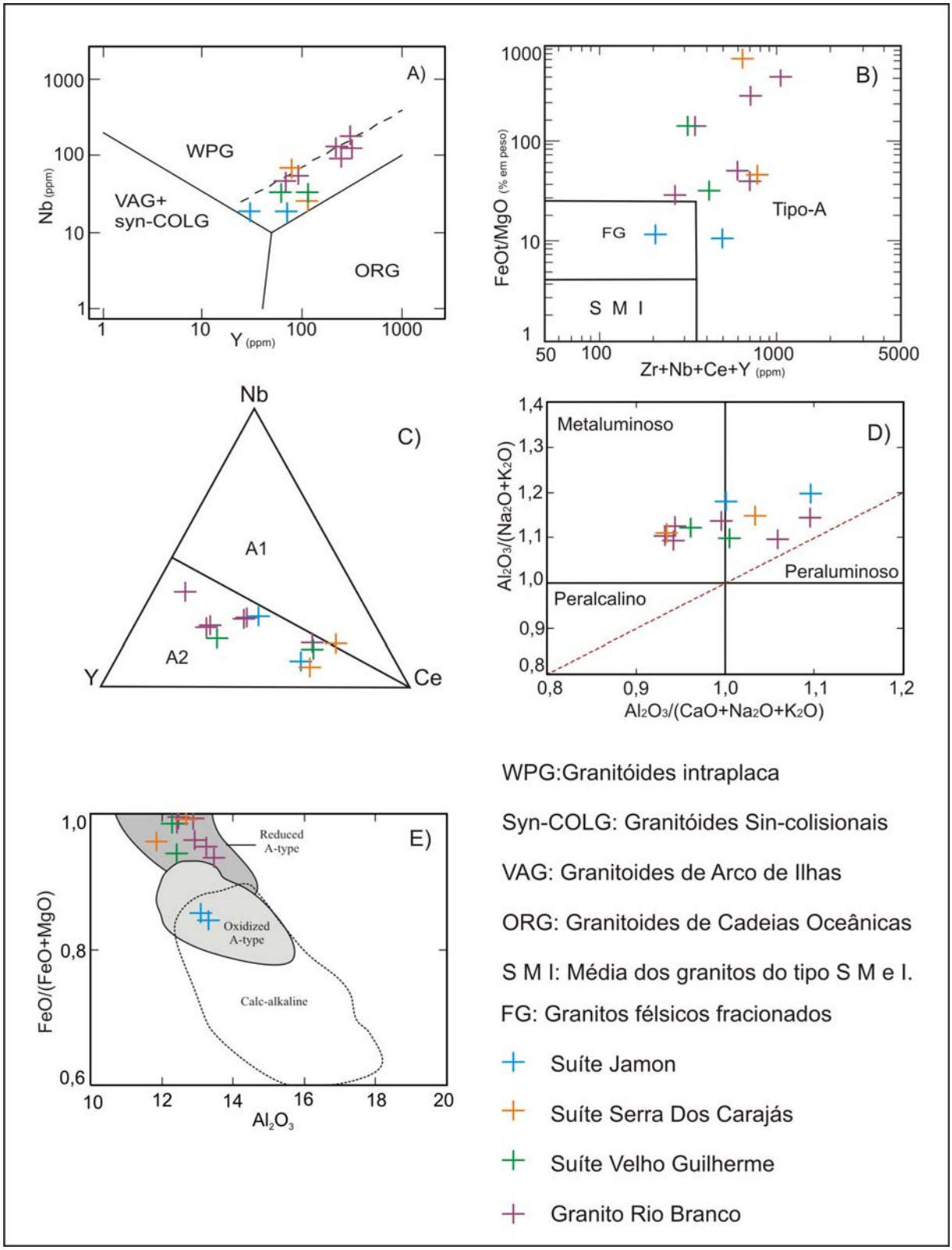

Figura 31 - Diagramas de comparação das características geoquímicas dos granitos Redenção (Suíte Jamon), Serra dos Carajás (Suíte Serra dos Carajás), Antonio Vicente e Velho Guilherme, (Suíte Velho Guilherme), e do Granito Rio Branco. Dados das suítes mencionadas baseados em Dall'Agnol et al.(2005).

