



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 500

**QUÍMICA MINERAL E PARÂMETROS DE CRISTALIZAÇÃO
DO GRANITO TIPO A PALEOPROTEROZOICO BANNACH,
PROVÍNCIA CARAJÁS, PARÁ**

Dissertação apresentada por:

CAIO JOSÉ SOARES MESQUISTA

Orientador: Prof. Dr. Roberto Dall'Agnol (UFPA)

**BELÉM
2017**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPa

Mesquita, Caio José Soares, 1990-

Química mineral e parâmetros de cristalização do Granito tipo A Paleoproterozoico Bannach, Província Carajás, Pará / Caio José Soares Mesquita. – 2017.

xiv, 136 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Roberto Dall'Agnol

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2017.

1. Química mineralógica – Bannach (PA). 2. Petrologia - Bannach (PA). 3. Rochas ígneas - Bannach (PA). 4. Geologia estratigráfica – Proterozoico. I. Título.

CDD 22. ed. 549.13098115



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

**QUÍMICA MINERAL E PARÂMETROS DE CRISTALIZAÇÃO
DO GRANITO TIPO A PALEOPROTEROZOICO BANNACH,
PROVÍNCIA CARAJÁS, PARÁ**


**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
CAIO JOSÉ SOARES MESQUITA**


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

Data de Aprovação: 30/05/2017

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Roberto Dall'Agnol
(Orientador-UFPA)


Prof. Dr. Elson Paiva de Oliveira
(Membro-UNICAMP)


Prof. Dr. Hilton Tullio Costi
(Membro-MPEG)

Aos meus pais Edilmar Mesquita e Mônica Coeli;

Às minhas irmãs Lia e Iara Mesquita;

E à minha companheira de vida Rafaela Oya.

AGRADECIMENTOS

- Registro meus agradecimentos primeiramente a Deus e aos espíritos de luz que certamente me acompanharam nesta caminhada. Proporcionando-me serenidade, discernimento e paz nas horas difíceis;
- Aos meus familiares, em especial aos meus pais e irmãs que sempre estiveram na torcida durante toda esta etapa;
- À minha companheira a qual sempre me deu força durante a confecção deste trabalho;
- À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Instituto de Geociências, e em especial ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, pela infraestrutura disponibilizada;
- Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudo;
- Ao INCT/Geociam (Processo N°573733/2008-2) por todo suporte financeiro;
- Ao professor Roberto Dall’Agnol pela brilhante orientação, regada de muita paciência dedicação e confiança em meu trabalho;
- Aos membros da banca Hilton Costi e Elson Paiva pelas críticas e sugestões em meu trabalho;
- Às minhas colegas de sala, as doutorandas Mayara e Ingrid que durante esses dois anos foram parceiras de conversas geológicas;
- À professora e amiga Gilmara Lima que mesmo distante continua me auxiliando em assuntos científicos;
- Ao Professor Davis Carvalho, que durante a disciplina Petrologia de Granitoides, na etapa de campo e em bate papos descontraídos me auxiliou com discussões sobre o tema de minha dissertação;
- Ao Professor José de Arimatéia, por seu auxílio fundamental durante a etapa de campo e posteriormente na revisão do artigo incorporado neste trabalho;
- A todos os professores que tive oportunidade de conhecer e receber informações valiosas durante as disciplinas cursadas;
- Ao professor Cláudio Lamarão coordenador do Laboratório de Microanálises, pelos trabalhos realizados neste. Bem como as técnicas Ana Paula Correa e Gisele Marques pelo suporte durante as sessões em MEV e microsonda eletrônica;
- À Joelma, técnica do laboratório de laminação, pela agilidade na confecção das lâminas utilizadas nessa pesquisa;
- Aos colegas do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides GPPG pela parceria, seja em festas ou em discussões sobre granitos.

*“Se você não aceita o conselho, te respeito
Resolveu seguir, ir atrás, cara e coragem
Só que você sai em desvantagem se você não tem fé
Se você não tem fé.”*

O Rappa

RESUMO

O Granito paleoproterozoico tipo A Bannach pertence a Suíte Jamon, intrusiva nas unidades arqueanas do Domínio Rio Maria, sul da Província Carajás, Sudeste do Cráton Amazônico. Compreende oito fácies com conteúdo de máficos e granulação variados. Os anfibólios dominantes são ferro-hornblenda nas fácies menos evoluídas e ferroedenita ou hastingsita nas mais evoluídas e suas razões $Fe/(Fe+Mg)$ variam de 0,53 a 0,81. Nas fácies mais ricas em máficos ocorrem cummingtonita e grunerita, oriundas da desestabilização de clinopiroxênio, com razão $Fe/(Fe+Mg)$ em torno de 0,50. A biotita é ferrosa e apresenta na maioria das fácies razões $Fe/(Fe+Mg)$ entre 0,62 e 0,80, porém na fácies leucomonzogranito médio tardio exibe razões entre 0,89 e 0,91 e sua composição se aproxima da annita. O plagioclásio apresenta zoneamento normal com núcleos de andesina sódica ou oligoclásio cálcico e bordas de oligoclásio sódico nas fácies mais ricas em máficos e composição de oligoclásio cálcico a sódico com bordas albíticas nas fácies mais félsicas. A titanita possui razões Fe/Al compatíveis com aquelas de rochas magmáticas plutônicas com quartzo. Magnetita e ilmenita estão presentes nas diferentes fácies. A ilmenita se apresenta nas variedades texturais em treliça, em manchas (*patches*), composta e individual, enquanto que a magnetita ocorre intercrescida com lamelas de ilmenita em treliça, associada à ilmenita composta ou em cristais homogêneos. Não há contrastes composicionais expressivos entre as variedades texturais de ilmenita, mas se constatou enriquecimento em MnO nas ilmenitas das fácies mais félsicas. A magnetita é sempre pobre em Ti, sendo que os cristais homogêneos associam-se com anfibólio ferromagnésiano e são praticamente desprovidos de Ti. Estimativas de temperaturas obtidas com o geotermômetro do zircão, interpretadas como próximas ao *liquidus*, variam entre 943 e 795 °C, ao passo que aquelas próximas do *solidus*, deduzidas a partir do geotermômetro de anfibólio e plagioclásio, variam de 807 a 732 °C, decrescendo em ambos os casos das fácies mais ricas em máficos para as mais félsicas. A pressão de colocação, estimada com o geobarômetro de Al em anfibólio, foi de 300 ± 100 MPa ($11,1 \pm 1,9$ km). As razões $Fe/(Fe+Mg)$ de anfibólio e a presença de magnetita e titanita magmáticas sugerem cristalização sob condições moderadamente oxidantes, porém, as composições de biotita apontam para condições um pouco mais redutoras às do magma Jamon e às dos granitos anorogênicos da série magnetita de Laurentia. Com base nisso, foi inferido que a cristalização das fácies dominantes no corpo Bannach se deu em condições de fugacidade de oxigênio correspondentes às de NNO a NNO -0,5. A fácies fácies leucomonzogranito médio tardio é exceção, pois exibe razões $Fe/(Fe+Mg)$ em biotita muito elevadas e similares às dos granitos

reduzidos da Província Carajás, bem como às dos granitos da série ilmenita de Laurentia e Fennoscandia. Isto reforça a hipótese de sua geração em pulso magmático tardio, a partir de líquido derivado de fonte mais reduzida do que a das demais fácies do Granito Bannach.

Palavras-chave: Química mineral, Parâmetros de cristalização, Granito tipo A, Bannach, Paleoproterozoico, Província Carajás.

ABSTRACT

The A-type Paleoproterozoic Bannach granite belongs to the Jamon Suíte and cross-cut the Archean units of the Rio Maria Domain in the Carajás Province of the Amazon Craton. It comprises eight facies with varied mafic content and texture. The dominant amphibole is Fe-hornblende in the more mafic facies and Fe-edenite or hastingsite in the more felsic ones with Fe/(Fe+Mg) ratios of 0.53 to 0.81. In the facies with higher mafic content, it also occurs cummingtonite or grunerite originated from the destabilization of clinopyroxene, with Fe/(Fe+Mg) ratio around 0.50. The biotite is ferroan with Fe/(Fe+Mg) ratio varying between 0.62 and 0.80 except in the late-emplaced medium-grained leucomonzogranites, where it varies from 0.89 to 0.91 and approaches annite in composition. The plagioclase shows normal zoning with sodic andesine or calcic oligoclase cores varying to sodic oligoclase in the more mafic facies and calcic or sodic oligoclase cores and albite borders in the more felsic varieties. The titanite displays Fe/Al ratios similar to those of plutonic magmatic rocks with quartz. Magnetite and ilmenite are significant accessory minerals in all facies. Trellis, composite, individual and patch textural varieties of ilmenite were identified, whereas magnetite occurs in intergrowths with trellis ilmenite, associated with composite ilmenite and in homogeneous crystals associated with cummingtonite-grunerite. There is no significant contrast in composition in the textural varieties of ilmenite, however the ilmenites found in the more felsic granites are enriched in MnO compared to the less evolved ones. The magnetite is always poor in TiO₂ and almost Ti-free in the homogeneous crystals. The near *liquidus* temperatures obtained from the zircon geothermometer vary between 943°C and 795°C, whereas the near *solidus* temperatures indicated by the amphibole-plagioclase geothermometer are of 807°C to 732 °C, decreasing in both cases from the more mafic to the more felsic granites. The Al-in geobarometer indicated pressures of 300±100 MPa (~11.1±1.9 km) for the emplacement of the Bannach pluton. The Fe/(Fe+Mg) ratios of amphibole and the occurrence of magmatic magnetite and titanite indicate that most granite facies crystallized at moderately oxidizing conditions, however, the biotite compositions indicate for conditions a little more reductive to those of the Jamon magma and the anorogenic granites of the series magnetite of Laurentia. Based on this, it was inferred that the crystallization of the dominant facies in the Bannach Granite occurred under conditions of oxygen fugacity corresponding to those of NNO to NNO -0.5. The late-emplaced medium-grained leucomonzogranites facies is an exception because it displays extremely high Fe/(Fe+Mg) ratios in biotite and approaches the reduced granites of Carajás Province and the ilmenite series granites of Laurentia and

Fennoscandia in this regard. This indicates that it crystallized from a magma derived from a more reduced source compared to that of the dominant facies of the Bannach pluton.

Keywords: Mineral chemistry, Crystallization parameters, A-type granite, Bannach, Paleoproterozoic, Carajás Province.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO I

- Figura 1.1:** a) Localização da cidade de Bannach no Estado do Pará; b) Mapa de localização da região de Bannach com destaque para área de estudo. 3
- Figura 1.2:** Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico; b) Compartimentação tectônica da Província Carajás ; c) Mapa geológico do Domínio Rio Maria 9
- Figura 1.3:** Mapa de amostragem do Granito Bannach..... 16

CAPÍTULO II

- Figura 2.1:** a) Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico; b) Compartimentação tectônica da Província Carajás; c) Mapa geológico do Domínio Rio Maria..... 26
- Figura 2.2:** Mapa faciológico da porção norte do Granito Bannach com a localização das amostras analisadas por microsonda e microscopia eletrônica de varredura..... 29
- Figura 2.3:** Diagramas QAP e Q-A+P-M' para as diferentes fácies do Granito Bannach..... 32
- Figura 2.4:** Aspectos texturais microscópicos das fácies portadoras de anfibólio e biotita. 33
- Figura 2.5:** Aspectos texturais microscópicos da fácies porfirítica portadora de biotita. 35
- Figura 2.6:** Aspectos texturais microscópicos das fácies leucomonzograníticas. 36
- Figura 2.7:** Anfibólio incolor (grunerita) oriundo da substituição de clinopiroxênio..... 39
- Figura 2.8:** Diagramas de classificação de anfibólio cálcicos..... 42
- Figura 2.9:** Diagrama de classificação para anfibólio com Mg-Fe-Mn-Li. 43
- Figura 2.10:** a) Variação composicional de biotitas das principais fácies do Granito Bannach de acordo com o diagrama $Fe/(Fe+Mg) \times Al^{IV}$; b) Diagrama $Mg \times Al_t$; c) Diagrama $(FeO+MnO)-(10 \times TiO_2)-MgO$ 47
- Figura 2.11:** Análises em microsonda eletrônica em perfis de cristais de plagioclásio..... 48
- Figura 2.12:** Imagens de elétrons retroespalhados dos minerais de Fe-Ti das principais fácies do Granito Bannach..... 55
- Figura 2.13:** Comparação composicional entre anfibólios sintetizados e naturais utilizados por Mutch *et al.* (2016) e os anfibólios cálcicos do Granito Bannach.. 63
- Figura 2.14:** Diagrama $P(kbar) \times Al_{total}$, mostrando as variações composicionais das bordas dos anfibólios cálcicos das diferentes fácies do Granito Bannach.. 64
- Figura 2.15:** Variação composicional de anfibólio e biotita do Granito Bannach. 66
- Figura 2.16:** Comparação da composição de anfibólio e biotita do Granito Bannach com granitos similares da Província Carajás e de outros crátons do mundo..... 72

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1.1: Condições de operação da microsonda eletrônica para cada mineral.....	18
Tabela 1.2: Padrões utilizados para diferentes elementos nas análises em microsonda eletrônica.	19
Tabela 1.3: Tempo de análise em microsonda eletrônica de cada elemento nos diferentes minerais.	19

CAPÍTULO II

Tabela 2.1: Composições modais das diferentes fácies do Granito Bannach.	31
Tabela 2.2: Análises em microsonda eletrônica de anfibólios cálcicos representativos das fácies do Granito Bannach.....	40
Tabela 2.3: Análises em microsonda eletrônica de anfibólios ferromagnesianos representativos do Granito Bannach.....	41
Tabela 2.4: Análises em microsonda eletrônica de biotita representativas das principais fácies do Granito Bannach.....	45
Tabela 2.5: Análises em microsonda eletrônica de plagioclásio das principais fácies do Granito Bannach.....	49
Tabela 2.6: Análises em microsonda eletrônica de titanita do Granito Bannach.	51
Tabela 2.7: Análises em microsonda eletrônica de ilmenita das principais fácies do Granito Bannach.	53
Tabela 2.8: Análises em microsonda eletrônica de magnetita das principais fácies do Granito Bannach	54
Tabela 2.9: Estimativas de temperatura e pressão para as diferentes fácies do Granito Bannach	59

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
EPÍGRAFE.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	4
1.2.1 Província Carajás	4
1.2.1.1 Domínio Rio Maria.....	5
1.2.1.2 Domínio Sapucaia.....	7
1.2.1.3 Bacia Carajás e Domínio Canaã dos Carajás.....	8
1.3 GRANITOS ANOROGÊNICOS PALEOPROTEROZOICOS	9
1.3.1 Suíte Jamon	10
1.4 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA.....	13
1.5 OBJETIVOS	14
1.6 MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
1.6.1 Pesquisa bibliográfica	14
1.6.2 Amostragem e Trabalhos de campo	15
1.6.3 Petrografia.....	16
1.6.4 Caracterização e química mineral	17
1.6.4.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	17
1.6.4.2 Microsonda Eletrônica	18

CAPÍTULO II

2. QUÍMICA MINERAL E PARÂMETROS DE CRISTALIZAÇÃO DO GRANITO TIPO A PALEOPROTEROZOICO BANNACH, PROVÍNCIA CARAJÁS, PARÁ (Artigo a ser submetido para Brazilian Journal of Geology	20
RESUMO	20
ABSTRACT	21
INTRODUÇÃO.....	22

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	24
GEOLOGIA DO GRANITO BANNACH.....	25
PETROGRAFIA.....	29
Composições modais e classificação.....	30
Aspectos texturais das diversas fácies do Granito Bannach.....	32
Fácies portadoras de anfibólio e biotita (GC, BAMzG e ABMzG)	32
Fácies porfirítica portadora de biotita (BMzP).....	34
Fácies leucomonzograníticas (LMzG, LMzMp, LMzMt, LMzF).....	34
QUÍMICA MINERAL	37
Anfibólio	38
Biotita.....	43
Plagioclásio	47
Titanita	50
Ilmenita.....	52
Magnetita.....	53
DISCUSSÃO.....	56
Estimativas dos parâmetros de cristalização do granito Bannach	56
Temperatura.....	56
Pressão e profundidade de colocação	59
Fugacidade de oxigênio.....	64
Conteúdo de água	66
Comparações com outros granitos tipo A da Província Carajás	67
Comparações com granitos tipo A de outras províncias do mundo	69
CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
<u>CAPÍTULO III</u>	
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICES	100
APÊNDICE 1 - RELAÇÃO DE AMOSTRAS UTILIZADAS NO TRABALHO COM LOCALIZAÇÃO E INDICAÇÃO DE ESTUDOS EFETUADOS.....	100
APÊNDICE 2 - TABELAS DE ANÁLISES EM MICROSSONDA ELETRÔNICA.....	101

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Ao longo de décadas, o Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) vem desenvolvendo estudos sistemáticos, e acumulando conhecimento expressivo sobre o magmatismo tipo A anorogênico que, durante o Paleoproterozoico, intruiu diversas unidades arqueanas, nos diferentes domínios que compõem a PC. Esse magmatismo está representado principalmente por três suítes graníticas - Suítes Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás (Dall'Agnol *et al.* 2005) - com idades de ~1,88 Ga, afinidade com granitos rapakivi, e associadas com diques félsicos, intermediários e máficos (Gastal 1987; Dall'Agnol *et al.* 1999a, 2005; Silva Jr. *et al.* 1999; Oliveira *et al.* 2002; Almeida *et al.* 2006).

A Suíte Jamon inclui os plutons Marajoara (Rocha Jr. 2004), Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1997, 1999a, b, c), Musa (Gastal 1987, 1988; Dall'Agnol *et al.* 1999c), Manda Saia (Leite 2001), Bannach (Huhn *et al.* 1988; Duarte 1992; Almeida 2005; Almeida *et al.* 2006), e Redenção (Montalvão *et al.* 1982; Vale & Neves 1994; Barbosa *et al.* 1995; Oliveira *et al.* 2002, 2005; Oliveira 2006; D.C. Oliveira *et al.* 2010a). Associados a estes ocorrem diques félsicos a máficos de dimensões variadas (Rivalenti *et al.* 1998; Silva Jr. *et al.* 1999; Dall'Agnol *et al.* 2002). Os granitos Gradaús, Seringa e São João também foram incluídos de modo preliminar na Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005; Dall'Agnol & Oliveira 2007), porém naquele momento não se dispunha de informações mais consistentes sobre os mesmos e serão discutidos adiante.

De forma geral, os granitos que formam a Suíte Jamon apresentam notáveis similaridades geológicas, petrográficas, geoquímicas e em termos de comportamento magnético. Existem alguns aspectos, com destaque para a suscetibilidade magnética e natureza dos minerais óxidos de Fe e Ti, que os diferenciam de outros granitos anorogênicos da Província Carajás (suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás). Provavelmente essas diferenças são oriundas da natureza distinta de suas fontes, bem como da temperatura de fusão, conteúdo de água e fugacidade de oxigênio dos seus respectivos magmas (Dall'Agnol *et al.* 1997; Dall'Agnol *et al.* 1999b; Dall'Agnol *et al.* 2005).