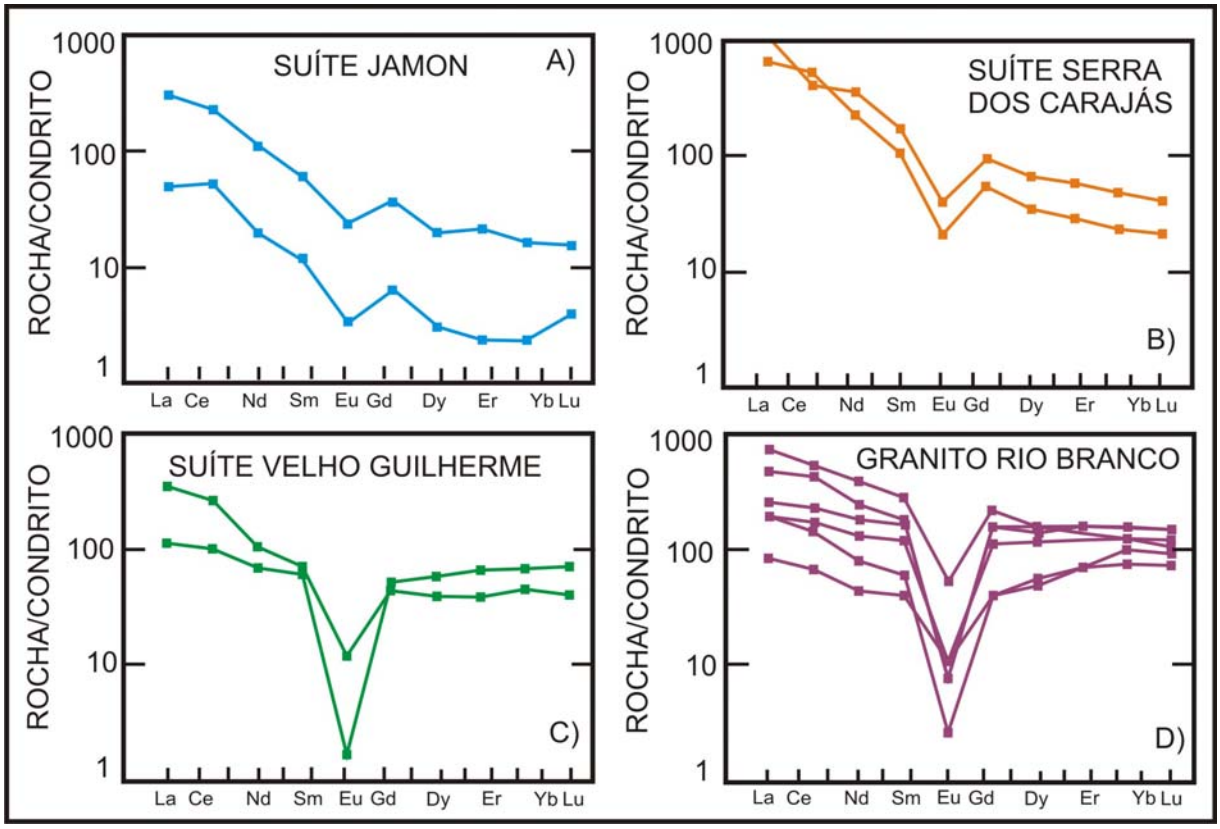

Figura 32 - Padrões de distribuição dos ETR para as fácies mais evoluidas das Suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme e do Granito Rio Branco. Dados das suítes baseados em Dall'Agnol et al.(2005).

Em relação à ocorrência granítica de Serra Dourada, a comparação com os granitos das suítes anorogênicas da Província Mineral de Carajás fica sem sentido à medida que os estudos geocronológicos apontam uma idade de 2,73 Ga para essas rochas, afastando qualquer possibilidade de correlação das mesmas com os granitos paleoproterozóicos (~1,88 Ga; DALL'AGNOL et al. 1994, 1999, 2005; TEIXEIRA et al. 2002, e referências contidas naqueles trabalhos). Entretanto, o referido granito possui idade similar a uma série de corpos graníticos tipo A neoarqueanos da região de Carajás, podendo-se citar entre eles: Planalto (FEIO 2009; HUHN et al. 1999; SARDINHA et al. 2004), Estrela (BARROS et al. 2001), Serra do Rabo (SARDINHA et al. 2006). Tais granitos possuem assinatura magnética variável de reduzida a moderadamente oxidante (BARROS et al. 2001; OLIVEIRA, 2005), podendo, portanto, ser compatível com o observado na única amostra medida desta ocorrência. Porém, a ausência de dados geoquímicos e o fato de ter sido estudada uma única amostra limitam as conclusões a respeito de uma possível correlação.

Finalmente, a ocorrência granítica associada ao Corpo Planalto parece se tratar de granito da série magnetita (ISHIHARA, 1981), bastante afetado por processos hidrotermais. Parece, a primeira vista similar aos granitos tipo A paleoproterozóicos, mas o número limitado de amostras e a falta de dados químicos e de determinação da idade desta rocha impedem qualquer tentativa de correlação.

CAPITULO 8 - CONCLUSÕES

O Granito Rio Branco, localizado no município de Canaã dos Carajás (Província Mineral de Carajás), é um *stock* de 31 km², alongado na direção NS, com cerca de 7 km de eixo maior e 4,5 km de eixo menor. É isotrópico, não mostra evidências de deformação e é intrusivo em granito foliado cálcico-alcalino arqueano. É formado por sienogranitos hololeucrocráticos (M<5,5%), com textura hipidiomórfica equigranular média, localmente fina ou grossa. Os minerais acessórios são representados por biotita cloritizada, fluorita1, allanita, zircão, pirita, calcopirita e raramente magnetita. Estudos complementares de microscopia eletrônica de varredura permitiram a identificação de Ce-fluorcerita, xenotima e minerais de ETR. A albitização e greisenização foram os principais processos responsáveis pela alteração hidrotermal do granito, tendo como produtos albita, muscovita, fluorita2, topázio, siderofilita e clorita.

Os dados de suscetibilidade magnética (SM), juntamente com a mineralogia – ausência de magnetita e titanita - mostraram que o magma Rio Branco cristalizou em condições de baixa fugacidade de oxigênio, abaixo do tampão FMQ.

Geoquimicamente, o Granito Rio Branco possui características geoquímicas similares às dos granitos classificados na literatura internacional como anorogênicos, intraplaca, ou tipo-A, segundo a classificação sugerida por Loiselle e Wones (1979) e os critérios geoquímicos definidos por Collins et al. (1982) e Whalen et al. (1987). São rochas com alta sílica (>73,84%), razões K_2O/Na_2O sempre superiores à unidade e razões FeOt/(FeOt+MgO) extremamente elevadas (>0,93; Tab. 4). O padrão de ETR mostra anomalia negativa acentuada de Eu (Eu/Eu*=0,08-0,13) e ligeiro enriquecimento de ETR leves em relação ao ETR pesados, resultando feição em “gaivota”, característica de granitos evoluídos e de fusões graníticas portadoras de F e, muitas vezes, estanho (DALL’AGNOL et al. 1993; HAAPALA, 1997; TAYLOR E FRYER 1983; TEIXEIRA et al. 2005).

Os estudos geocronológicos realizados no Granito Rio Branco não forneceram resultados satisfatórios em decorrência do avançado estágio de metamictização em que se encontram os seus cristais de zircão. Mas as relações de campo, somadas às informações petrográficas e geoquímicas, permitem correlacionar o Granito Rio Branco às suítes anorogênicas paleoproterozóico da Província Mineral de Carajás.

Além disso, os dados obtidos sugerem que o Granito Rio Branco apresenta maiores semelhanças petrográficas, mineralógicas, geoquímicas e suscetibilidade magnética com os granitos da Suíte Velho Guilherme, embora esteja geograficamente mais próximo da Suíte Serra dos Carajás. Existe a possibilidade de que o Granito Rio Branco corresponda à cúpula de uma intrusão que poderia conter em profundidade variedades similares às expostas no atual nível de erosão da Suíte Serra dos Carajás.

Para a ocorrência de Serra Dourada, a caracterização petrográfica identificou rochas de composição sienograníticas, hololeucocráticas (M~10%), maciças, com textura hipidiomórfica equigranular grossa, com algumas variações locais que vão de finas a muito grossas. Como acessórios figuram principalmente zircão, apatita e allanita. Além desses, ainda há minerais opacos, finos cristais de epidoto, e cristais de turmalina.

Em termos de petrologia magnética, esta rocha apresenta moderados valores de SM (6,8 x 10^{-3} SI), o que se reflete nos minerais óxidos de Fe e Ti presentes. Foram encontrados cristais de magnetita, bastante oxidados e alterados para hematita, com ilmenita do tipo em treliça associada, porém em baixa proporção modal.