O granito anorogênico Bannach, alvo deste estudo, ocorre no Domínio Rio Maria (DRM), porção sul da Província Carajás (PC). Geograficamente, localiza-se no município de Bannach, sudeste do Estado do Pará (Figura 1.1). O pluton Bannach possui estudos

geológicos, petrológicos, geoquímicos, geofísicos e de suscetibilidade magnética (Almeida *et al.* 2006, Oliveira 2006, Almeida *et al.* 2007, Oliveira *et al.* 2008), contudo carecia de trabalhos acerca de química mineral, os quais, em termos da Suíte Jamon, são restritos ao Granito Jamon (Dall’Agnol *et al.* 1999c). Desta forma, a presente dissertação visou o estudo de química mineral, o que possibilitou inferir os parâmetros de cristalização do magma Bannach, a partir das composições das principais fases presentes no granito, além de fornecer subsídios sobre algumas características das fontes dos seus magmas. Tais informações permitiram estabelecer comparações entre o pluton Bannach e os demais granitos que compõem a Suíte Jamon, assim como com outros granitos análogos da Província Carajás e de outros crátons pré-cambrianos. Com isso, obtiveram-se avanços expressivos na caracterização e na petrogênese do magmatismo paleoproterozóico da Província Carajás.

A presente dissertação possui um capítulo introdutório (Capítulo I), no qual é abordado o contexto geológico regional, com ênfase no Domínio Rio Maria e Granitos Anorogênicos da Província Carajás, bem como enunciados a problemática, objetivos da pesquisa e procedimentos metodológicos. O Capítulo II compreende os resultados obtidos, sendo apresentado no formato de artigo submetido a periódico nacional, o qual se intitula: QUÍMICA MINERAL E PARÂMETROS DE CRISTALIZAÇÃO DO GRANITO TIPO A PALEOPROTEROZOICO BANNACH, PROVÍNCIA CARAJÁS, PARÁ. E por fim o Capítulo III inclui as considerações finais da pesquisa, bem como as referências bibliográficas consultadas.

Este trabalho está vinculado às atividades do Instituto Nacional de Geociências da Amazônia (GEOCIAM) e do Grupo de Pesquisa de Petrologia de Granitoides (GPPG) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, e foi desenvolvido em colaboração com a Tese de Doutorado de Mayara Fraeda Barbosa Teixeira.



Figura 1.1: a) Localização da cidade de Bannach no Estado do Pará, b) Mapa de localização da região de Bannach com destaque para área de estudo.

1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

1.2.1 Província Carajás

A Província Carajás (PC) está localizada na porção sul-oriental do Cráton Amazônico, situado na porção norte da Plataforma Sul-Americana (Cordani & Sato 1999) (Figura 1.2a). A PC é delimitada a norte pelo Domínio Bacajá, correspondente ao extremo sul da província Transamazonas (Santos *et al.* 2006) ou Maroni-Itacaiúnas (Tassinari & Macambira 2004), a sul com o Domínio Santana do Araguaia (Santos *et al.* 2006), a leste é cavalgada pelo Cinturão Araguaia e a oeste limita-se com a Província Amazônia Central (Santos *et al.* 2006). Apresenta características geológicas particulares, sendo gerada, reativada e tectonicamente estabilizada durante o Arqueano. No Paleoproterozoico foi afetada por um evento magmático expressivo, caracterizado por intrusões graníticas anorogênicas e diques associados (Macambira & Lafon 1995; Dall'Agnol *et al.* 2005). Esta província é subdividida em dois domínios tectônicos: Domínio Rio Maria (DRM), a sul, e Domínio Carajás (DC), a norte (Vasques *et al.* 2008). O Domínio Rio Maria, formado durante o final do Mesoarqueano (3,0 a 2,86 Ga), é o domínio cuja evolução geológica foi estudada em maior detalhe dentro da Província Carajás (Dall'Agnol *et al.* 2006; M.A. Oliveira *et al.* 2009; Almeida *et al.* 2011) (Figura 1.2c).

Em estudos anteriores, o Domínio Carajás foi subdividido em Bacia Carajás, a norte, e Subdomínio de Transição, a sul, o qual, inicialmente, foi interpretado como um possível prolongamento do DRM afetado pelos eventos neoarqueanos que moldaram a Bacia de Carajás (Dall'Agnol *et al.* 2006). Porém, estudos realizados mais recentemente levaram Dall'Agnol *et al.* (2013) a propor que o Subdomínio de Transição corresponderia a dois domínios geológica e tectonicamente distintos, denominados de Domínio Sapucaia e Domínio Canaã dos Carajás (Figura 1.2b). O primeiro apresenta fortes analogias litológicas com o DRM, diferenciando-se do mesmo por ser constituído por rochas intensamente recristalizadas e afetadas por eventos neoarqueanos. O segundo apresenta características peculiares, sendo o provável embasamento da Bacia Carajás.

Nos próximos tópicos serão expostas as principais unidades da Província Carajás de acordo com a divisão tectono-estratigráfica mais recente apresentada por Dall'Agnol *et al.* (2013). Será dada ênfase nas associações de rochas do Domínio Rio Maria, no qual se encontra a área de estudo. As associações dos demais domínios serão abordadas sucintamente.

1.2.1.1 Domínio Rio Maria

O Domínio Rio Maria (DRM) está localizado na porção sul da Província Carajás e corresponde a uma crosta mesoarqueana (Figura 1.2c) (Macambira & Lafon 1995; Dall'Agnol *et al.* 2006; Vasquez *et al.* 2008). É formado por *greenstone belts* do Supergrupo Andorinhas de 3,0 a 2,9 Ga (Macambira & Lancelot 1991; Pimentel & Machado, 1994; Avelar 1996; Lafon *et al.* 2000; Rolando & Macambira 2003) e do Grupo Tucumã (Araújo & Maia 1991), que engloba rochas supracrustais do extremo SW da Folha Serra dos Carajás, anteriormente inseridas no Supergrupo Andorinhas (DOCEGEO 1988). Os *greenstone belts* do Domínio Rio Maria são subdivididos nos grupos Gradaús, Serra do Inajá, Babaçu, Lagoa Seca, Tucumã e Sapucaia, bem como na Formação Quixadá (Vasquez *et al.* 2008). Souza *et al.* (2001) descreveram em detalhe o *greenstone belt* de Identidade o qual faz parte do Grupo Babaçu e encontra-se exposto a sul de Xinguara. De maneira geral, estas unidades são compostas por rochas metaultramáficas (serpentinitos, metaperidotitos, metapiroxenitos, actinolititos, clorititos e xistos com talco, tremolita e clorita), derivados de peridotitos e komatiítos, por vezes com textura *spinifex*, metamáficas (metabasaltos, podendo exibir estruturas em almofada, metagabros, metadiabásios, actinolita xistos e anfibolitos), metavulcânicas intermediárias (metadácidos, metariodacitos pórfiros) e ácidas (metarriolitos pórfiros e metatufos), intercaladas com rochas metassedimentares clásticas e químicas (quartzitos, filitos, ardósias, muscovita-xistos, metagrauvacas, metacherts, formações ferríferas e mármore).

O DRM também apresenta grande volume de granitoides arqueanos, divididos em quatro grupos principais:

(1) Séries TTGs mais antigas formadas em dois episódios distintos, sendo o mais antigo ($2,96 \pm 0,02$ Ga), representado pelo Tonalito Arco Verde e Trondhjemitó Mogno (Macambira & Lafon 1995; Rolando & Macambira 2003; Almeida *et al.* 2008; Almeida *et al.* 2011), seguido em $2,93 \pm 0,02$ Ga pela formação do Complexo Tonalítico Caracol, Tonalito Mariazinha e algumas rochas mais jovens do Tonalito Arco Verde (Leite *et al.* 2004; Guimarães *et al.* 2010; Almeida *et al.* 2011). Tais granitoides estão dispostos como extensos batólitos constituídos por biotita tonalitos e/ou trondhjemitos, ligeiramente a intensamente foliados com bandamento composicional de orientação NW-SE a E-W, exceto o Tonalito Mariazinha que exibe orientação NE-SW, com variações para N-S. Almeida *et al.* (2011) sugerem que as suítes TTG de Rio Maria derivaram de fontes semelhantes aos metabasaltos do Supergrupo Andorinhas durante o Mesoarqueano. Além disso, os autores diferenciam três grupos de TTG neste domínio: I) TTG com altas razões La/Yb, Sr/Y e

Nb/Ta, cristalizado a partir de magmas formados a altas pressões (> 1,5 GPa), a partir de fonte meta-anfibolítica com granada, adequada para deixar granada e anfíbólio no resíduo; II) TTG com média razão La/Yb, com líquidos gerados em pressões intermediárias (~1,0-1,5 GPa), porém ainda no campo de estabilidade da granada; e III) TTG com baixas razões La/Yb, Sr/Y e Nb/Ta, derivado de magmas gerados a baixas pressões ($\leq 1,0$ GPa) de uma fonte anfibolítica desprovida de granada e contendo plagioclásio, retido em parte no resíduo de fusão.

(2) Granitoides com alto Mg do tipo sanukitoide, representados pelo Granodiorito Rio Maria (Medeiros & Dall'Agnol 1988; M.A.Oliveira *et al.* 2009) e rochas intermediárias a máficas associadas de assinatura cálcio-alcálica com idade U-Pb em zircão de 2,87 Ga (Pimentel & Machado 1994). As variedades petrográficas que constituem o Granodiorito Rio Maria e rochas máficas e intermediárias associadas foram denominadas de Suíte Rio Maria (M.A. Oliveira *et al.* 2009, 2010). Entre essas estão o Granito Rancho de Deus (Dias 2009), as associações descritas próximas de Bannach (M.A. Oliveira *et al.* 2010), bem como a unidade anteriormente identificada como Tonalito Parazônia (DOCEGEO 1988, Huhn *et al.* 1988) e atualmente denominada de Quartzo-Diorito Parazônia (Guimarães 2009).

(3) Leucogranodioritos e leucomonzogranitos representados pelas intrusões do Granito Guarantã e dos granodioritos Azulona e Trairão que constituem a Suíte Guarantã (Dias 2009; Almeida *et al.* 2010). Almeida *et al.* (2010) interpretaram as rochas da Suíte Guarantã como o resultado da mistura em proporções diferentes de magmas de composição trondhjemítica (TTG) e leucogranítica rica em Ba e Sr, oriundas de magmas sanukitoides. As suas idades de cristalização (2,87 a 2,86 Ga) foram determinadas pelos métodos de evaporação Pb-Pb em zircão e LA-MC-ICPMS U-Pb em zircão (Althoff *et al.* 2000; Almeida *et al.* 2013). Estudos recentes realizados por Silva & Oliveira (2013) e Oliveira *et al.* (2014), em área situada a sudeste de Água Azul do Norte, anteriormente caracterizada como domínio de ocorrência do Trondhjemito Mogno – no extremo norte do DRM - levaram ao reconhecimento de um batólito formado por biotita granodiorito que se assemelha aos leucogranodioritos da Suíte Guarantã, apesar de ser comparativamente mais enriquecido em Na₂O e Al₂O₃ e acentuadamente empobrecido em K₂O, Rb, Y, Zr e Nb. Até o momento ainda não foi dado um nome formal e nem definida uma idade para o corpo granítico citado. O mesmo está sendo tratado como um leucogranodiorito de alto Ba-Sr indiferenciado.

(4) Leucogranitos alto K, de afinidade cálcio-alcálica, representados pelo Granito Mata Surrão e similares, os quais ocorrem na porção sul do Domínio Rio Maria a NW de Redenção e são formados por monzogranitos (Duarte & Dall'Agnol, 1996; Dall'Agnol *et al.*

2006), de idade Pb-Pb em rocha total de 2,87 Ga (Lafon *et al.* 1994).

Além dos granitos arqueanos supracitados no Domínio Rio Maria, afloram granitos tipo A representados pelos corpos Seringa (Paiva Jr. 2009; Paiva Jr. *et al.* 2011), São João (Lima 2013; Lima *et al.* 2014), e Cumaru (Santos *et al.* 1998) e pelos granitos da Suíte Jamon, que incluem os granitos Musa, Jamon, Marajoara, Manda Saia, Bannach e Redenção, associados a diques félsicos a máficos (Dall’Agnol *et al.* 2005). Estes serão abordados com mais detalhe posteriormente.

A cobertura sedimentar no DRM é representada pelo Grupo Rio Fresco, constituído por rochas sedimentares clásticas de natureza plataformar, que compreende sedimentos clásticos grossos a finos (conglomerados, siltitos, grauvacas), pelíticos (folhelhos), químicos (cherts, dolomitos) e formação ferrífera bandada, anquimetamorfisados com texturas e estruturas primárias preservadas. No geral, é considerada uma sequência transgressiva com clásticos grossos na base e clásticos mais finos, até sedimentos químicos no topo (DOCEGEO 1988). Macambira (1992) considera a idade de 2,76 Ga como sendo a idade máxima de deposição dessas rochas.

1.2.1.2 Domínio Sapucaia

O Domínio Sapucaia é formado atualmente por nove unidades: (1) Grupo Sapucaia, que corresponde a fragmentos tectônicos de rochas supracrustais deformadas e metamorfisadas (D.C. Oliveira *et al.* 2010b; Feio *et al.* 2013; Sousa *et al.* 2013; Sousa *et al.* 2014); (2) Tonalito Caracol membro da geração de TTG mais antigos ainda preservados na província, possuindo 2,93 Ga como idade de cristalização (Leite *et al.* 2004; Almeida *et al.* 2011); (3) Tonalito São Carlos (2,93 Ga), descrito por Silva *et al.* (2014) como sendo rochas de comportamento geoquímico particular, distintas dos TTG e afins do subgrupo com anfibólio do Complexo Campina Verde (Feio *et al.* 2013), aflorante no Domínio Canaã dos Carajás; (4) Os granodioritos Água Azul e Água Limpa, de alto-Mg e afinidade sanukitoide e idades obtidas por SHRIMP pelo método U-Pb em zircão de ~2,87 Ga (Gabriel 2012; Gabriel *et al.* 2014); (5) Geração de TGG mais jovens representada pelos trondhjemitos Água Fria (Leite 2001; Leite *et al.* 2004) e Colorado (Silva *et al.* 2014). O primeiro possui idade Pb-Pb em zircão de 2,86 Ga (Leite *et al.* 2004), enquanto que o Trondhjemito Colorado possui idade Pb-Pb em zircão de 2,87 Ga (A.C. Silva *et al.* 2010); (6) Granito Xinguara, de idade Pb-Pb em zircão de 2,86 Ga (Leite *et al.* 2004), anteriormente inserido no DRM, atualmente situa-se no Domínio Sapucaia. Suas rochas exibem recristalização acentuada, diferentemente daquelas de composição similar encontradas no

DRM (Dall'Agnol *et al.* 2013); (7) Corpos de leucogranodioritos de alto Ba-Sr que ocupam uma área relativamente expressiva no Domínio Sapucaia. São representados pelo Leucogranodiorito Nova Canadá (Santos & Oliveira 2012) e Leucogranodiorito Pantanal (Teixeira *et al.* 2013); (8) Granitos da Suíte Planalto (Huhn *et al.* 1999; Gomes 2003; Sardinha *et al.* 2004; Feio *et al.* 2012; Cunha *et al.* 2016). Esses possuem idades Pb-Pb em zircão variando de cerca de 2,75 Ga (M.L.T. Silva *et al.* 2010; Souza *et al.* 2010; D.C. Oliveira *et al.* 2010b) a ~2,73 Ga (Feio *et al.* 2012, 2013) e sua origem foi atribuída à fusão parcial das rochas do Norito Pium (Feio *et al.* 2012); (9) Leucogranito Velha Canadá com idades Pb-Pb entre 2,73 e 2,75 Ga (Santos *et al.* 2010, Sousa *et al.* 2010).

1.2.1.3 Bacia Carajás e Domínio Canaã dos Carajás

Na Bacia Carajás, o magmatismo não é inteiramente conhecido, restando muitas dúvidas e controvérsias a respeito de sua evolução. A bacia situa-se na porção norte do Domínio Carajás e é constituída principalmente por unidades supracrustais neoarqueanas (Vasquez *et al.* 2008) cortadas por granitos neoarqueanos (Complexo Estrela, Granitos Serra do Rabo e Igarapé Gelado; Sardinha *et al.* 2006; Barros *et al.* 2009) e paleoproterozoicos (Suíte Serra dos Carajás; Gonzalez *et al.* 1988; Javier Rios *et al.* 1994a,b; Dall'Agnol *et al.* 2005; Teruiya *et al.* 2008).

O Domínio Canaã dos Carajás é formado por unidades mesoarqueanas intrudidas por granitoides neoarqueanos (D.C. Oliveira *et al.* 2010b; Moreto *et al.* 2011; Gabriel 2012; Santos *et al.* 2013; Santos 2013; Teixeira *et al.* 2013; Feio *et al.* 2013; Dall' Agnol *et al.* 2013 Silva *et al.* 2014). Este domínio compreende granitoides arqueanos e subordinadamente rochas granulíticas ou charnockíticas (Vasquez *et al.* 2008). A área de Canaã dos Carajás, borda sul da Bacia Carajás, é a porção mais bem estudada deste segmento da Província Carajás. Feio *et al.* (2013) caracterizaram os granitoides arqueanos da área de Canaã e individualizaram quatro eventos magmáticos principais: (1) em 3,05-3,0 Ga ocorreu a formação do protólito do Complexo Pium, Tonalito Bacaba e de rochas com idades similares cuja existência foi deduzida somente a partir de zircões herdados encontrados em diversas unidades; (2) em 2,96-2,93 Ga deu-se a cristalização do Granito Canaã dos Carajás e a formação das rochas mais antigas do Trondhjemito Rio Verde; (3) em 2,87-2,83 Ga foram formados o Tonalito Campina Verde, o Trondhjemito Rio Verde e os granitos Bom Jesus, Cruzadão e Serra Dourada; (4) no Neoarqueano, em 2,75-2,73 Ga, foram originadas as suítes Planalto e Pedra Branca; e rochas charnockíticas. Além dos granitoides, encontra-se exposto nesta porção do Subdomínio de Transição, a oeste de Canã dos Carajás, o Diopsídio-Norito

Pium, o qual foi primeiramente, considerado como tendo idade mesoarqueana (Pidgeon *et al.* 2000), porém, foi reinterpretado mais recentemente como associação charnockítica formada durante o Neoarqueano (Vasquez *et al.* 2008; Santos *et al.* 2013).