Os estudos geocronológicos apontaram idades $^{207}Pb/^{206}Pb$ de 2736,2±4,1 Ma para esta ocorrência granítica, favorecendo uma correlação desta com os granitos arqueanos tipo-A do Complexo Estrela, Serra do Rabo e Suíte Planalto (BARROS et al. 2004; FEIO, 2009; SARDINHA et al. 2006), e desvinculando qualquer correlação das mesmas com os granitos paleoproterozóicos (~1,88 Ga, ALMEIDA et al. 2006; BARROS et al. 1995; BOTELHO et al. 2005; DALL'AGNOL et al. 1994,1999, 2005; GONÇALEZ et al. 1988; JAVIER RIOS et al. 1995; LINDENMAYER et al. 2005; MACHADO et al. 1991; OLIVEIRA et al. 2002, 2005, 2008; TEIXEIRA et al. 2002).

A ocorrência do Corpo Planalto é formada por sienogranitos, hololeucocráticos (M<5%), de granulação média a grossa e textura hipidiomórfica. O principal constituinte máfico é a biotita, muitas vezes alterada para clorita. Como acessórios, apresenta zircão, finos cristais de epidoto e fluorita. Em se tratando de minerais óxidos de Fe e Ti, predominam cristais de hematita, encontrados como finos cristais dispostos entre os planos de clivagem da biotita cloritizada, e magnetita. Em conseqüência, esta rocha apresenta uma assinatura magnética típica de granitos moderadamente oxidados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J.A.C. *Geologia, petrografia e geoquímica do granito Anorogênico Bannach, terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, PA*. 2005. 171f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2005.

_____; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, D.C. Geologia, petrografia e geoquímica do granito anorogênico Bannach, terreno granito-greenstone de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, v.36, n. 2, p. 282-295. 2006.

ANDERSON, J.L.; MORRISON, J. Ilmenite, magnetite and mesoproterozóic granites of Laurentia. In. RÄMÖ, O.T. et al. (Eds.). AN INTERNATIONAL SYMPOSIUM IN HONOR OF PROFESSOR ILMARI HAAPALA. *Granitic systems state of the art and future avenues*: abstract volume. Helsinki, 2003. Helsinki: Helsinki University Press, 2003. p. 7-12.

_____; SMITH, D.R. The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer. *American Mineralogist*., v. 80, p. 549-559.1995.

ARAÚJO, O.J.B. et al. A megaestrutura arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7, 1988, *Anais...* Belém: SBG, 1988. p.324-338.

AVELAR V.G. *Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia Oriental*. 1996. 149f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 1996.

BARROS, C.E.M. *Pétrologie et structure du complexe Granitique Estrela (2.5 Ga) et de son encaissant métavolcano-sedimentaire (Provínce Metalifêre de Carajás, Brésil)*. Tese (Doutorado em Geologia) – France, 1997.

_____ et al. Dados Isotópicos Pb-Pb em zircão (Evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: Implicações Petrológicas e Tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34 (4), p. 531-538, 2004.

_____ et al. Granito Central da Serra dos Carajás: avaliação do potencial metalogenético para estanho com base em estudos da borda oeste do corpo. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*., v. 7, p. 93-123, 1995.

_____ et al. Idade de zircão do Complexo Granítico Estrela: relações entre magmatismo, deformação e metamorfismo na Província Mineral de Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7, 2001, Belém. *Resumos expandidos*... Belém: SBG, 2001. p. 17-20.

BOTELHO, N.F. *et al*. Caracterização geológica e metalogenética do depósito de Cu ± (Au, W, Mo, Sn) Breves, Carajás. In: MARINE, O.J.; QUEIROZ. E.T; RAMOS, B.W. (Ed.). *Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia*. Brasília: DNPM/CT-MINERAL/FINEP/ADIMB, 2005. Cap. 6, p. 335-389.

BUDDINGTON, A. F.; LINDSLEY, D. H. Iron-titanium oxide minerais and synthetic equivalents. *Journal of Petrology*, v.5 , n.2, p.310-357. 1964.

CLARK, D.A. Magnetic Petrology of igneous intrusions: implications for exploration and magnetic interpretation. *Exploration Geophysics*, v.30, p.5-26. 1999.