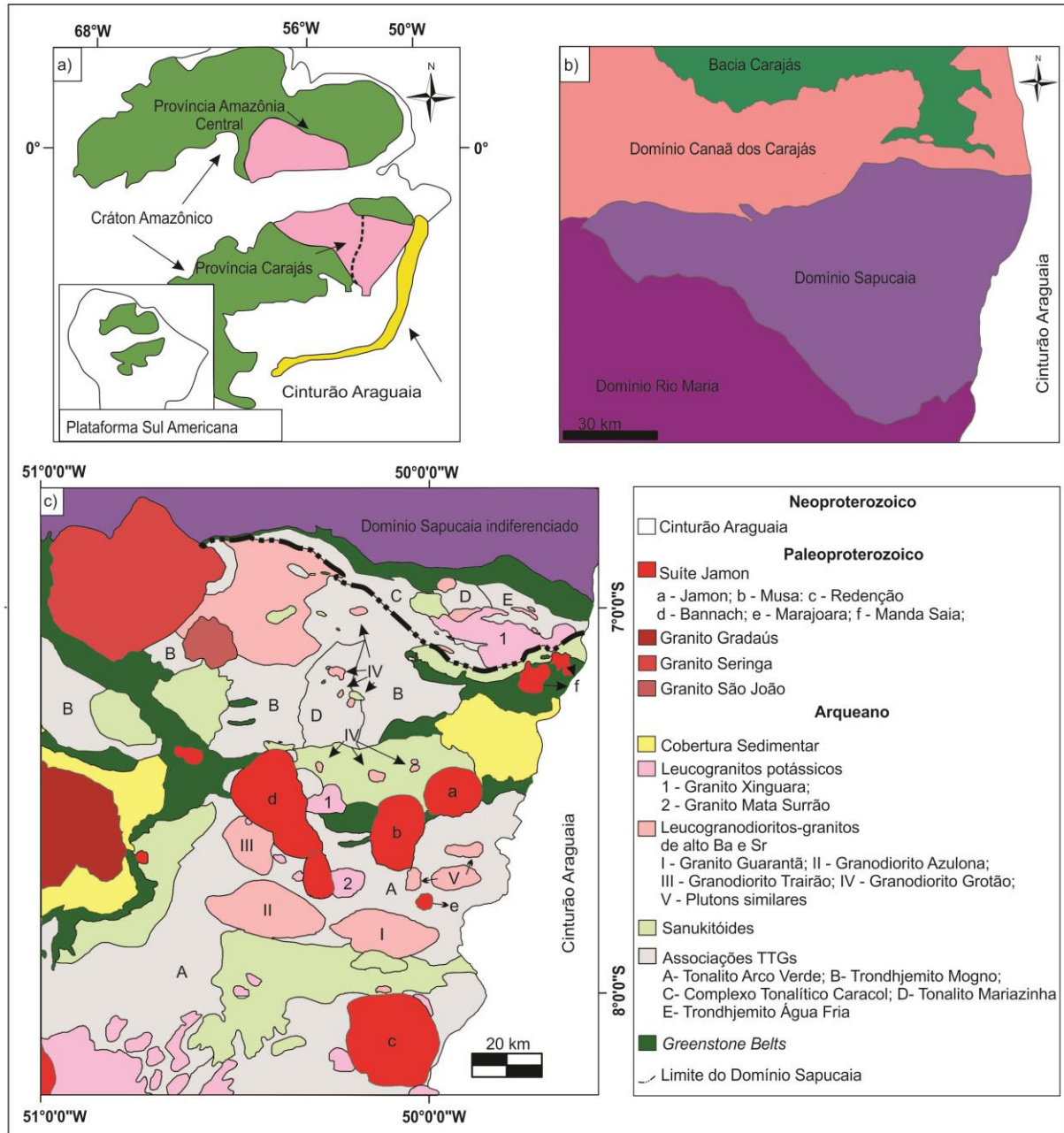


Figura 1.2: a) Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico; b) Compartimentação tectônica da Província Carajás proposta por Dall'Agnol *et al.* (2013); c) Mapa geológico do Domínio Rio Maria (Dall'Agnol *et al.* 2006; M.A. Oliveira *et al.* 2009; Almeida *et al.* 2011).

1.3 GRANITOS ANOROGÊNICOS PALEOPROTEROZOICOS

No final do Paleoproterozoico e durante o Mesoproterozoico, em diversas áreas cratônicas do mundo ocorreram intensas manifestações magmáticas. Suítes de granitos rapakivi e rochas associadas da América do Norte (Emslie 1991; Frost *et al.* 1999; Anderson

& Morrison 2005) e do Escudo da Fennoscandia (Rämö & Haapala 1995; Amelin *et al.* 1997; Eklund & Shebanov 1999) são exemplos de rochas formadas durante estes eventos magmáticos proterozoicos. No Cráton Amazônico foram identificados eventos magmáticos similares (Dall'Agnol *et al.* 1999b, 2005; Bettencourt *et al.* 1999; Fraga *et al.* 2009; Heinonen *et al.* 2012).

Entre os diversos eventos de magmatismo anorogênico proterozoicos que ocorreram no mundo, o do Cráton Amazônico, foi um dos mais significativos. Durante esse evento foi gerado um grande volume de rochas graníticas e vulcânicas máficas, intermediárias e félsicas, com variedades plutônicas máficas subordinadas (Bettencourt & Dall'Agnol 1987; Dall'Agnol *et al.* 1987; Issler & Lima 1987; Bettencourt *et al.* 1999; Dall'Agnol *et al.* 1999b; Dall'Agnol *et al.* 2005).

Na Província Carajás (PC) o magmatismo anorogênico proterozoico é representado por três suítes: Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás (Dall'Agnol *et al.* 2005), bem como pelos granitos Gradaús, Seringa e São João. Dall'Agnol *et al.* (2005) distinguiram estas três suítes com base em diferenças significativas em termos de geoquímica, suscetibilidade magnética (SM) e mineralizações associadas, as quais refletem em grande parte derivação a partir de magmas com contraste em termos de fugacidade de oxigênio.

Apesar das diferenças, os granitos tipo A paleoproterozoicos dessas suítes apresentam algumas similaridades. Afloram, como batólitos discordantes formados por rochas isotrópicas, são de alto nível crustal, composição sienogranítica a monzogranítica e quimismo moderadamente alcalino (Silva *et al.* 1974; Hirata *et al.* 1982; DOCEGEO 1988; Gonzalez *et al.* 1988; Dall'Agnol *et al.* 1994). Ao longo de seus contatos, são encontrados xenólitos das rochas encaixantes e o acentuado contraste térmico com as rochas adjacentes favoreceu o metamorfismo de contato na fácies hornblenda hornfels (Soares 1996; Dall'Agnol *et al.* 2006). Esses granitos anorogênicos, possuem idades de cristalização e colocação próximas de 1,88 Ga, obtidas pelos métodos U/Pb e Pb/Pb em zircão e Pb/Pb em rocha total (Barbosa *et al.* 1995; Dall'Agnol *et al.* 1999b).

1.3.1 Suíte Jamon

A Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005) é formada por seis plutons graníticos: Marajoara (Rocha Jr. 2004), Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1997, 1999a, b, c), Musa (Gastal 1987, 1988; Dall'Agnol *et al.* 1999a), Manda Saia (Leite 2001), Bannach (Huhn *et al.* 1988, Duarte 1992, Almeida 2005, Almeida *et al.* 2006, 2007) e Redenção (Montalvão *et al.* 1982, Vale & Neves, 1994; Barbosa *et al.* 1995; Oliveira *et al.* 2002, 2005; Oliveira 2006; D.C. Oliveira *et*

al. 2010a). O Granito Gradaús, embora tenha sido tentativamente incluído na suíte (Dall'Agnol *et al.* 2005), ainda não foi estudado em detalhe e sua vinculação à suíte não está demonstrada. A disposição dos corpos pode ser visualizada na figura 1.2c. Para exemplificar as características desta suíte, foram utilizados dados referentes aos granitos Bannach (Almeida *et al.* 2006, 2007) e Redenção (Oliveira 2001), estudados nesta pesquisa, e do Granito Jamon, alvo de estudos petrológicos anteriores (Dall'Agnol 1999c).

A distribuição espacial das fácies destes corpos graníticos mostra em geral um zoneamento aproximadamente concêntrico, com as fácies menos evoluídas dispostas nas margens e as mais evoluídas no centro dos plutons. As razões K_2O/Na_2O desses granitos tendem a aumentar gradualmente com o avanço da cristalização fracionada e possuem valores situados entre 1 e 2. Além disso, outras características desses granitos são: altas razões $FeOt/FeOt+MgO$ (0,83 a 0,87), porém inferiores às fornecidas pelos granitos tipo A reduzidos (em geral $> 0,90$; Dall'Agnol *et al.* 2005); teores expressivos de minerais opacos, conteúdo marcante de magnetita, altos valores de suscetibilidade magnética, sendo os maiores valores relacionados com as fácies menos evoluídas e os menores com as fácies leucograníticas, bem como a presença da paragênese magnetita-titanita-quartzo. Tais granitos se enquadram entre os granitos da série magnetita (Ishihara 1977, 1981), formados em condições de fugacidade de oxigênio próximas daquelas dos tampões NNO e HITMQ (Wones 1989; Dall'Agnol *et al.* 1997, 1999c). Os granitos Bannach e Redenção mostram também semelhanças em termos dos padrões de elementos terras raras (ETR) de suas diferentes fácies. Dentre as principais similaridades destacam-se o enriquecimento relativo em elementos terra raras leves, o empobrecimento discreto em terras raras pesados e a presença de uma anomalia negativa de európio, que aumenta das fácies menos evoluídas para as mais evoluídas (Dall'Agnol *et al.* 1999a; Oliveira 2001; Almeida 2005). E por fim, mostram afinidades geoquímicas com os granitos intraplaca (Pearce *et al.* 1984), com os granitos tipo -A (Whalen *et al.* 1987), com os granitos ferrosos de Frost *et al.* (2001) e com os granitos do subtipo A2 (Eby 1992).

Oliveira *et al.* (2008) realizaram estudos geofísicos, baseados em gravimetria, aerogamaespectrometria e suscetibilidade magnética, nos granitos Bannach e Redenção e concluíram que ambos são formados por dois pulsos magmáticos. O primeiro foi fracionado *in situ* após sua colocação em porções rasas da crosta, gerando monzogranitos equigranulares de granulação grossa, com variado conteúdo modal de biotita e hornblenda. O segundo pulso de magma, ligeiramente mais jovem e evoluído, colocou-se no centro dos plutons e gerou leucogranitos equigranulares. Além disso, o modelamento gravimétrico mostrou que os granitos Bannach e Redenção são um conjunto de intrusões tabulares, com aproximadamente

2 e 6 km de espessura, respectivamente (Oliveira *et al.* 2008), de modo análogo ao que foi observado em corpos de clássicos granitos rapakivi (Vigneresse, 2005).

Foram realizados estudos petrológicos experimentais no Granito Jamon com objetivo de definir com mais rigor os parâmetros de cristalização de suas fácies e obter informações sobre a sua gênese (Dall'Agnol *et al.* 1999c). Para isso, foram efetuadas comparações entre as composições das principais fases 'naturais', presentes na fácies hornblenda-biotita-monzogranito, e as mesmas fases obtidas nos experimentos. Os anfibólios presentes são ferroedenita ou hornblenda edenítica, com razões Fe/(Fe+Mg) variando de 0,47 a 0,65 em biotita-hornblenda-monzogranitos e de 0,6 a 0,73 em biotita-monzogranitos. Um caráter mais fortemente oxidado foi observado em riolitos pórfiros que apresentam razões entre 0,30 e 0,40. Análises químicas em biotitas mostram razões Fe/(Fe+Mg) entre 0,60 e 0,63 para hornblenda-biotita-monzogranitos, 0,65 e 0,70 em biotita-monzogranitos e entre 0,4 e 0,45 em riolitos pórfiros e microgranitos. Em estudo detalhado dos minerais óxidos de Fe e Ti do Granito Jamon, Dall'Agnol *et al.* (1997) mostraram que as ilmenitas foram, de modo geral, intensamente reequilibradas, porém suas composições primárias foram melhor preservadas em diques porfiríticos e puderam ser estimadas (78,5 a 90% de ilmenita). Nestes mesmos diques, foi possível, aplicando uma metodologia complexa, estimar, a partir da reconstrução dos cristais primitivos, a composição de titanomagnetitas primárias, tendo sido determinados conteúdos de 28 a 46% de ulvoespínélio. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que o magma do pluton Jamon evoluiu em condições relativamente oxidantes, acima do tampão NNO (Dall'Agnol *et al.* 1997).

As comparações entre os diagramas de fase definidos em condições oxidantes e reduzidas, as composições das fases experimentais e seus correspondentes naturais, bem como a utilização de geobarômetros, permitiram a Dall'Agnol *et al.* (1999c) inferir os seguintes parâmetros de cristalização para o magma Jamon: Intervalo de cristalização (870°C a 680°C); profundidade de colocação (300Mpa); conteúdo de água (4,5 a 6,5%); fugacidade de oxigênio (tampão NNO + 0,5).

1.4 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

O corpo granítico tipo A anorogênico Bannach foi definido como anorogênico por Duarte (1992) e incluído na Suíte Jamon por Dall'Agnol *et al.* (2005). Contudo, os estudos sobre tal corpo eram muito limitados e seus limites geológicos ainda não eram bem definidos. Pesquisas realizadas por Almeida (2005), que incluíram geologia, petrografia, petrologia magnética e geoquímica (Almeida *et al.* 2006, 2007), permitiram avanços significativos no conhecimento do mesmo, com sua delimitação e definição da natureza e distribuição espacial das suas fácies. Em complemento, estudos geofísicos permitiram refinar o zoneamento e definir a forma do corpo (Oliveira *et al.* 2008). O conjunto de dados obtidos revelou fortes similaridades entre o corpo Bannach e os demais maciços da Suíte Jamon. Contudo, ainda não tinham sido realizados estudos de química mineral deste corpo, assim como de diversos outros da suíte, à exceção do maciço Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1999c). Neste contexto, o Granito Bannach foi selecionado para estudo mineralógico mais detalhado devido ao fato de apresentar ampla variação de fácies e considerando a indefinição das composições químicas das suas principais fases e, em decorrência, ausência de estimativa mais rigorosa dos seus parâmetros de cristalização. Tais dados permitirão aprofundar as comparações entre este e os demais granitos que formam a Suíte Jamon, bem como com outros granitos análogos da Província Carajás ou de outros crátons pré-cambrianos do mundo. Com isso, pôde-se avançar na caracterização e contribuir nas discussões acerca do magmatismo paleoproterozóico da Província Carajás.

Outro aspecto importante que justifica a presente pesquisa é a recente instalação da microsonda eletrônica, em rotina no Instituto de Geociências-UFPA, a qual, juntamente com os microscópios eletrônicos de varredura já disponíveis, compõe o Laboratório de Microanálises do instituto. É de extrema importância para o IG aprimorar a competência já existente em estudos mineralógicos quantitativos e qualitativos e, com isso, valorizar os equipamentos existentes e criar novas perspectivas em termos de pesquisa.

1.5 OBJETIVOS

O objetivo prioritário desta pesquisa é definir as composições mineralógicas das principais fases presentes nas fácies dominantes no Granito Bannach, e, com base nisso, estimar os seus parâmetros de cristalização.

Tem-se como objetivos específicos:

- Caracterizar as composições químicas das principais fases minerais do Granito Bannach (anfíbólio, biotita, plagioclásio, titanita, magnetita e ilmenita);
- Estimar os valores dos principais parâmetros de cristalização que controlaram a evolução magmática desse granito, tais como: fO_2 ; pressão de colocação (profundidade); temperatura; e conteúdo de H_2O ;
- Comparar o granito estudado com granitos similares da província Carajás e de outros crátons do mundo.

1.6 MATERIAIS E MÉTODOS

1.6.1 Pesquisa bibliográfica

Foi realizada pesquisa bibliográfica acerca da geologia da região estudada, magmatismo anorogênico proterozóico de diferentes continentes e, em particular, sobre a petrografia, mineralogia, petrogênese e geoquímica de granitos anorogênicos tipo A da Província Carajás. Além disso, foram pesquisados temas referentes à aplicação da composição de minerais como marcador das condições de formação de magmas.

Em termos da geobarometria e termometria, foram empregados como referências iniciais os geobarômetros de Al em anfíbólio (Hammarstron & Zen 1986; Hollister *et al.* 1987; Johnson & Rutherford 1989; Blundy & Holland 1990; Schmidt 1992) e as discussões sobre sua aplicação em diferentes tipos de granitoides (Anderson & Smith 1995; Lamarão & Dall'Agnol 2004; Anderson & Morrison 2005; Anderson *et al.* 2008; Ridolfi *et al.* 2010; Cunha *et al.* 2016; Dall'Agnol *et al.* em impressão), bem como os termômetros de zircão (Watson & Harrison 1983; Miller *et al.* 2003), anfíbólio-plagioclásio (Blundy & Holland 1990) e trabalhos mais abrangentes (Ridolfi *et al.* 2010; Ridolfi & Rezulli 2012; Erdmann *et al.* 2014; Putirka 2016; Mutch *et al.* 2016). Quanto às condições de fugacidade de oxigênio durante a evolução magmática foram consultados: Wones (1989), Clark (1999), Dall'Agnol *et al.* (1997, 1999b, 2005, 2017), Dall'Agnol & Oliveira (2007), Frost & Lindsley (1991), Frost (1991), Ishihara (1981), Anderson & Smith (1995), Anderson & Morrison (2005), Anderson

et al. (2008), Cunha *et al.* (2016).

No que tange à classificação dos minerais, foram seguidas as normas recomendadas pela International Mineralogical Association (IMA), sintetizadas no caso das micas por Rieder *et al.* (1998) e no de anfibólios por Leake *et al.* (1997) e Hawthorne *et al.* (2012).

1.6.2 Amostragem e Trabalhos de campo

No início do trabalho foi realizado um levantamento das amostras dos granitos Bannach e Redenção disponíveis no acervo do GPPG. Algumas amostras com estudos petrográficos e geoquímicos prévios foram aproveitadas. Porém, houve a necessidade de uma reamostragem em campo, ou pelo reduzido tamanho de alguns exemplares disponíveis, insuficiente para os estudos propostos, ou pela limitação de amostragem de determinadas fácies do corpo, consideradas importantes para a presente pesquisa.

Foi efetuada uma campanha de campo no período de 3 a 12 de agosto de 2015, em conjunto com a doutoranda Mayara Fraeda Barbosa Teixeira e com a orientação dos professores Davis Carvalho de Oliveira e José de Arimatéia Costa de Almeida, os quais haviam estudado previamente os corpos referidos e atuam no GPPG. O principal objetivo da campanha consistiu em reamostrar as principais fácies dos granitos Bannach e Redenção, com intuito de complementar o acervo do GPPG (Figura 1.3). Além disso, a viagem permitiu visualizar a disposição dos granitos estudados, observando seu contexto geológico, características e natureza de suas fácies, assim como sua distribuição espacial e relações de campo. Foram escolhidos preferencialmente pontos dos quais já se dispunha de análises petrográficas e geoquímicas (Oliveira 2001; Almeida 2005; Almeida *et al.* 2006, 2007) (Figura 1.3). No caso do corpo Bannach, a reamostragem foi efetuada exclusivamente na porção norte do corpo, pois as principais fácies estão nela representadas. As amostras coletadas foram utilizadas para estudos petrográficos e mineralógicos complementares das fácies do corpo Bannach (ver síntese na Figura 1.3) e amostras de ambos os granitos para estudos geocronológicos vinculados à tese de doutorado de Mayara F. B. Teixeira.

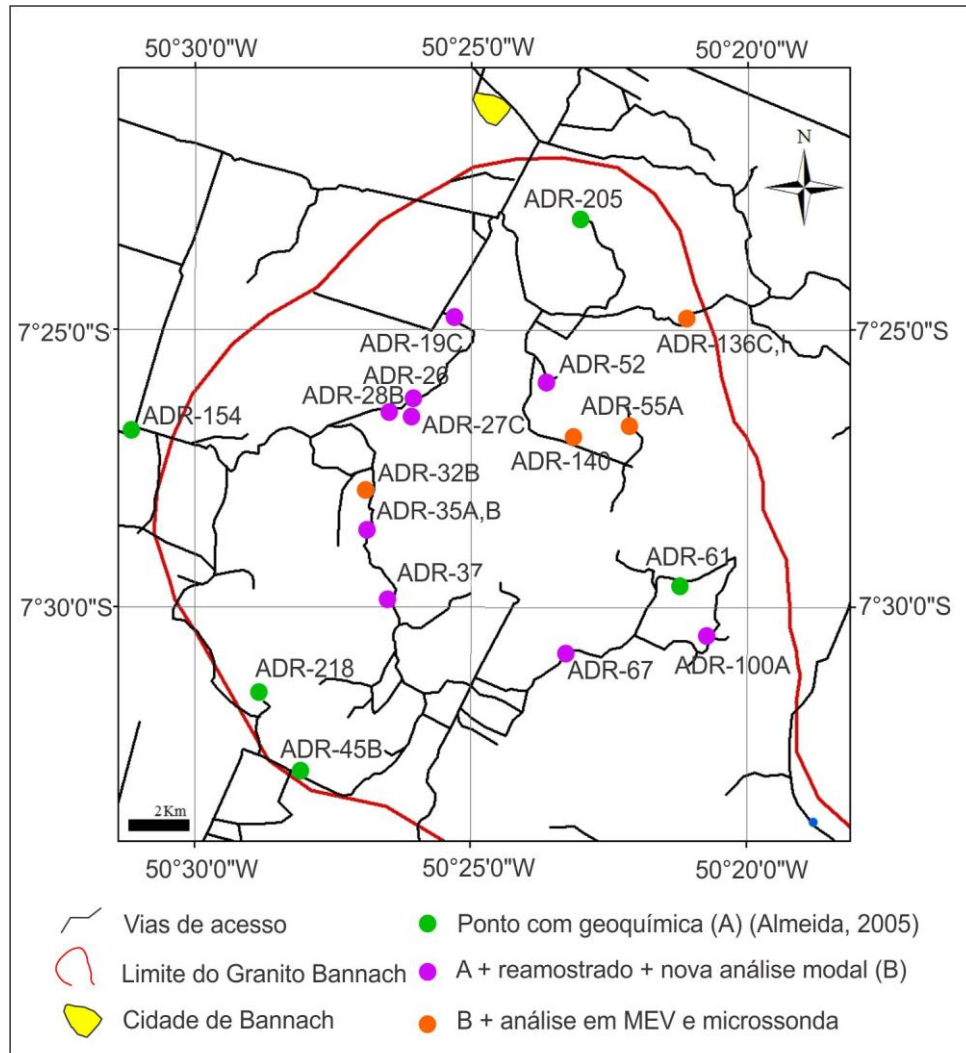


Figura 1.3: Mapa de amostragem da porção norte do corpo Bannach. Todos os pontos indicados no mapa tiveram amostras submetidas a análises modais e químicas por Almeida (2005) e Almeida *et al.* (2006). Os estudos adicionais realizados estão indicados.

1.6.3 Petrografia

Para estudos petrográficos complementares foram selecionadas 17 amostras das diferentes fácies do granito Bannach, dentre elas 8 pertencentes ao acervo do GPPG e 9 coletadas em campo. Isso permitiu realizar exame e descrição macroscópica, seguidas de estudos microscópicos das rochas representativas das 7 principais fácies do Granito Bannach.

Para o estudo microscópico, além do re-exame do acervo existente, foi confeccionada uma lâmina de cada amostra na Oficina de Laminação do Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG). As descrições das lâminas foram efetuadas em microscópio Leica DM 2700p do laboratório de petrografia do PPGG do Instituto de Geociências (IG) da UFPA. As observações envolveram microscopia ótica em luz transmitida e também em luz refletida, essa direcionada para os minerais opacos. Os principais aspectos texturais foram documentados por meio de fotomicrografias. As composições modais foram obtidas por meio

de contador de pontos automático *Stageledge*, marca *Endeep* (média de 2000 pontos por lâmina delgada analisada). A petrografia serviu sobretudo para visualização das associações minerais das diferentes fácies e das relações texturais entre as diferentes fases presentes, bem como compreensão da evolução da sua cristalização. Permitiu, ainda, a seleção preliminar das seções representativas dos diferentes minerais para o estudo de química mineral realizado nesse trabalho. Dessa forma, as descrições, interpretações e classificações feitas por Almeida *et al.* (2006, 2007) foram complementadas e, por vezes, aprimoradas.

1.6.4 Caracterização e química mineral

Esta etapa do estudo envolveu dois métodos distintos e complementares. Inicialmente, foi feito um estudo utilizando microscópio eletrônico de varredura (MEV) da marca Zeiss modelo SIGMA-VP com EDS IXRF modelo Sedona-SD acoplado, pertencente ao Instituto Tecnológico Vale (ITV), cedido em contrato de comodato para o IG-UFGA. Em seguida, foram efetuadas análises químicas de fases minerais selecionadas em microsonda eletrônica da marca Jeol modelo JXA-8230. Nessa etapa, foram analisadas 7 lâminas polidas representativas de 5 fácies do Granito Bannach, sendo que, devido ao intenso grau de alteração de fases máficas, foram descartadas 2 fácies, o que, ao que tudo indica, não comprometeu o objetivo do trabalho. Em ambas as etapas foram analisados cristais de anfibólio, biotita, titanita, plagioclásio, magnetita e ilmenita. Todas as lâminas polidas foram previamente metalizadas com película de carbono de ~20nm em metalizador da marca Quorum e modelo Q150T-ES. As análises foram realizadas no Laboratório de Microanálises do IG-UFGA, sob supervisão do professor Cláudio Nery Lamarão e das técnicas Ana Paula Corrêa (MEV) e Gisele Tavares (Microsonda).

1.6.4.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O uso do MEV possibilitou observar, a partir de imagens por elétrons retroespehados, relações texturais que, devido a limitações físicas do método, não são visualizadas em microscopia ótica. Além disso, espectros de raios-X e análises semi-quantitativas obtidas por espectroscopia de raios-X por dispersão de energia (EDS), executadas através do programa Iridium Ultra na versão 1.4, e exportadas para o Microsoft Excel 2007 na forma de tabelas, permitiram caracterizar quimicamente as principais fases minerais das diferentes fácies e obter suas composições aproximadas. Os dados obtidos por esse método serviram, sobretudo, como guia para os estudos em microsonda eletrônica, possibilitando uma escolha mais precisa dos cristais a serem analisados em microsonda através de Wavelength Dispersive

Spectroscopy (WDS). As condições de operação do MEV foram: corrente do feixe de elétrons = 80 μ A, voltagem de aceleração constante = 20 kv, distância de trabalho = 8,5 mm, tempo de contagem para análise dos elementos = 30 s.

1.6.4.2 Microsonda Eletrônica

Como mencionado no tópico acima, foram selecionados os cristais mais representativos das principais fases minerais de 5 fácies do corpo Bannach para realizar análises quantitativas por *Wavelength Dispersive Spectroscopy* (WDS) utilizando microsonda eletrônica. O *software* usado para computar os dados da microsonda foi o JEOL-EPMA, cuja versão da interface principal (PC-SEM) é 3.0.1.9 e as análises quantitativas foram exportadas para o Microsoft Excel 2007, na forma de tabelas. As condições de operação da microsonda para os diferentes minerais analisados podem ser visualizadas na tabela 1.1.

Tabela 1.1: Condições de operação da microsonda eletrônica para cada mineral.

Mineral	Voltagem	Corrente	Diâmetro do Feixe
Anfibólio	15Kv	20nA	10 μ m
Biotita	15Kv	20nA	10 μ m
Titanita	15Kv	20nA	10 μ m
Plagioclásio	15Kv	20nA	10 μ m
Opacos	15Kv	20nA	5 μ m
Unidade	Kv = kilovolts	nA = nano ampere	μ m = micrometros

Para a análise química quantitativa de cada elemento foram utilizados os padrões apresentados na tabela 1.2.

Outro fatorm operacional a considerar é o tempo de análise de cada elemento para determinado mineral, que pode ser consultado na tabela 1.3.

Os efeitos de matriz foram corrigidos pelo método ZAF. Os cristais usados para análise foram TAP para Si, Al, Mg e Na; PETJ para Cr, Ca, K, Sr; LIF para Ni, Fe, Mn, Ba e Ti; PETH para Cl e V; e LDE1 para F.

Tabela 1.2: Padrões utilizados para diferentes elementos nas análises em microsonda eletrônica.

Elemento	Padrão	Elemento	Padrão	Elemento	Padrão
Si	Ortoclásio	Mn	Rodonita	V	V
Ti	Rutilo	Mg	Diopsídio	F	Biotita
Al	Anortita	Ca	Wolastonita	Cl	Sodalita
Cr	Cr2	Na	Sodalita		
Fe	FeO ₃ O ₄	K	Ortoclásio		

Tabela 1.3: Tempo de análise em microsonda eletrônica de cada elemento nos diferentes minerais.

Elemento	Anfibólio	Biotita	Titanita	Plagioclásio	Opacos
Si	20s	20s	20s	20s	40s
Ti	40s	40s	40s	40s	40s
Al	40s	40s	40s	40s	40s
Cr	40s	40s	40s	40s	40s
Fe	20s	20s	20s	20s	20s
Mn	40s	40s	40s	40s	40s
Mg	20s	20s	20s	20s	40s
Ca	20s	20s	20s	20s	40s
Na	40s	40s	40s	40s	
K	40s	40s	40s	40s	
V	40s	40s	40s	40s	40s
F	40s	40s	40s	40s	
Cl	40s	40s	40s	40s	

CAPÍTULO II

2. QUÍMICA MINERAL E PARÂMETROS DE CRISTALIZAÇÃO DO GRANITO TIPO A PALEOPROTEROZOICO BANNACH, PROVÍNCIA CARAJÁS, PARÁ (Artigo a ser submetido para Brazilian Journal of Geology)

RESUMO

O Granito paleoproterozoico tipo A Bannach pertence à Suíte Jamon, intrusiva nas unidades arqueanas do Domínio Rio Maria, sul da Província Carajás, sudeste do cráton Amazônico. Ele é composto por oito fácies que exibem conteúdo de minerais máficos e textura distintas. Os anfibólios dominantes são ferro-hornblenda nas fácies menos evoluídas e ferroedenita ou hastingsita nas mais evoluídas e suas razões $Fe/(Fe+Mg)$ variam de 0,53 a 0,81. Nas fácies mais ricas em máficos ocorrem cummingtonita e grunerita, oriundas da desestabilização de clinopiroxênio, com razão $Fe/(Fe+Mg)$ em torno de 0,50. A biotita é ferrosa e apresenta na maioria das fácies razões $Fe/(Fe+Mg)$ entre 0,62 e 0,80, porém na fácies leucomonzogranito médio tardio exibe razões entre 0,89 e 0,91 e sua composição se aproxima da annita. O plagioclásio apresenta zoneamento normal, com núcleos de andesina sódica ou oligoclásio cálcico e bordas de oligoclásio sódico nas fácies mais ricas em máficos e composição de oligoclásio cálcico a sódico com bordas albíticas nas fácies mais félsicas. A titanita possui razões Fe/Al compatíveis com aquelas de rochas magmáticas plutônicas com quartzo. Magnetita e ilmenita estão presentes nas diferentes fácies. A ilmenita se apresenta nas variedades texturais em treliça, em manchas (*patches*), composta e individual, enquanto que a magnetita ocorre intercrescida com lamelas de ilmenita em treliça, associada à ilmenita composta ou em cristais homogêneos. Não há contrastes composicionais expressivos entre as variedades texturais de ilmenita, mas se constatou enriquecimento em MnO nas ilmenitas das fácies mais félsicas. A magnetita é sempre pobre em Ti, sendo que os cristais homogêneos se associam com anfibólio ferromagnésiano e são praticamente desprovidos de Ti. Temperaturas interpretadas como próximas do *liquidus*, obtidas com o geotermômetro do zircão, variam entre 943 e 795 °C, ao passo que aquelas interpretadas como próximas do *solidus*, deduzidas a partir do geotermômetro de anfibólio e plagioclásio, variam de 807 a 732 °C, decrescendo em ambos os casos das fácies mais ricas em máficos para as mais félsicas. A pressão de colocação, estimada com o geobarômetro de Al em anfibólio, foi de 300 ± 50 MPa ($11,1 \pm 1,9$ km). As razões $Fe/(Fe+Mg)$ de anfibólio e a presença de magnetita e titanita magmáticas

sugerem cristalização sob condições moderadamente oxidantes, semelhantes às do magma Jamon e às dos granitos anorogênicos da série magnetita de Laurentia, porém a biotita indica condições um pouco mais redutoras, estimadas em NNO a NNO-0,5. A fácies leucomonzogranito médio tardio é exceção, pois exibe razões Fe/(Fe+Mg) em biotita muito elevadas e similares às dos granitos reduzidos da Província Carajás, bem como às dos granitos da série ilmenita de Laurentia e Fennoscandia. Isto reforça a hipótese de sua geração em pulso magmático tardio, a partir de líquido derivado de fonte mais reduzida do que a das demais fácies do Granito Bannach.

Palavras-chave: Química mineral, Parâmetros de cristalização, Granito tipo A, Paleoproterozoico, Bannach, Província Carajás.

ABSTRACT

The A-type Paleoproterozoic Bannach granite belongs to the Jamon Suite and cross-cut the Archean units of the Rio Maria Domain in the Carajás Province of the Amazon Craton. It comprises eight facies with varied mafic content and texture. The dominant amphibole is Fe-hornblende in the more mafic facies and Fe-edenite or hastingsite in the more felsic ones with Fe/(Fe+Mg) ratios of 0.53 to 0.81. In the facies with higher mafic content, it also occurs cummingtonite or grunerite originated from the destabilization of clinopyroxene, with Fe/(Fe+Mg) ratio around 0.50. The biotite is ferroan with Fe/(Fe+Mg) ratio varying between 0.62 and 0.80 except in the late-emplaced medium-grained leucomonzogranites, where it varies from 0.89 to 0.91 and approaches annite in composition. The plagioclase shows normal zoning with sodic andesine or calcic oligoclase cores varying to sodic oligoclase in the more mafic facies and calcic or sodic oligoclase cores and albite borders in the more felsic varieties. The titanite displays Fe/Al ratios similar to those of plutonic magmatic rocks with quartz. Magnetite and ilmenite are significant accessory minerals in all facies. Trellis, composite, individual and patch textural varieties of ilmenite were identified, whereas magnetite occurs in intergrowths with trellis ilmenite, associated with composite ilmenite and in homogeneous crystals associated with cummingtonite-grunerite. There is no significant contrast in composition in the textural varieties of ilmenite, however the ilmenites found in the more felsic granites are enriched in MnO compared to the less evolved ones. The magnetite is always poor in TiO₂ and almost Ti-free in the homogeneous crystals. The near *liquidus* temperatures obtained from the zircon geothermometer vary between 943°C and 795°C, whereas the near *solidus* temperatures indicated by the amphibole-plagioclase

geothermometer are of 807°C to 732 °C, decreasing in both cases from the more mafic to the more felsic granites. The Al-in geobarometer indicated pressures of 300±50 MPa (~11.1±1.9 km) for the emplacement of the Bannach pluton. The Fe/(Fe+Mg) ratios of amphibole and the occurrence of magmatic magnetite and titanite indicate that most granite facies crystallized at moderately oxidizing conditions, similarly to the conditions admitted for the Jamon Granite and the magnetite series granites of Laurentia. However, the composition of biotite suggest a little more reduced character estimated as similar to NNO to NNO-0.5. The late-emplaced medium-grained leucomonzogranites facies is an exception because it displays extremely high Fe/(Fe+Mg) ratios in biotite, approaches the reduced granites of Carajás Province and the ilmenite series granites of Laurentia and Fennoscandia in this regard. This may suggest that it crystallized from a magma derived from a more reduced source compared to that of the dominant facies of the Bannach pluton.

Keywords: Mineral chemistry, Crystallization parameters, A-type granite, Paleoproterozoic, Bannach, Carajás Province.

INTRODUÇÃO

No final do Paleoproterozoico e durante o Mesoproterozoico, em diversas áreas cratônicas do mundo ocorreram intensas manifestações magmáticas. Dentre elas, a identificada no Cráton Amazônico é uma das mais expressivas. Engloba um grande volume de rochas graníticas e vulcânicas máficas, intermediárias e félsicas, com variedades plutônicas máficas subordinadas (Issler & Lima 1987; Bettencourt *et al.* 1999; Dall’Agnol *et al.* 1994, 1999b). Na Província Carajás (PC), o magmatismo anorogênico proterozoico é representado por três suítes: Jamon, Velho Guilherme e Serra dos Carajás (Dall’Agnol *et al.* 2005, 2006), bem como pelos granitos Seringa (Paiva Jr. *et al.* 2011), São João (Lima *et al.* 2014) e Gradaús (T. A. Carvalho, em prep.).

O alvo desse trabalho é o Granito Bannach, que é um batólito intrusivo em unidades arqueanas e faz parte da Suíte Jamon, exposta no Domínio Rio Maria, na porção sudeste do Cráton Amazônico. O pluton anorogênico Bannach (Duarte 1992) foi incluído na Suíte Jamon que é constituída por granitos tipo A oxidados (Dall’Agnol *et al.* 2005; Dall’Agnol & Oliveira 2007). Porém, os estudos sobre tal corpo granítico eram muito limitados e seus limites geológicos ainda não bem definidos. Pesquisas realizadas por Almeida *et al.* (2006, 2007), que incluíram geologia, petrografia, petrologia magnética e geoquímica, permitiram avanços significativos no conhecimento do corpo Bannach, com sua delimitação, definição da natureza

e distribuição espacial das suas fácies e sua caracterização petrográfica, geoquímica e em termos de petrologia magnética. Em complemento, estudos geofísicos permitiram definir o zoneamento e a forma do corpo (Oliveira *et al.* 2008). Entretanto, os estudos de química mineral na Suíte Jamon eram, até então, restritos ao Granito Jamon (Dall’Agnol *et al.* 1999c).