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

COSTA, J.B.S; HASUI, Y. Evolução Geológica da Amazônia. In: ROSA-COSTA, M.L; ANGÉLICA, R.S. (Eds.). *Contribuição à geologia da Amazônia*. Belém: FINEP/SBG-Nucleo Norte, 1997. v.5, p.15-90.

DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, D.C. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, v.93, p.215–233, 2007.

_____; LAFON, J.M.; MACAMBIRA, M.J.B. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineralogical Petrology*, v.50, p.113-138. 1994.

_____. et al. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazônian Craton: implications for the genesis of Proterozoic, A-type Granites. *Lithos*, v.46, p. 431-462. 1999.

_____ et al. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. *Lithos*, v.80, p.101-129. 2005.

_____ et al. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenetic province, eastern Amazonian craton. In: DALL'AGNOL, R., ROSA-COSTA, L.T., KLEIN, E.L. (Eds.). *Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton*. *Guide excursion*… Belém: PRONEX-UFPA/SBG-NO, 2006. p. 97-150.

EBY, G.N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, v.20, p. 641-644. 1992.

EL-BOUSEILY, A.M.; EL-SOKKARY, A.A. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology*, v.16, p. 207-219, 1975.

ELY, F.M.; ALTHOFF, F.J.; LINDENMAYER, Z.G. 2001. Petrografia e Geoquímica dos Granitóides dos Depósitos Gameleira e Pojuca, Serra dos Carajás, PA. In:

SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7, *Boletim de Resumos Expandidos*: *cd-room*...Belém, 2001.

EVENSEN, N.M.; HAMILTON, P.J.; O'NIONS, R.K. Rare earth abundance in chondritic meteorites. *Geochimica Cosmochimica Acta*, v.42, p.1199-1212, 1978.

FEIO, G.R.L. *Magmatismo granitóide arqueano da região de Canaã dos Carajás: implicações da evolução crustal da Província Carajás*. 2009. 87f. Texto do exame de qualificação (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2009.

_____ et al. Geoquímica do magmatismo da região de Canaã dos Carajás, Província Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 11, 2009, Manaus. *Boletim de Resumos expandidos*: Manaus: SBG, 2009. 1 CD-ROM.

FERREIRA, A.T.R. Petrografia,Geoquímica e Geocronologia dos diques da área de Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE do Pará. (Trabalho de Conclusão de curso). Universidade Federal do Pará.Instituto de Geociências. Instituto de Geociências, Belém, 2009.

FROST, B.R. et al. A geochemical classification for granitic rocks. Journal of Petrology, v. 42, p. 2033-2048, 2001.

GASTAL M.C.P. *Petrologia do Maçiço Granítico Musa, Sudeste do Pará*. 1987. 316f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 1987.

GAUDETTE, H.E.; LAFON, J.M.; MOURA. C.A.V.; SHELLER, T. Comparison of single filament Pb evaporation/ionization zircon age with conventional U-Pb results: examples from the Precambrian of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v.11, p. 351-363, 1998.

GONÇALEZ, M.G.B. et al. 1988. Geologia do maciço anorogênico Cigano, vale do rio Parauapebas-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Anais... Belém: SBG-Nucleo Norte, v.3, p. 1132-1146, 1988.

GUIMARÃES et al. Submetido. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do Trondhjemito Mogno e Tonalito Mariazinha, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria – Pará. Revista Brasileira de Geociências. Submetido em 08/07/09.

HAGGERTY, S. E. The aeromagnetic mineralogy of igneous rocks. Canadian Journal Earth Sciencies, v.16, p.1281-1293, 1979.

HAGGERTY, S.E. Oxide Textures – a mini-atlas. In: LINDSLEY, D.H. (ed). OXIDE MINERALS: PETROLOGIC AND MAGNETIC SIGNIFICANCE. *Mineralogical Society of America - Reviews in Mineralogy*, 25, p. 126-219, 1991.

HAAPALA. I. Magmatic and postmagmatic processes in tin-mineralized granites: Topaz bearing leucogranite in Eurajoki Rapakivi Granite stock. Finland. *Journal of Petrology*, v.12, p.1645-1649, 1997.

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

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: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6, *Boletim de Resumos Expandidos,* Manaus: SBG-NNO, v.1, p.463-466, 1999.