Química mineral é uma importante ferramenta para definir parâmetros de cristalização de magmas graníticos. O geobarômetro de Al em anfibólio foi desenvolvido a partir da década de 80 (Hammarstron & Zen 1986; Hollister *et al.* 1987; Johnson e Rutherford 1989; Blundy e Holland 1990; Schmidt 1992) e foi aplicado em diferentes tipos de granitoides (Anderson e Smith 1995; Lamarão & Dall’Agnol 2004; Anderson & Morrison, 2005; Anderson *et al.* 2008). Também têm sido muito discutidos os geotermômetros de zircão (Watson & Harrison 1983, Miller *et al.* 2003), apatita (Harrison & Watson 1984), e anfibólio-plagioclásio (Blundy & Holland 1990). Trabalhos recentes discutem de modo aprofundado a estimativa de parâmetros de cristalização a partir da composição química das principais fases minerais (Ridolfi *et al.* 2010; Ridolfi & Rezzulli 2012; Erdmann *et al.* 2014; Cunha *et al.* 2016; ver Putirka 2016, e Mutch *et al.* 2016, para avaliação específica do geobarômetro de Al em anfibólio). Quanto às condições de fugacidade de oxigênio reinantes durante a evolução magmática, as composições de anfibólio e biotita, em particular suas razões Fe/(Fe+Mg), foram utilizadas para estimar esse parâmetro, pois as mesmas são fortemente dependentes da fugacidade de oxigênio (Anderson & Smith 1995; Dall’Agnol *et al.* 1999a, c, 2005, 2017; Anderson & Morrison 2005; Dall’Agnol & Oliveira, 2007; Anderson *et al.* 2008, Cunha *et al.* 2016). Da mesma forma, as composições do par magnetita – ilmenita primários e as associações de minerais óxidos de Fe-Ti fornecem importantes informações sobre esta variável (Ishihara 1981; Wones 1989; Frost & Lindsley 1991; Frost 1991; Clark 1999; Dall’Agnol *et al.* 1997, 1999c, 2005; Dall’Agnol & Oliveira 2007; Cunha *et al.* 2016).

Desta forma, o objetivo primordial desse artigo é apresentar as composições químicas das principais fases presentes nas fácies minerais dominantes no Granito Bannach e, com base nisso, estimar os seus parâmetros de cristalização. Pretende-se, ainda, estabelecer comparações com granitos similares da Província Carajás e de outros crátons do mundo. Espera-se, assim, obter avanços na caracterização e na definição da evolução petrológica do magmatismo paleoproterozóico da Província Carajás e, de modo mais geral, dos granitos tipo A oxidados.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Carajás (PC), principal domínio arqueano do Cráton Amazônico (Figura 2.1a), era subdividida em Domínio Rio Maria (DRM), a sul, e Domínio Carajás (DC), a norte (Vasques *et al.* 2008). Recentemente, o Domínio Carajás foi subdividido por Dall’Agnol *et al.* (2013) em três novos domínios (Figura 2.1b): (1) Domínio Sapucaia (2,95 a 2,73 Ga), constituído por unidades mesoarqueanas com similaridades litológicas com as rochas dominantes do Domínio Rio Maria, mas que foram fortemente afetadas por eventos tectônicos neoarqueanos (D.C. Oliveira *et al.* 2010b; Dall’Agnol *et al.* 2017; e referências naqueles trabalhos); (2) Domínio Canaã dos Carajás (3,0 a 2,73 Ga), que engloba granitoides mesoarqueanos com ampla representação de granitos e, subordinadamente, rochas graníticas e charnockíticas neoarqueanas (Moreto *et al.* 2011; R. S. Santos *et al.* 2013; Feio *et al.* 2013); (3) Bacia Carajás, a qual apresenta predominantemente sequências metavulcânicas e formações ferríferas bandadas neoarqueanas (~2,76 Ga; Vasquez *et al.* 2008) cortadas por granitos neoarqueanos (2,75 a 2,73 Ga; Barros *et al.* 2009; Feio *et al.* 2012).

O Domínio Rio Maria (Figura 2.1c), formado durante o final do Mesoarqueano (3,0 a 2,86 Ga; Pimentel & Machado 1994; Macambira & Lafon 1995), é constituído por *greenstone belts* (Supergrupo Andorinhas; Huhn *et al.* 1988) e por quatro principais grupos de granitoides arqueanos (Althoff *et al.* 2000; Leite *et al.* 2004; Dall’Agnol *et al.* 2006; M.A. Oliveira *et al.* 2009; Almeida *et al.* 2011, 2013): (1) Séries TTGs formadas num intervalo de cerca de 50 Ma, possivelmente em dois episódios distintos, datando o mais antigo de $2,96 \pm 0,02$ Ga e o mais jovem de $2,93 \pm 0,02$ Ga; (2) granitoides com alto Mg do tipo sanukitóide, principalmente, granodioritos (~2,87 Ga); (3) leucogranodioritos e leucomonzogranitos cálcico-alcalinos enriquecidos em Ba e Sr (~2,87 Ga); (4) leucogranitos potássicos (~2,86 Ga). Além disso, o Domínio Rio Maria é seccionado por granitos anorogênicos paleoproterozóicos da Suíte Jamon (Dall’Agnol *et al.* 2005).

A Suíte Jamon é formada por seis corpos graníticos discordantes constituídos por rochas isotrópicas, colocadas em elevado nível crustal, de composição monzogranítica a, subordinadamente, sienogranítica (Gastal 1987; Dall’Agnol *et al.* 1999a, c, 2005; Almeida *et al.* 2006, 2007; D.C. Oliveira *et al.* 2009), classificados como granitos tipo A oxidados (Dall’Agnol *et al.* 2005; Dall’Agnol & Oliveira 2007). Estes corpos seccionam as diferentes unidades arqueanas e, nas regiões de contato, há evidências de alto contraste de viscosidade, pois são encontrados xenólitos angulosos e com contatos abruptos das rochas encaixantes. O acentuado contraste térmico dos magmas graníticos e as rochas encaixantes arqueanas

favoreceu o metamorfismo de contato, que atingiu a fácies hornblenda hornfels (Soares, 1996; Dall'Agnol *et al.* 2005). Além disso, enxames de diques máficos, intermediários e félsicos são encontrados associados com essa suíte (Gastal 1988; Silva Jr. *et al.* 1999; Dall'Agnol *et al.* 2005). Os granitos da suíte possuem idades de cristalização e colocação próximas de 1,88 Ga, determinadas pelos métodos U/Pb e Pb/Pb em zircão e Pb/Pb em rocha total (Machado *et al.* 1991; Barbosa *et al.* 1995; Dall'Agnol *et al.* 1999b). São eles: Marajoara (Rocha Jr. 2004), Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1997, 1999a, c), Musa (Gastal 1987 1988; Dall'Agnol *et al.* 1999a), Manda Saia (Leite 2001), Bannach (Huhn *et al.* 1988; Duarte 1992; Almeida 2005; Almeida *et al.* 2006, 2007) e Redenção (Montalvão *et al.* 1982; Vale & Neves 1994; Barbosa *et al.* 1995; Oliveira *et al.* 2002, 2005; Oliveira 2006; D.C. Oliveira *et al.* 2009, 2010a). A disposição dos corpos pode ser visualizada na figura 2.1c.

GEOLOGIA DO GRANITO BANNACH

O Granito Bannach é um batólito isotrópico de forma elíptica com aproximadamente 800 km² de área, com seu eixo principal medindo 40 km, orientado na direção NNW. O corpo secciona a foliação regional E-W das unidades arqueanas nas quais está colocado (Almeida *et al.* 2006). Na região norte e nordeste da área o Granito Bannach é intrusivo no Trondhjemitógeno Mogno (Huhn *et al.* 1988; CPRM 2000; Almeida *et al.* 2011) e em rochas sanukitóides da Suíte Rio Maria (Oliveira M.A. *et al.* 2010); a nordeste, sul e sudeste secciona o Tonalito Arco Verde ou outras associações TTG (Duarte 1992; CPRM 2000; Almeida *et al.* 2011). *Grennstone belts* do Supergrupo Andorinhas encontram-se a noroeste do maciço. No centro-leste e sul, o Granito Bannach secciona o leucogranito potássico Mata Surrão (Duarte 1992; Lafon *et al.* 1994; Althoff *et al.* 2000; Almeida *et al.* 2010) e em sua borda centro-oeste o contato com as encaixantes não é exposto. É comum encontrar nas zonas de contato enclaves majoritariamente angulosos e por vezes arredondados das encaixantes inclusos no Granito Bannach. O formato anguloso dos enclaves, bem como o contato brusco entre o Granito Bannach e as unidades adjacentes sugerem um alto contraste de viscosidade e temperatura entre as rochas durante a colocação do plúton Bannach (Almeida *et al.* 2006; Oliveira *et al.* 2008).

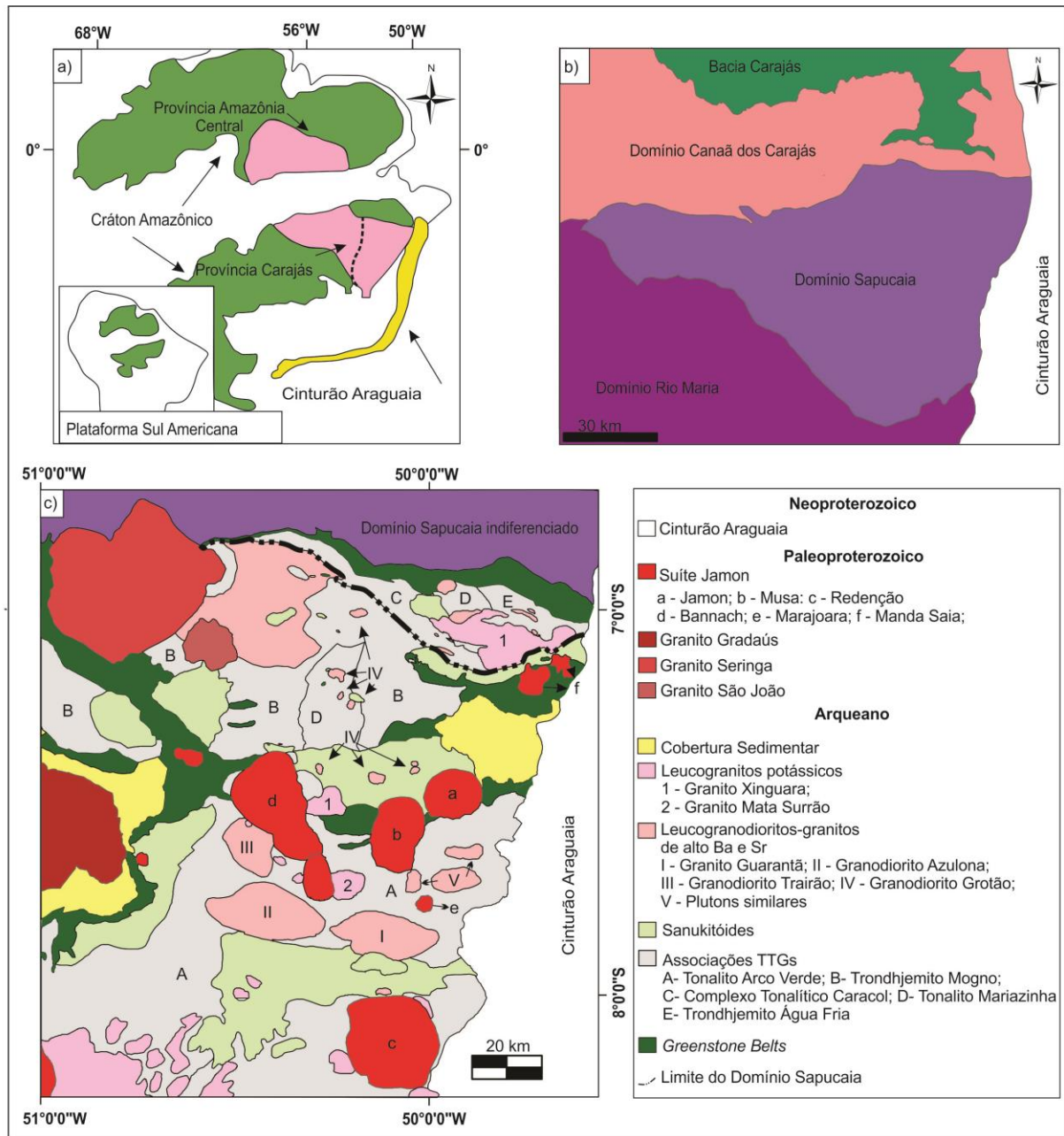


Figura 2.1: a) Localização da Província Carajás no Cráton Amazônico; b) Compartimentação tectônica da Província Carajás proposta por Dall’Agnol *et al.* (2013); c) Mapa geológico do Domínio Rio Maria (Dall’Agnol *et al.* 2006; M.A. Oliveira *et al.* 2009; Almeida *et al.* 2011, modificado)

Um estudo baseado em imagens de radar, em conjunto com dados geofísicos aeroradiométricos, permitiu inferir que três intrusões principais coalescentes alinhadas na direção NW-SE deram origem ao maciço Bannach (Almeida *et al.* 2006). Esta hipótese foi fortalecida por evidências adicionais obtidas em levantamento gravimétrico da porção norte do corpo (Oliveira *et al.* 2008).

Foram identificadas no corpo Bannach 8 fácies monzograníticas (Almeida *et al.* 2006) com granulação e conteúdo variável de minerais máficos: granito cumulático equigranular (GC), biotita-anfibólio-monzogranito equigranular grosso (BAMzG), anfibólio-biotita-

monzogranito equigranular grosso (ABMzG), biotita-monzogranito porfirítico (BMzP), leucomonzogranito equigranular grosso (LMzG), leucomonzogranito equigranular médio precoce (LMzMp), leucomonzogranito equigranular médio tardio (LMzMt) e leucomonzogranito equigranular fino (LMzF). As informações a seguir foram obtidas em Almeida *et al.* (2006), complementadas com observações feitas em campo pelo autor e colaboradores do GPPG.

Os GC apresentam granulação grossa, são encontrados pontualmente na área como enclaves (autólitos) inseridos nos ABMzG com os quais exibem contato brusco.

As rochas da fácies BAMzG possuem textura equigranular grossa dominante, mas, por vezes, assumem caráter porfirítico. Estão comumente associadas com a fácies ABMzG e, raramente, com as fácies BMzP e LMzF. Nas duas últimas, a fácies BAMzG geralmente ocorre em forma de enclaves. As fácies BAMzG, ABMzG e LMzG mostram, por vezes, visível transição, gradando de fácies mais ricas em minerais máficos para mais félsicas. Os contatos transicionais sugerem que processos de cristalização fracionada controlaram as relações entre BAMzG e ABMzG. Além disso, tais feições indicam baixo contraste de viscosidade entre os líquidos formadores destas fácies e implicam que, quando o líquido LMzG foi colocado em contato com os BAMzG e ABMzG, estes últimos não estavam totalmente cristalizados.

As rochas da fácies BMzP possuem marcante desenvolvimento de textura rapakivi no contato (gradacional) com LMzG e em volta de enclaves arredondados de LMzG. Este desenvolvimento localizado da textura rapakivi, que também é observado em torno dos enclaves de LMzF nos ABMzG, pode ser explicado por processo de *mingling* entre os líquidos das diferentes fácies graníticas (Hibbard 1995). A interação entre dois líquidos de composições diferentes (*mingling*) também é notada em enclaves de ABMzG com contatos interdigitados ou difusos com rochas da fácies LMzF e em veios de LMzF com fenocristais esparsos de feldspato potássico, vindos do LMzG ao qual está cortando.

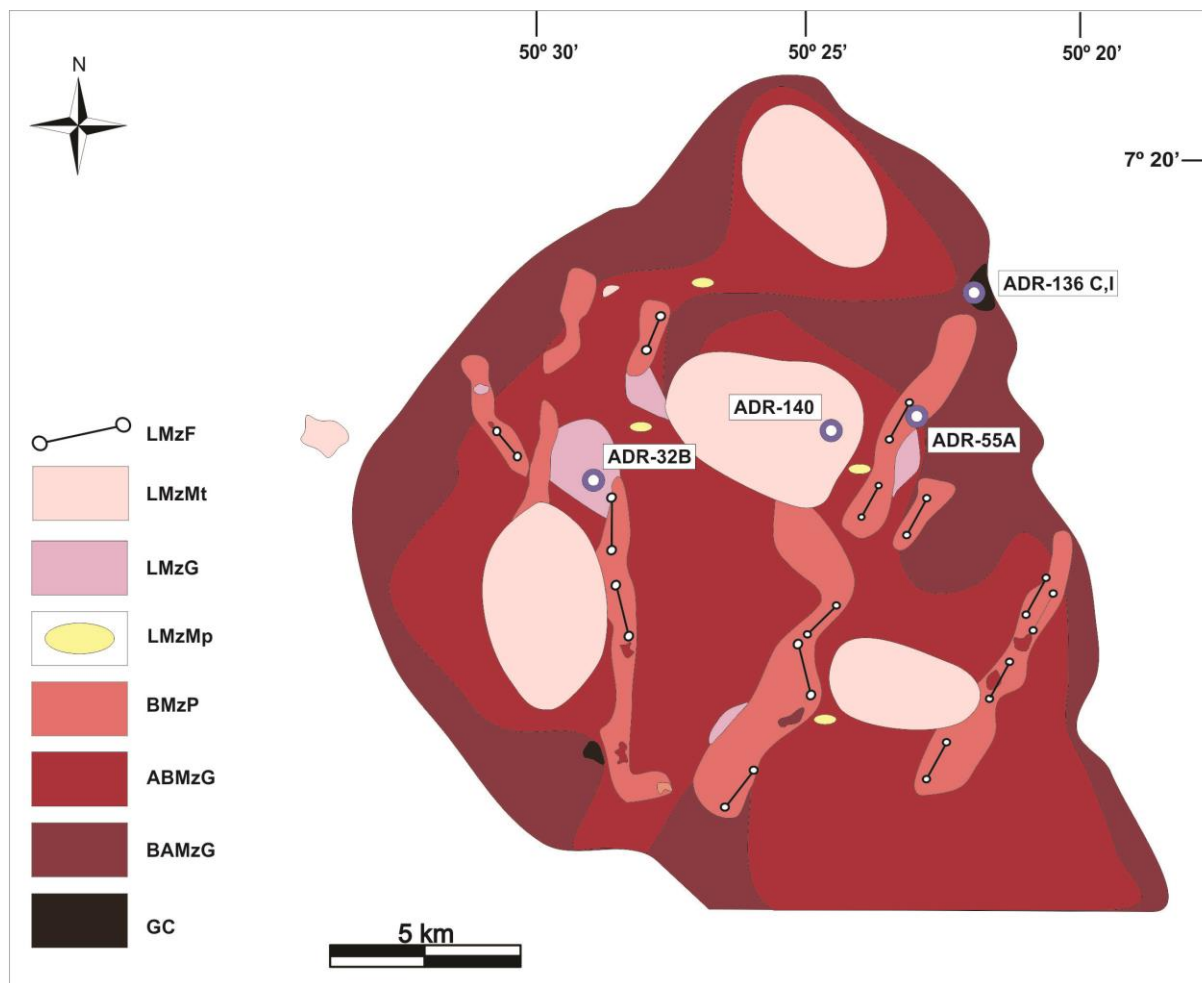
As rochas da fácies LMzF contém por vezes fenocristais dispersos de feldspatos e, nestes casos, podem ser confundidas com rochas da fácies BMzP. Quanto à disposição no campo, os LMzF, além de se apresentarem em veios cortando as fácies BAMzG, LMzG e BMzP, também podem exibir contatos transicionais com BMzP.

A variedade LMzM foi subdividida em duas fácies, devido a diferenças na ocorrência e mineralogia. As rochas encontradas como enclaves nos ABMzG, sem evidências de *mingling*, foram consideradas precoces (LMzMp) na evolução do granito. Já as rochas aflorantes na forma de estruturas circulares, no centro do batólito e com maior expressão

areal, são consideradas mais tardias (LMzMt) e mais evoluídas geoquimicamente em relação ao ABMzG.

No geral, o Granito Bannach apresenta zoneamento composicional, que pode ser observado no mapa faciológico (Figura 2.2), no qual as fácies com maior teor modal de minerais ferromagnesianos tendem a se concentrar nas regiões periféricas do maciço, enquanto que as fácies mais félsicas estão dispostas em sua maioria no centro do batólito (Almeida *et al.* 2006).

Oliveira *et al.* (2008) realizaram estudos gravimétricos, radiométricos e de suscetibilidade magnética no corpo Bannach e concluíram que o maciço é composto por três pulsos magmáticos. No primeiro, o magma ascendeu por diques controlados por fraturas pré-existentes e fracionou *in situ* após sua colocação em porções rasas da crosta, gerando monzogranitos equigranulares grossos com variado conteúdo modal de biotita e hornblenda. Os líquidos formadores do segundo pulso provavelmente migraram pelo mesmo sistema de diques, porém correspondiam a um magma ligeiramente mais jovem e evoluído, que gerou as fácies BMzP e LMzF. Finalmente, também esteve provavelmente presente no processo de colocação um sistema de falhas anelares que permitiu a colocação tardia da fácies LMzMt, como pequenas intrusões semicirculares, volumetricamente menores e em padrão geomorfológico em forma de anfiteatro nas partes centrais do corpo Bannach (Almeida *et al.* 2006). Os estudos gravimétricos revelaram que o corpo Bannach possui forma tabular (*sheeted-like*) e se assemelha neste aspecto aos corpos de clássicos granitos rapakivi da Fennoscandia (Oliveira *et al.* 2008, 2010a).



GC—Granito Cumulático; BAMzG—biotita-anfibólio-monzogranito equigranular grosso; ABMzG—anfíbólio-biotita-monzogranito equigranular grosso; BMzP—biotita-monzogranito porfírico; LMzG—leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp—leucomonzogranito equigranular médio precoce; LMzMt—leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF—leucomonzogranito equigranular fino.

Figura 2.2: Mapa faciológico da porção norte do Granito Bannach (Almeida *et al.* 2006) com a localização das amostras analisadas por microsonda e MEV (este trabalho).

PETROGRAFIA

O estudo petrográfico a seguir é, sobretudo, um complemento e aprimoramento da petrografia realizada em maior detalhe por Almeida *et al.* (2006), e serviu de suporte para o estudo de química mineral realizado neste trabalho. Sendo assim, foram selecionadas e confeccionadas lâminas polidas de 17 amostras representativas das diversas fácies do Granito Bannach (não foi possível obter amostra da fácies leucomonzogranito médio precoce e a composição modal desta fácies apresentada na Tabela 2.1 deve-se a Almeida *et al.* 2006). Dentre estas, foram escolhidas 7 amostras com estudo geoquímico anterior (Almeida *et al.* 2006), para realização da química mineral. Análises modais foram efetuadas em todas as amostras, com uma média de 2000 pontos por lâmina. Os dados modais obtidos permitiram classificar as rochas de acordo com as recomendações de Le Maitre *et al.* (2002).

Composições modais e classificação

As composições modais obtidas (Tabela 2.1), quando plotadas nos diagramas Q-A-P e Q-A+P-M' (Le Maitre *et al.* 2002), mostram variações restritas e se situam todas no campo dos monzogranitos (Figura 2.3). Os contrastes texturais e no conteúdo e natureza de minerais ferromagnesianos permitiram subdividir o Granito Bannach nas fácies mencionadas anteriormente, cujas composições modais constam da Tabela 2.1.

As diversas fácies do Granito Bannach apresentam quartzo, plagioclásio (Pl) e feldspato potássico (Fk) como constituintes essenciais. Biotita e anfibólio, este limitado às fácies mais precoces, são os principais minerais máficos. Zircão, titanita, apatita, allanita, magnetita e ilmenita são acessórios primários, enquanto que clorita, sericita, muscovita e fluorita figuram como secundários. De acordo com os critérios propostos em Le Maitre *et al.* (2002), as rochas do Granito Bannach são hololeucocráticas a leucocráticas, com exceção do GC. Almeida *et al.* (2006) denominaram de leucogranitos apenas as variedades com <5% de máficos (Streckeisen 1976, sua Figura 2.3), tendo em vista que teores modais entre 5 a 20 % de máficos em granitos são considerados normais (Streckeisen 1976; Le Maitre *et al.* 2002). Seguindo rigorosamente este critério, as duas amostras de biotita-monzogranito porfirítico (Tabela 2.1) deveriam também ser classificadas como leucogranitos. Porém, a composição modal média de quatro amostras desta fácies, fornecida por Almeida *et al.* (2006, sua tabela 1), indica teor de máficos > 5%. Observa-se no diagrama Q-P+A-M' (Figura 2.3) nítida separação entre as fácies com biotita e anfibólio e as fácies leucograníticas. Almeida *et al.* (2006) destacaram que, partindo das fácies mais ricas em máficos para os leucogranitos, o aumento moderado no conteúdo de quartzo, diminuição das razões Pl/Fk, decréscimo no teor de anortita do plagioclásio e, principalmente, diminuição gradual do conteúdo de minerais máficos sugerem que processos de cristalização fracionada conduziram a evolução das principais fácies do Granito Bannach.

Tabela: 2.1 Composições modais** das diferentes fácies do Granito Bannach.

Fácies Mineral	GC	BAMzG				ABMzG		BMzP			LMzG			LMzMp	LMzMt			LMzF	
	ADR-136i	ADR-136C	ADR-26	ADR-67	ADR-55A	ADR-100A	ADR-35B	ADR-35B1	ADR-19	ADR-28	ADR-32B	ADR-32B1	ADR-27C*	ADR-140	ADR-140-1	ADR-52	ADR-37	ADR-35A	
Quartzo	26,30	29,70	30,15	28,30	35,72	38,70	41,05	40,65	39,40	35,90	29,50	21,00	32,10	37,00	36,35	32,40	39,35	39,80	
K-feldspato	13,05	23,05	22,30	27,99	25,94	19,90	32,30	30,70	34,70	32,90	40,05	43,70	42,00	32,70	33,70	36,05	30,70	32,30	
Plagioclásio	20,65	33,60	31,20	32,57	32,44	32,20	24,25	24,70	21,55	26,70	26,95	31,70	23,50	25,15	25,45	29,20	28,40	25,55	
Biotita	12,90	3,75	4,60	2,30	3,61	5,40	0,45	0,30	2,10	2,95	1,75	1,60	1,20	3,25	2,50	1,40	0,70	0,65	
Hornblenda	16,95	6,90	9,50	7,07	0,94	1,50	-	-	1,40	0,75	0,05	0,60	0,50	-	-	-	-	-	
Anfibólio Fe-Mg	2,20	0,20	0,25	0,21	x	0,15	-	-	x	x	-	0,05	-	-	-	-	-	-	
Opacos	6,45	2,30	1,40	1,00	0,95	0,75	0,05	0,40	0,20	0,30	0,45	0,35	0,20	0,35	0,40	0,20	x	0,10	
Titanita	-	-	0,15	0,14	0,06	0,05	-	-	0,05	0,05	-	0,05	-	-	-	-	-	-	
Allanita	0,25	0,10	0,10	0,07	0,11	0,15	-	0,05	0,10	0,10	-	0,10	-	0,15	0,30	-	-	-	
Clorita	-	0,05	-	-	-	0,85	1,45	2,40	0,10	-	0,75	0,15	1,50	0,15	0,25	0,60	0,65	1,05	
Muscovita	-	x	x	-	0,06	-	x	0,05	x	x	0,05	-	-	0,15	0,15	-	0,20	-	
Fluorita	0,65	0,05	0,10	0,07	0,06	0,20	0,05	0,40	0,05	0,05	-	0,25	-	0,60	0,30	-	-	0,55	
Albita intergranular	0,10	0,10	x	0,14	x	0,05	0,40	0,30	0,30	0,15	0,40	0,35	0,50	0,20	0,50	0,10	-	-	
Acessórios (Ap + Zrn)	0,50	0,20	0,25	0,14	0,11	0,10	x	0,05	0,05	0,15	0,05	0,10	-	0,30	0,10	0,05	-	-	
Félsicos	60,10	86,45	83,65	89,00	94,10	90,85	98,00	96,35	95,95	95,65	96,90	96,75	98,10	95,05	96,00	97,75	98,45	97,65	
Máficos	39,90	13,55	16,35	11,00	5,90	9,15	2,00	3,65	4,05	4,35	3,10	3,25	3,40	4,95	4,00	2,25	1,55	2,35	
À 100%																			
Quartzo	43,83	34,40	36,04	31,85	37,96	42,62	42,06	42,32	41,19	37,59	30,57	21,78	32,89	39,01	38,06	33,18	39,97	40,76	
K-feldspato	21,75	26,69	26,66	31,50	27,57	21,92	33,09	31,96	36,28	34,45	41,50	45,33	43,03	34,48	35,29	36,92	31,18	33,08	
Plagioclásio	34,42	38,91	37,30	36,65	34,47	35,46	24,85	25,72	22,53	27,96	27,93	32,88	24,08	26,52	26,65	29,90	28,85	26,16	

GC—Granito Cumulático; BAMzG—biotita-anfibólio-monzogranito equigranular grosso; ABMzG—anfibólio-biotita-monzogranito equigranular grosso; BMzP—biotita-monzogranito porfírico;

LMzG—leucomonzogranito equigranular grosso; LMzMp—leucomonzogranito equigranular médio precoce; LMzMt—leucomonzogranito equigranular médio tardio; LMzF—leucomonzogranito equigranular fino

Abreviações: Ap = Apatita, Zrn = zircão, Fe-Mg = Ferromagnésiano, * Almeida *et al.* (2006), ** média de 2000 pontos por lâmina

(x) = minerais presentes na lâmina, mas não detectados na contagem; (-) = minerais ausentes na lâmina.

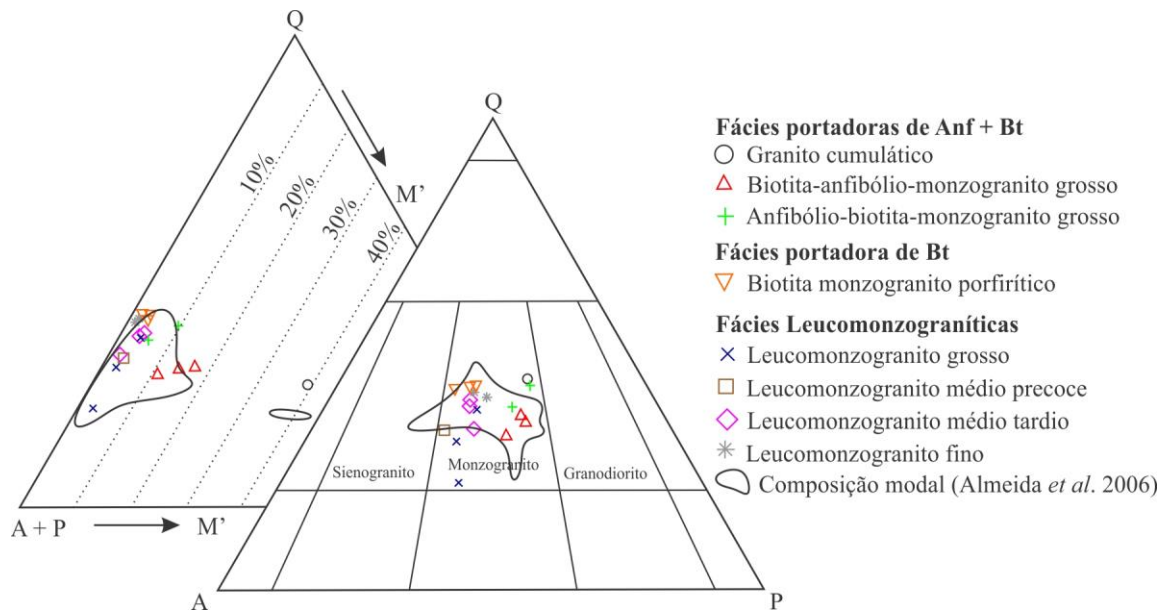


Figura 2.3: Diagramas QAP e Q-A+P-M' (Le Maitre *et al.* 2002) para as diferentes fácies do Granito Bannach. A – feldspato alcalino; P- Plagioclásio; Q - Quartzo; M'= M - (apatita + muscovita + carbonatos); Bt – biotita; Anf – anfibólio.

Aspectos texturais das diversas fácies do Granito Bannach

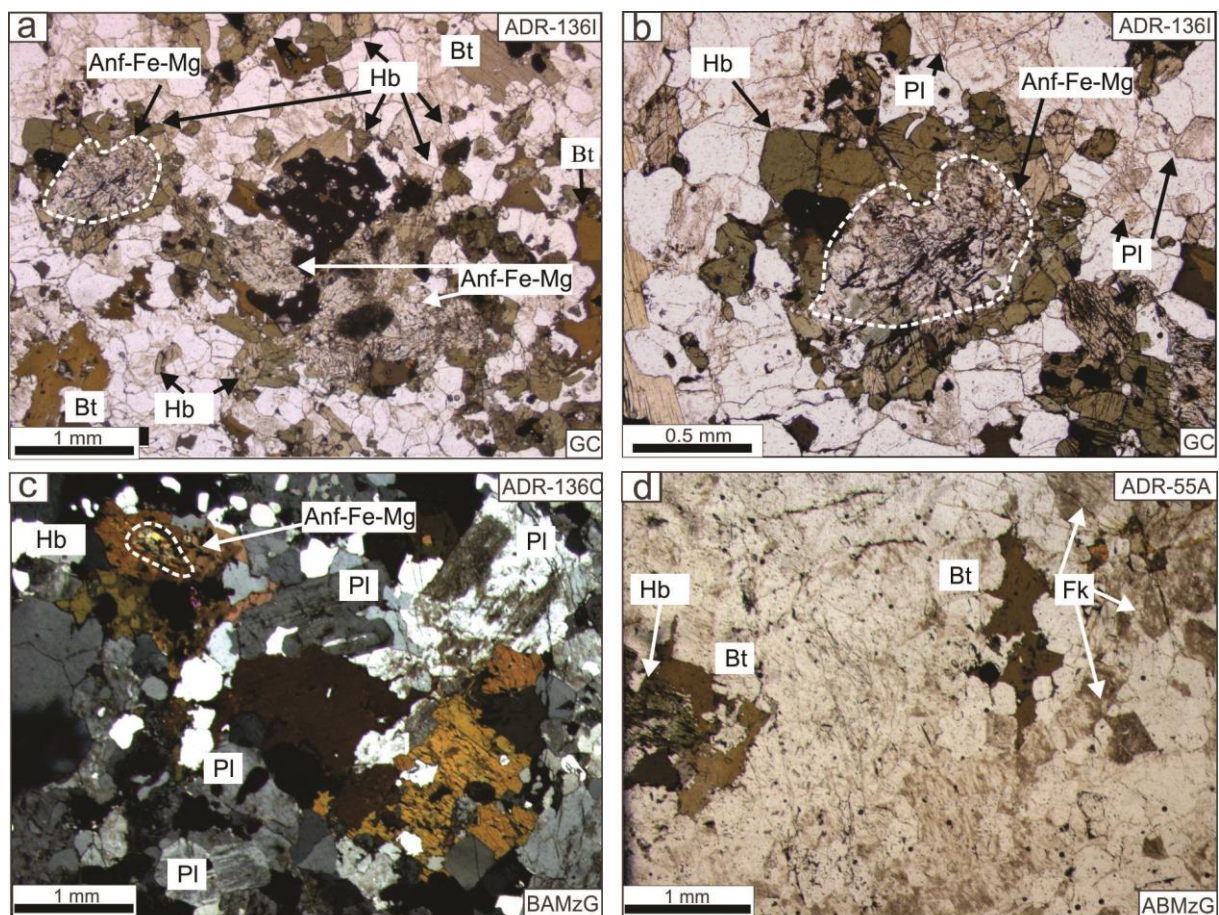
Devido às similaridades composicionais e texturais entre determinadas fácies do Granito Bannach, optou-se por subdividir as fácies em 3 grupos principais: (1) fácies portadoras de anfibólio e biotita, representadas por GC, BAMzG e ABMzG; (2) fácies BMzP, que inclui apenas biotita como mineral varietal; e (3) fácies leucomonzograníticas com diferenças marcantes na granulação, representadas por rochas grossas (LMzG), médias (LMzMp e LMzMt) e finas (LMzF).

Fácies portadoras de anfibólio e biotita (GC, BAMzG e ABMzG)

As rochas desse grupo apresentam textura equigranular grossa hipidiomórfica, com granulação e conteúdo de feldspato potássico aumentando e a quantidade de minerais máficos e plagioclásio diminuindo, todos no sentido GC-BAMzG-ABMzG. Localmente estas rochas desenvolvem textura porfirítica, em virtude da maior dimensão dos feldspatos. Agregados de minerais máficos circundados por cristais de plagioclásio, geralmente sericitizados, são comuns nessas rochas, principalmente nos GC e BAMzG (Figuras 2.4 a, b, c). Nestas fácies, cristais de anfibólio são mais abundantes e, na maioria das amostras (Tabela 2.1), apresentam núcleos incolores formados por finos cristais de anfibólio ferromagnésiano, interpretados como produto da desestabilização de clinopiroxênio (Figuras 2.4a, b, c), fase presente em rochas menos evoluídas dos corpos Jamon, Musa e diques dacíticos a eles associados e também obtida em estudos experimentais no Granito Jamon (Dall'Agnol *et al.* 1999b; Gastal

1987). Na fácies ABMzG, onde a biotita torna-se o máfico predominante, as feições supracitadas tornam-se mais escassas e cristais de feldspato potássico mais comuns (Figura 2.4d).