Ishihara S. 1981. The granitoid series and mineralization. In: SKINNER, B. J. ed. Economic Geology, 75th anniversary volume, p.458-484.

JAVIER RIOS, F. et al. Contribuição de dados isotópicos de oxigênio no estudo metalogenético da jazida de wolframita de Pedra Preta PA. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 28, n.3, p.253-256, 1998.

KRETZ R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American mineralogist*, v. 68, p.277-279, 1983.

KOBER, B. Whole grain evaporation for $^{207}Pb/^{206}Pb$ age investigations on single zircons using a Double filament source. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 93, p.482-490, 1986.

_____. Single grain evaporation combined with Pb+emitter bedding for $^{207}Pb/^{206}Pb$ investigations using thermal ion mass spectrometry, and implications for zirconology. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v.96, p. 63-71, 1987.

LAMARÃO, C.N., DALL'AGNOL, R., SOLEDADE, G.L., SILVA, J.S. 2007. Variações composicionais de zircão em granitos anorogênicos proterozóicos do Cráton Amazônico: implicações metalogenéticas. Revista Brasileira de Geociências. 37(4): 693-704.

LEITE A.A.S. 2001. *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. 2001, 300f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2001.

LINDENMAYER Z.G. *Salobo Sequence, Carajás, Brazil: geology, geochemistry and metamorphism*. 1990, 406f. Tese de doutorado - The University of Western Ontario, Ontario, 1990.

_____ et al. Caracterização geológica do Alvo Estrela (Cu-Au), Serra dos Carajás, Pará. In: MARINE, O.J.; QUEIROZ, E.T.; RAMOS, B.W. *Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia*. Brasília: DNPM/CT-mineral/FINEP/ADIMB, p. 157-225, 2005.

LOISELLE, M.C; WONES, D.R. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geological Society of America*, v.11, p. 468, 1979.

MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; Síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v.7, p.263-287, 1995.

MACHADO, N. et al. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, v.49, p. 329-354, 1991.

MAGALHÃES, M.S.; DALL' AGNOL, R.; SAUCK, W.A.; LUIZ, J.G. Suscetibilidade magnética: um indicador da evolução petrológica de granitóides da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 24, p.139– 149, 1994.

NASCIMENTO, F.G.C. *Petrologia Magnética das associações magmáticas Arqueanas da região de Canaã dos Carajás-PA*. 2006. 183f. Dissertação (Geologia e Geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2006.

OLIVEIRA, D.C. 2001. *Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico.* 2001, 207f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2001.

OLIVEIRA, D.C., 2006. Modelos de evolução e colocação dos granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico. Tese de Doutorado.Instituto de Geociências.

_____ et al. Geologia e Petrografia do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, v.2, p.155-172, 2005.

_____ et al. Petrologia magnética do granito paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. In: KLEIN, E.L.; ROSA-COSTA, L.T.; VASQUEZ, M.L. (eds.). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. SBG– Núcleo Norte, v.3, pp. 115-132, 2002.

OLIVEIRA, D.C., DALL'AGNOL, R., CORRÊA DA SILVA, J.B., 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.

PAIVA JR. A.L. 2009. Geologia, petrografia, geocronologia e geoquímica do Granito Seringa, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará. Belém, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. Dissertação de Mestrado, 123p.

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

PIDGEON, R.T.; MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of the granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, v.166, p. 159-171, 2000.

PIMENTEL, M.M.; MACHADO, N. Geocronologia U-Pb dos Terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1988, *Boletim de Resumos Expandidos*… Camboriú: SBG, p. 390-391, 1994.

RAGLAND, P.C.. Basic analytical petrology. New York, Oxiford University Press, 1989, 2v.

ROLLINSON, H. Using geochemical data: evolution, presentation¸ interpretation, New York, Longman, 352f, 1993.

SANTOS, J.O.S. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil Central. In: BIZZI, L. A., SCHOBBENHAUS, C., VIDOTTI, R. M., GONÇALVES, J. H. (eds). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil, Companhia de Recursos Minerais/CPRM, p. 169-226, 2003.

SARDINHA, A.S. 2002. *Geologia, Geoquímica e Geocronologia do Granito Serra do Rabo, Província Mineral de Carajás*. 2002, 108f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2002.

_____ Geocronologia das séries magmáticas e evolução crustal da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás-PA. 100f, 2005. Texto do exame de Qualificação (Doutorado em Geologia e Geoquímica - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2005.