Almeida (2005) estimou as composições do plagioclásio através do método de Michel Levy e constatou que, em todas as fácies deste grupo, elas mostram zoneamento normal e variam geralmente de andesina sódica (An_{30}) a oligoclásio cálcico (An_{24}) no núcleo dos cristais e de oligoclásio sódico (An_{15}) até albita pura (An_0) nas suas bordas. Composições similares foram obtidas em análises em microsonda eletrônica realizadas pelo autor do presente trabalho, as quais serão discutidas adiante. Dall’Agnol (1982) e Dall’Agnol *et al.* (1999a, c) apresentaram estudo detalhado do zoneamento e variação composicional no plagioclásio das diferentes fácies do Granito Jamon. Em linhas gerais, o comportamento do plagioclásio observado é similar ao que se tem no Granito Bannach, embora tenham sido registradas composições mais cálcicas no corpo Jamon.



PI = plagioclásio; FK= feldspato potássico; Bt = biotita Hb = hornblenda;
Anf-Fe-Mg = anfibólio ferromagnésio (substituição do clinopiroxênio).

Figura 2.4: Aspectos texturais microscópicos das fácies portadoras de anfibólio e biotita; a, b) granito cumulático com agregados de minerais máficos ricos em hornblenda e biotita circundados por plagioclásio geralmente alterado para sericita + epidoto \pm carbonatos. Destacam-se com linhas tracejadas cristais incolores de anfibólios ferromagnésios oriundos da substituição de clinopiroxênio, envolvidos por hornblenda (destaque na figura b); c) amostra da fácies BAMzG, mostrando feições similares, porém, com menor proporção de minerais

máficos e granulação ligeiramente mais grossa; d) Amostra de ABMzG com dominância modal de biotita sobre anfibólio, menor conteúdo de máficos e maior de feldspato potássico. a, b, d - fotomicrografias tomadas com nicóis paralelos; c - com nicóis cruzados.

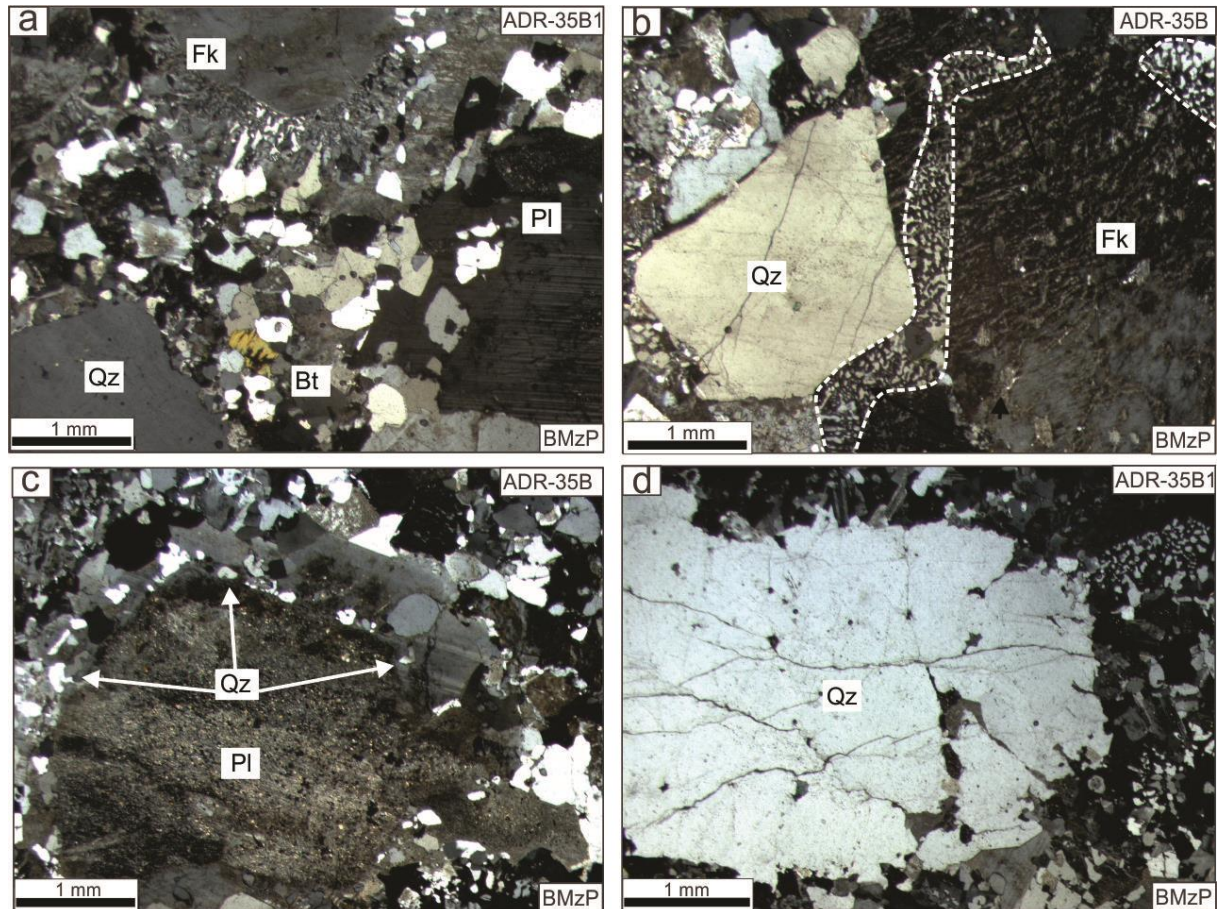
Fácies porfirítica portadora de biotita (BMzP)

Esta fácies é caracterizada por seu caráter porfirítico com a presença de fenocristais euédricos a subédricos de quartzo, plagioclásio e feldspato potássico com dimensões variando de 2 a 20 mm, imersos em uma matriz quartzo-feldspática félsica, a qual representa 50 a 80% da rocha e é constituída, em geral, por cristais de 0,2 a 2 mm (Figura 2.5a). Na matriz, assim como no contato entre fenocristais de quartzo e feldspato potássico, é comum o desenvolvimento de intercrescimentos granofíricos (Figuras 2.5b, d). Por vezes, os fenocristais de plagioclásio mostram nítidas zonas de crescimento e evidências de zoneamento normal com núcleos mais cálcicos alterados e bordas mais sódicas (Figura 2.5c). É comum fenocristais de quartzo exibirem bordas corroídas, que sugerem mudanças rápidas nas condições magmáticas e sua desestabilização, seguida de retomada de crescimento no final da cristalização, quando se formam os cristais mais finos da matriz (Figura 2.5d). Este efeito provavelmente está relacionado à diminuição da pressão, decorrente da rápida ascensão do magma (Dall'Agnol 1982). De acordo com Almeida *et al.* (2006), os cristais de plagioclásio da matriz desta fácies possuem composição similar às das bordas dos cristais de plagioclásio das fácies portadores de anfibólio e biotita (oligoclásio sódico até albita, An_{16-5}). Assim como nas fácies anteriores, são observados agregados de máficos e plagioclásio, porém eles são mais escassos e é marcante a cloritização da biotita.

Fácies leucomonzograníticas (LMzG, LMzMp, LMzMt, LMzF)

Na fácies LMzG observa-se textura granular hipidiomórfica e clara similaridade com as fácies BAMzG e ABMzG em relação ao aspecto dos cristais de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino. Porém, o conteúdo de máficos é contrastante, sendo significativamente menor nos LMzG. Em contrapartida, estes apresentam maior quantidade de feldspato alcalino, o que lhes confere coloração mais rosada do que as das fácies já descritas.

O caráter mais evoluído desta fácies é revelado pelo fato de os cristais de biotita e anfibólio se apresentarem como relíquias com menor dimensão e dispersos entre os minerais essenciais (Figura 2.6a). O processo de cloritização da biotita é relativamente mais intenso nesta fácies. Além disso, cristais de feldspato potássico apresentam em seu interior maior densidade de lamelas peritíticas e nas suas bordas os intercrescimentos granofíricos são ainda mais comuns (Figura 2.6a). Finalmente, os cristais de plagioclásio são ligeiramente mais sódicos ($An \leq 20$).



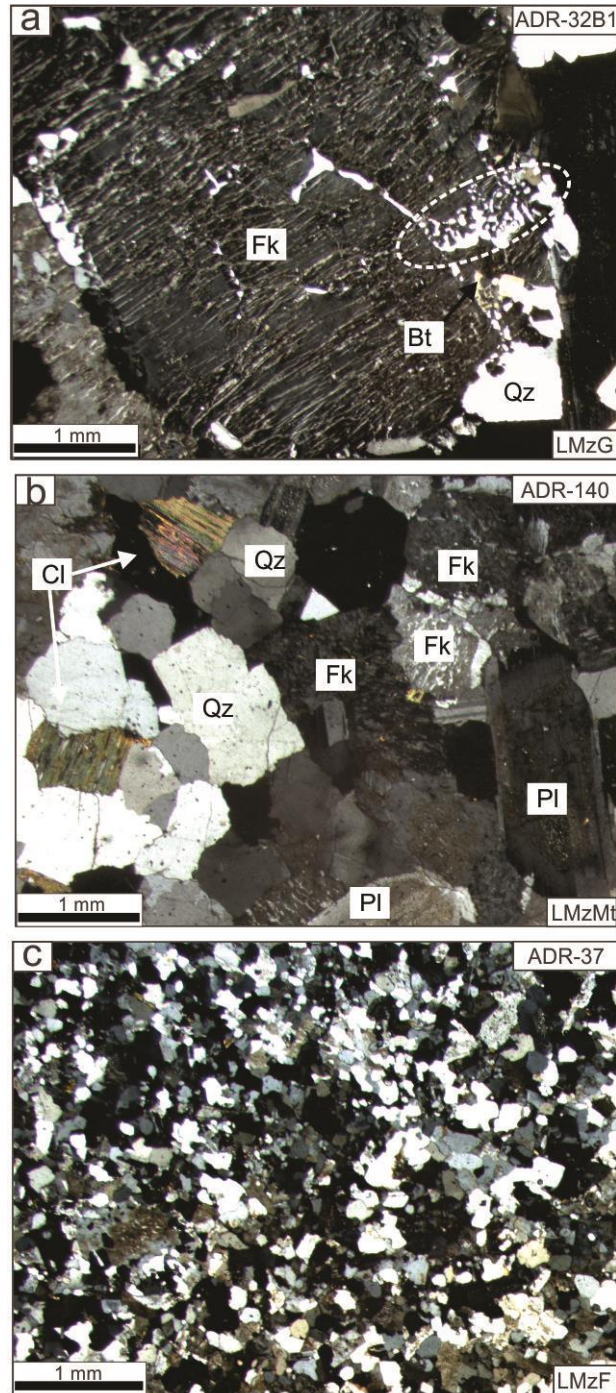
Qz = quartzo; Pl = plagioclásio; Fk = feldspato potássico; Bt = biotita.

Figura 2.5: Aspectos texturais microscópicos da fácies porfirítica portadora de biotita - a) observam-se fenocristais de quartzo de granulação média, plagioclásio e feldspato potássico imersos em uma matriz fina quartzo-feldspática com lamelas de biotita dispersas; b) intercrescimentos granofíbricos no contato de fenocristais de quartzo e feldspato potássico destacados pelas linhas brancas tracejadas; c) fenocristais de plagioclásio mostrando zonas de crescimento reveladas pelo núcleo mais cálcico intensamente alterado, seguido de borda sódica sem evidências de alteração. A passagem entre as duas zonas é marcada por grânulos alinhados de quartzo; d) fenocristal de quartzo com bordas corroídas, englobado por matriz fina, rica em intercrescimentos granofíbricos. Fotomicrografias com nicóis cruzados.

Almeida *et al.* (2006) consideraram as rochas das fácies LMzMp e LMzMt muito semelhantes em termos texturais, destacando seus cristais equigranulares médios, reduzido conteúdo de minerais máficos e textura hipidiomórfica. No entanto, observaram a presença de anfibólio modal (Cf. Tabela 2.1) e de relíquias de piroxênio no LMzMp, o que indicaria que esta fácies seria oriunda de líquidos menos evoluídos que os LMzMt e possivelmente produto do fracionamento direto das fácies portadoras de anfibólio + biotita (Almeida 2005). Os LMzMt apresentam cristais de biotita intensamente cloritizados como mineral máfico (Figura 2.6b). Agregados de plagioclásio cálcico com minerais máficos são ausentes e o plagioclásio mostra-se mais sódico e menos alterado que nas fácies precedentes. Muscovita e fluorita são relativamente comuns nessa fácies, bem como intercrescimentos granofíbricos.

A fácies LMzF apresenta textura equigranular hipidiomórfica a xenomórfica fina (Figura 2.6c) e grande similaridade com a matriz da fácies LMzP. Em algumas amostras,

nota-se o desenvolvimento de textura porfirítica devido às maiores dimensões de cristais de quartzo, plagioclásio e feldspato potássico. Os cristais de biotita são raros e muitas vezes alterados para clorita.



Qz = quartzo; Pl = plagioclásio; Fk = feldspato potássico; Anf = anfibólio; Bt = biotita; Cl = clorita.

Figura 2.6: Aspectos texturais microscópicos das fácies leucomonzograníticas - a) LMzG com notável fenocristal de feldspato potássico com proeminente desenvolvimento de lamelas sódicas (pertitas) e com intercrescimento granofírico em sua borda, destacado pelo círculo tracejado; b) Textura equigranular hipidomórfica média da fácies LMzMt. Observar cristais de biotita cloritizados; c) Textura hipidiomórfica a xenomórfica fina do LMzF. Fotomicrografias com nicóis cruzados.

QUÍMICA MINERAL

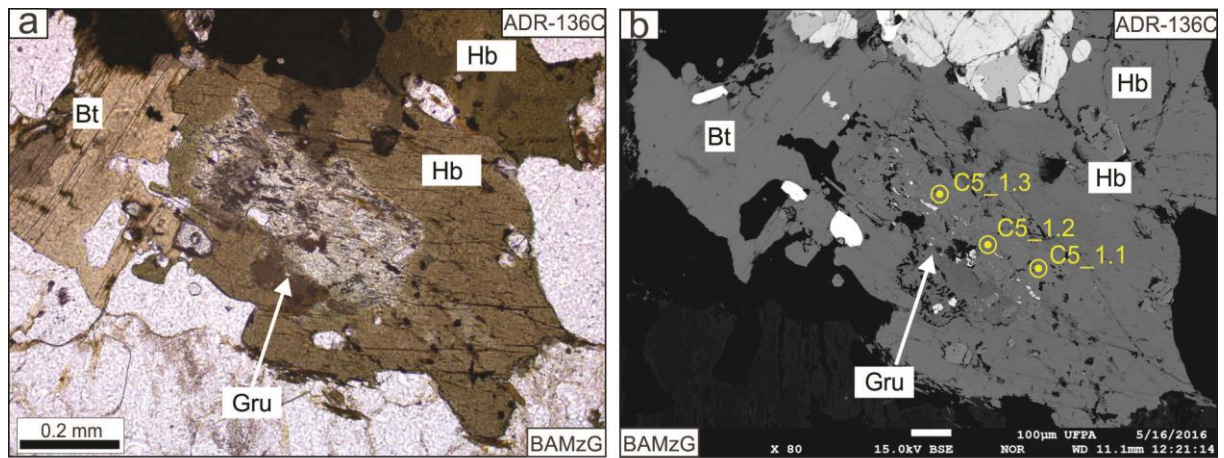
Foram selecionadas 7 amostras representativas de 5 fácies pertencentes ao Granito Bannach para estudos de química mineral. Amostras das demais fácies não foram analisadas porque o grau de alteração de seus principais minerais ferromagnesianos não permitia definir suas composições originais e, portanto, estabelecer comparações com os resultados obtidos nas fácies que tinham sua mineralogia razoavelmente preservada. As amostras escolhidas possuíam estudo petrográfico e geoquímico prévio (Almeida *et al.* 2006). As fácies que tiveram amostras analisadas foram as seguintes: GC (ADR-136i), BAMzG (ADR-136C), ABMzG (ADR-55A), LMzG (ADR-32B, ADR-32B-1) e LMzMt (ADR-140 e ADR-140-1). Os minerais analisados foram: anfibólio, biotita, titanita, plagioclásio, ilmenita e magnetita. Numa primeira etapa, as amostras selecionadas tiveram seus minerais submetidos a estudos texturais e análises semiquantitativas via *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV) Zeiss SIGMA-VP com EDS IXRF modelo Sedona-SD acoplado, pertencente ao Instituto Tecnológico Vale (ITV), cedido em contrato de comodato para o IG-UFGA. As condições de operação do MEV foram: corrente do feixe de elétrons = 80 μ A, voltagem de aceleração constante = 20 kv, distância de trabalho = 8,5 mm, tempo de contagem para análise dos elementos = 30s. As lâminas polidas foram previamente metalizadas com película de carbono de ~20nm no metalizador Quorum Q150T-ES. Os dados obtidos por esse método serviram, sobretudo, como referência para escolha mais precisa dos cristais analisados a seguir em microsonda eletrônica. Tais análises foram realizadas no Laboratório de Microanálises do IG-UFGA, utilizando equipamento da marca Jeol, modelo JXA-8230, por meio de *Wavelength Dispersive Spectroscopy* (WDS). As condições de operação da microsonda para os diferentes minerais analisados foram: tempo de aceleração 15kv, corrente elétrica 20nA, diâmetro do feixe 10 μ m para silicatos e 5 μ m para óxidos. O tempo de análise foi de 20s ou 40s, a depender do mineral e elementos analisados. O efeito de matriz foi corrigido pelo método ZAF. Os cristais usados para análise foram TAP para Si, Al, Mg e Na; PETJ para Cr, Ca, K, Sr; LIF para Ni, Fe, Mn, Ba e Ti; PETH para Cl e V; e LDE1 para F. Os padrões utilizados para os diferentes elementos foram os seguintes: ortoclásio (Si e K), anortita (Al), wollastonita (Ca), Fe₃O₄ (Fe), diopsídio (Mg), sodalita (Na e Cl), rutilo (Ti), rodonita (Mn), vanádio (V), Cr₂O₃ (Cr), biotita (F).