_____; BARROS, C.E.M.; KRYMSKY, R. Geology, Geochemistry, and U-Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás

Province, northern Brazil. *Journal of South American earth sciences*, v.20, p. 327-339, 2006.

SHAND, S.J. Eruptive rocks. New York, John Wiley & Sons. 488p, 1951.

SILVA G.G. et al. Geologia das Folhas SB.22 Araguaia e parte da SC.22 Tocantins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, *Anais*... Porto Alegre: SBG. v.4, p.137-141, 1974.

SILVA Jr., R.O.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, E.P. Geologia, petrografia e geoquímica dos diques proterozóicos da região de Rio Maria, sudeste do Pará. *Geochimica Brasiliensis*, v.13, pg. 1999.

SMITH J.V; BROWN W.L. Feldspar minerals. 2ª ed., Spring- Verlag/Berlin, 1988, 828p.

SOARES, J.E.B. *Geologia, petrografia e geoquímica das rochas granitóides arqueanas da região de Serra Dourada, Canaã dos Carajás-PA.* 70f, 2002. Texto de Qualificação (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2002.

SOUZA, S.R.B.; MACAMBIRA, M.J.B., SCHELLER, T. Novos dados geocronológicos para os granitos deformados do rio Itacaiunas (Serra dos Carajás, PA), implicações estratigráficas. In: SIMPOSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5, *Resumos expandidos*... Belém:SBG, p.380-383, 1996.

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

STACEY,J.S.; KRAMERS, J.D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 26, p. 207-221, 1975.

STRECKEISEN, A. Plutonic rocks. Classification and nomenclature recomended by the IUGS Subcommission on the Systematic of Igneous Rocks. Geotimes, v. 18, p. 26-30, 1973.

TARLING, D.H. The commoner magnetic minerals and their identification. In: Principles and applications of paleomagnetism. London, Chapman and Hall. 1971, p.21-31.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. Evolução Tectônica do Craton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V. et al. Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de F. F. M. de Almeida. São Paulo: BECA, 2004, p. 471-486.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological Provinces of the Amazonian Cráton. *Episodes*, v.22, n.3, p.174-182, 1999.

TAYLOR, R.P.; FRYER, B.J. Rare earth lithogeochemistry of granitoid mineral deposits. *CIM Bull*, v.76, p. 74-84, 1983.

TEIXEIRA, N.P. *Contribuição ao estudo das rochas granitóides e mineralizações associadas da Suite Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará.* 1999, 508p. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1999.

_____ et al. Archean crustal source for Paleoproterozoic tin –mineralized granites in the Carajás province, SSE Pará, Brazil: Pb-Pb geochronology and Nd isotope geochemistry. *Precambrian Research*, v.119, p. 257-275, 2002.

TEIXEIRA, W. et al. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic Implications. *Precambrian Research*, v.42, p.213-227, 1989.

VANCE J.A. On synneusis. Contributions to Mineralogy and Petrology, Vol. 24, Issue 1, pp.7-29. 1969.

VASQUEZ L.V. et al. 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. Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T. (Eds.), 2008. Belém: CPRM.

WHALEN, J.W., CURRIE, K.L., CHAPPEL, B.W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogical Petrology*, v.95, p.407-419, 1987.

ANEXOS

ANEXO 1- Lista de Afloramentos do Granito Rio Branco

Pontos	Latitude	Longitude
ARC-81	9286406 S	602249 E
ARC-82	9287058 S	601985 E
ARC-91	9284036 S	605531 E
ARC-92	9281651 S	604976 E
ARC-121	9281215 S	604694 E
ARC-122	9280684 S	604334 E
ARC-123	9280726 S	603964 E
ARC-124	9280833 S	603724 E
ARC-125	9280568 S	603401 E
ARC-126	9280301 S	603318 E
ARC-130	9280618 S	602486 E
ARC-131	9280989 S	602103 E
ARC-132	9283852 S	604775 E
ARC-133	9284466 S	605384 E
ARC-134	9281166 S	602201 E
ARC-135	9283904 S	604645 E
ARC-136	9283842 S	604071 E
ARC-137	9281210 S	602270 E
ARC-138	9281976 S	601428 E
ARC-139	9282648 S	600621 E
ARC-140	9278675 S	602956 E
ARF-27	9279900 S	603048 E