Anfibólio

As fórmulas estruturais dos anfibólios foram calculadas com base em 23 átomos de oxigênio de acordo com os métodos estabelecidos por Leake *et al.* (1997) e Hawthorne *et al.* (2012). O esquema de normalização utilizado foi de 13 cátions menos Ca, Na e K (13eCNK) para os anfibólios cálcicos (Tabela 2.2) e 15 cátions menos Na e K (15eNK) para anfibólios do grupo com Fe-Mg-Mn-Li (Tabela 2.3). As proporções de Fe^{+3} e Fe^{+2} foram calculadas por balanço de massa (Schumacher 1997). Os anfibólios cálcicos da fácies GC e parte daqueles da fácies BAMzG se encaixam nos parâmetros $Ca_B \geq 1,50$; $(Na + K)_A < 0,50$; $Ca_A < 0,50$; e são classificados como ferro-hornblendas (Leake *et al.* 1997), com razões $Fe/(Fe+Mg)$ variando de 0,53 a 0,65 (Figura 2.8a). Nas demais fácies, os anfibólios cálcicos são ferroedenitas e, subordinadamente, hastingsitas $Ca_B \geq 1,50$; $(Na + K)_A \geq 0,50$; $Ti < 0,50$, com razões $Fe/(Fe+Mg)$ variando de 0,62 a 0,80 (Figura 2.8b). Nota-se um aumento nesta razão no sentido das fácies mais ricas em máficos e anfibólio para as mais pobres (GC – BAMzG – ABMzG), porém a fácies LMzG não acompanha este *trend*, pois as razões $Fe/(Fe+Mg)$ de seu anfibólio variam entre 0,60 e 0,70. Em resumo, a composição do anfibólio (Figura 2.8) varia de ferro-hornblenda (GC e parte dos BAMzG) para ferroedenita (a maior parte dos anfibólios analisados das fácies BAMzG e ABMzG e a totalidade dos LMzG) e chega a atingir composição de hastingsita (amostras subordinadas das fácies BAMzG e ABMzG). Tem-se, portanto, uma evolução marcada pela diminuição de Si e aumento de álcalis (Na + K), acompanhada pelo crescimento das razões $Fe/(Fe+Mg)$.

Os anfibólios do grupo Fe-Mg-Mn-Li que conforme os dados petrográficos são provavelmente oriundos da desestabilização do clinopiroxênio, ocorrem geralmente no centro de anfibólios cálcicos (Figura 2.7). São encontrados em maiores teores nas fácies mais ricas em máficos e são raros ou ausentes nas demais fácies. De acordo com Leake *et al.* (1997), são classificados como cummingtonita-grunerita [$(Ca + Na)_B < 1,00$; $(Mg + Fe^{+2}, Mn, Li)_B \geq 1,00$; $Li_B < 1,00$]. Não podem ser confundidos com antofilita porque exibem extinção oblíqua em lâmina delgada, não sendo, portanto, anfibólios ortorrômnicos. Apresentam razões $Fe/(Fe+Mg)$ variando de 0,45 a ~0,57 (Figura 2.9). Em geral os anfibólios cálcicos apresentam variações composicionais significativas do núcleo para borda, com os núcleos mostrando-se ligeiramente mais silicosos e magnesianos e as bordas proporcionalmente mais ferrosas e alcalinas, o que se reflete no crescimento das razões $Fe/(Fe+Mg)$ dos núcleos para as bordas e, localmente, na passagem de ferroedenita para hastingsita (Tabela 2.2). Em termos dos constituintes voláteis, os anfibólios das diferentes fácies mostram em geral conteúdos significativos, mas não muito elevados de F e baixos de Cl, havendo sempre dominância de

OH. Nota-se, porém, na fácies LMzG teores comparativamente mais elevados de F (Tabela 2.2).



Hb = Hornblenda; Gru = grunerita; Bt = biotita.

Figura 2.7: a) Anfibólio incolor (grunerita) oriundo da substituição de clinopiroxênio, envolto por anfibólio cálcico verde; b) Mesma seção mostrando os pontos analisados em microsonda eletrônica (ver tabela 2.3). a) Fotomicrografia obtida em microscópio ótico com nicóis paralelos; b) imagem por elétrons retroespalhados em microsonda eletrônica.

Tabela 2.2: Análises em microsonda eletrônica de anfibólios cálcicos representativos das fácies do Granito Bannach.

Fácies Amostra Análise Tipo	GC ADR-136I					BAMzG ADR-136C					ABMzG ADR-55A					LMzG ADR-32B1			
	C3_1.10	C3_1.8	C3_2.8	C3_2.10	C4_1.5	C3_1.2	C3_1.5	C6_1.3	C6_1.1	C2_2.5	C1_1.3	C1_1.5	C2_1.2	C2_1.5	C2_1.3	C2_1.5	C2_1.7	C2_1.4	C2_1.8
	Fe-Hb núcleo	Fe-Hb borda	Fe-Hb núcleo	Fe-Hb borda	Fe-Hb núcleo	Fe-Edn núcleo	Fe-Edn borda	Fe-Hb núcleo	Fe-Edn borda	Hs borda	Fe-Edn núcleo	Hs borda	Fe-Edn núcleo	Fe-Edn borda	Fe-Edn núcleo	Fe-Edn núcleo	Fe-Edn borda	Fe-Edn núcleo	Fe-Edn borda
SiO ₂ (%peso)	43,76	43,88	43,59	43,11	43,30	42,77	42,04	42,52	41,65	40,89	41,90	40,35	41,75	41,45	41,85	43,04	42,22	43,00	42,69
TiO ₂	1,78	1,58	1,78	1,40	1,85	2,01	1,75	1,98	1,64	1,49	1,46	1,35	1,04	1,79	1,89	1,97	1,81	2,03	1,87
Al ₂ O ₃	7,47	7,27	7,36	6,86	7,55	7,87	7,99	7,88	8,36	8,58	7,74	8,72	7,62	7,72	7,78	7,54	7,72	7,56	7,57
FeO	22,95	23,49	23,70	24,46	23,27	24,46	26,78	25,66	27,05	28,42	28,60	29,28	27,80	28,53	26,74	24,11	26,58	25,14	26,12
MnO	0,69	0,85	0,78	0,73	0,81	0,62	0,68	0,68	0,66	0,68	0,83	0,84	0,72	0,91	0,80	0,72	0,96	0,69	0,87
MgO	7,94	7,53	7,22	6,69	7,06	6,50	4,81	5,78	4,68	3,85	3,82	3,16	4,45	3,60	4,91	6,91	5,09	6,43	5,58
CaO	10,20	10,01	10,00	10,26	10,15	10,31	10,38	10,04	10,27	10,32	10,22	10,28	10,44	10,10	9,90	10,16	10,06	10,29	10,23
Na ₂ O	1,87	2,01	1,99	1,75	1,92	1,88	1,86	1,96	1,89	1,82	1,95	1,96	1,81	1,96	2,13	2,04	2,07	2,05	2,04
K ₂ O	1,06	0,94	1,02	0,97	1,06	1,18	1,13	1,11	1,20	1,24	1,19	1,38	1,30	1,19	1,16	1,15	1,15	1,20	1,16
F	0,53	0,48	0,45	0,46	0,34	0,61	0,41	0,45	0,47	0,46	0,60	0,65	0,66	0,60	0,76	0,98	0,78	0,83	0,97
Cl	0,15	0,17	0,14	0,15	0,17	0,19	0,21	0,21	0,26	0,17	0,24	0,35	0,23	0,22	0,24	0,13	0,19	0,14	0,16
(OH)	1,87	1,96	2,20	3,33	2,67	1,78	1,88	1,80	2,08	2,18	1,72	1,96	2,25	2,11	1,81	1,36	1,54	0,89	1,15
Subtotal:	100,3	100,2	100,2	100,2	100,15	100,2	99,9	100,1	100,2	100,1	100,3	100,28	100,08	100,2	100,0	100,1	100,2	100,3	100,4
O-F-Cl	0,26	0,24	0,22	0,23	0,18	0,30	0,22	0,24	0,26	0,23	0,31	0,35	0,3305	0,30	0,37	0,44	0,37	0,38	0,44
Total	100,00	99,93	100,00	99,95	99,96	99,88	99,69	99,83	99,96	99,87	99,96	99,93	99,746	99,89	99,59	99,67	99,81	99,88	99,95
Fórmula estrutural com base em 23 átomos de oxigênio																			
Si	6,653	6,693	6,680	6,728	6,681	6,601	6,592	6,585	6,532	6,466	6,607	6,434	6,619	6,580	6,571	6,623	6,588	6,606	6,615
Al ^{IV}	1,339	1,307	1,320	1,261	1,319	1,399	1,408	1,415	1,468	1,534	1,393	1,566	1,381	1,420	1,429	1,366	1,412	1,369	1,382
Ti ⁺⁴	0,008	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,025	0,003
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,000	0,001	0,009	0,000	0,053	0,033	0,069	0,024	0,077	0,065	0,046	0,072	0,043	0,024	0,010	0,000	0,008	0,000	0,000
Ti ⁺³	0,195	0,181	0,205	0,153	0,214	0,233	0,207	0,230	0,194	0,178	0,174	0,162	0,124	0,214	0,223	0,218	0,213	0,209	0,215
Fe ⁺³	0,873	0,895	0,828	0,800	0,700	0,696	0,646	0,790	0,738	0,807	0,713	0,770	0,725	0,689	0,765	0,749	0,761	0,718	0,713
Fe ⁺²	2,045	2,101	2,208	2,392	2,303	2,461	2,865	2,533	2,809	2,951	3,059	3,133	2,960	3,098	2,746	2,353	2,707	2,512	2,670
Mn	0,088	0,110	0,101	0,097	0,106	0,081	0,090	0,089	0,087	0,091	0,111	0,113	0,097	0,122	0,106	0,093	0,127	0,089	0,114
Mg	1,799	1,712	1,649	1,557	1,623	1,496	1,123	1,334	1,095	0,908	0,898	0,750	1,051	0,853	1,150	1,586	1,184	1,473	1,288
Soma C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ca	1,661	1,637	1,642	1,715	1,678	1,704	1,744	1,666	1,725	1,749	1,726	1,756	1,773	1,717	1,665	1,674	1,681	1,693	1,698
Na	0,339	0,363	0,358	0,285	0,322	0,296	0,256	0,334	0,275	0,251	0,274	0,244	0,227	0,283	0,335	0,326	0,319	0,307	0,302
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,211	0,230	0,232	0,245	0,252	0,268	0,310	0,255	0,301	0,307	0,323	0,362	0,329	0,321	0,312	0,282	0,308	0,304	0,312
K	0,205	0,182	0,199	0,194	0,208	0,231	0,226	0,220	0,240	0,251	0,238	0,281	0,263	0,240	0,232	0,225	0,228	0,236	0,229
Soma A	0,416	0,412	0,432	0,439	0,459	0,499	0,536	0,475	0,541	0,557	0,561	0,643	0,591	0,562	0,544	0,507	0,536	0,540	0,541
Al _{total}	1,339	1,308	1,329	1,261	1,372	1,431	1,477	1,439	1,545	1,598	1,439	1,638	1,424	1,444	1,439	1,366	1,420	1,369	1,382
Fe/(Fe+Mg)	0,532	0,551	0,573	0,606	0,606	0,622	0,718	0,655	0,719	0,719	0,773	0,807	0,784	0,784	0,705	0,597	0,696	0,630	0,675
Mg/(Mg+Fe)	0,468	0,449	0,427	0,394	0,394	0,378	0,282	0,345	0,281	0,281	0,227	0,193	0,216	0,216	0,295	0,403	0,304	0,370	0,325

GC = granito cumulático; BAMzG = biotita-anfibólio-monzogranito grosso; ABMzG = anfibólio-biotita-monzogranito grosso; LMzG = leucomonzogranito grosso; Fe-Hb = ferro-hornblenda; Fe-Edn = ferro-edenita; Hs = hastingsita.

Tabela 2.3: Análises em microsonda eletrônica de anfibólios ferromagnesianos representativos do Granito Bannach.

Fácies Amostra Análise Tipo	GC ADR-136i				BAMzG ADR-136C			ABMzG ADR-55A	
	C3_3.1	C3_3.5	C4_3.2	C4_3.6	C5_1.1	C5_1.2	C5_1-3	C6_2.2	C6_2.3
	Gru	Cum	Cum	Gru	Gru	Gru	Gru	Gru	Gru
SiO ₂ (%peso)	50,90	50,47	51,83	51,22	51,05	51,22	51,44	50,81	50,72
TiO ₂	0,07	0,09	0,13	0,04	0,07	0,10	0,06	0,12	0,05
Al ₂ O ₃	0,54	1,18	0,44	0,37	0,61	0,69	0,54	0,50	0,77
FeO	31,84	30,94	30,75	32,43	32,70	31,86	32,42	33,85	32,66
MnO	1,91	1,85	1,87	2,09	1,69	1,68	1,71	2,16	1,99
MgO	9,63	10,26	11,47	9,78	9,78	9,89	10,20	8,53	8,47
CaO	1,83	2,16	1,26	1,07	1,73	2,13	1,37	1,37	2,77
Na ₂ O	0,22	0,38	0,21	0,16	0,26	0,24	0,24	0,25	0,31
K ₂ O	0,02	0,06	0,00	0,01	0,02	0,05	0,02	0,00	0,04
F	0,21	0,23	0,19	0,11	0,21	0,20	0,27	0,45	0,36
Cl	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	0,03
(OH)	2,87	2,26	1,90	2,23	1,89	1,86	1,73	1,90	1,75
Subtotal:	100,1	99,9	100,1	99,5	100,0	99,9	100,03	100,0	99,9
O-F-Cl	0,09	0,10	0,08	0,05	0,09	0,09	0,12	0,20	0,16
Total	99,97	99,80	99,98	99,48	99,94	99,84	99,91	99,76	99,76
Fórmula estrutural com base em 23 átomos de oxigênio									
Si	7,940	7,807	7,917	7,978	7,891	7,905	7,925	7,916	7,854
Al ^{IV}	0,060	0,193	0,079	0,022	0,109	0,095	0,075	0,084	0,141
Ti ⁺⁴	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,040	0,022	0,000	0,045	0,003	0,031	0,023	0,008	0,000
Ti ⁺³	0,008	0,011	0,011	0,005	0,008	0,011	0,007	0,014	0,001
Fe ⁺³	0,000	0,023	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,121	0,224
Fe ⁺²	2,459	2,336	2,134	2,403	2,507	2,464	2,403	2,591	2,558
Mn	0,252	0,242	0,242	0,276	0,221	0,219	0,224	0,285	0,261
Mg	2,240	2,366	2,613	2,272	2,255	2,275	2,343	1,981	1,956
Soma C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Fe ⁺²	1,695	1,643	1,794	1,821	1,713	1,648	1,773	1,697	1,447
Ca	0,305	0,357	0,206	0,179	0,287	0,352	0,227	0,229	0,460
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,074	0,093
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,065	0,114	0,061	0,049	0,079	0,071	0,071	0,000	0,000
K	0,003	0,012	0,000	0,002	0,004	0,010	0,005	0,000	0,008
Soma A	0,068	0,126	0,061	0,051	0,083	0,081	0,076	0,000	0,008
Al _{total}	0,100	0,215	0,079	0,068	0,111	0,126	0,098	0,092	0,141
Fe/(Fe+Mg)	0,523	0,497	0,450	0,514	0,526	0,520	0,506	0,567	0,567
Mg/(Mg+Fe)	0,477	0,503	0,550	0,486	0,474	0,480	0,494	0,433	0,433

GC = granito cumulático; BAMzG = biotita-anfibólio-monzogranito grosso;

ABMzG = anfibólio-biotita-monzogranito grosso; Cum = cummingtonita; Gru = grunerita.

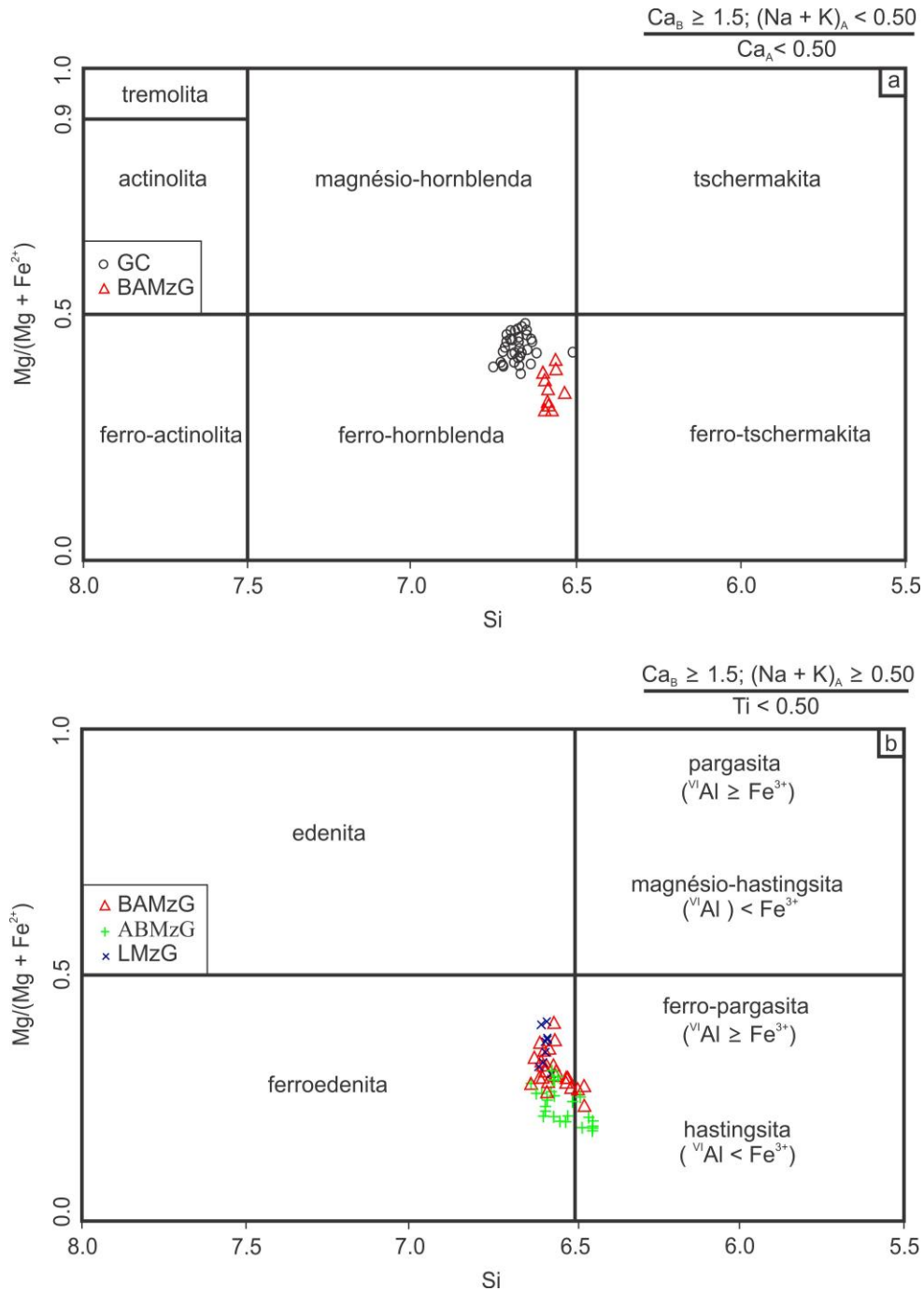


Figura 2.8: Classificação de anfibólios cálcicos (Leake *et al.* 1997) do Granito Bannach a) Diagrama para anfibólios que se enquadram em $Ca_B \geq 1,50$; $(Na + K)_A < 0,50$; $Ca_A < 0,50$; b) Diagrama para anfibólios que se enquadram em $Ca_B \geq 1,50$; $(Na + K)_A \geq 0,50$; $Ti < 0,50$.

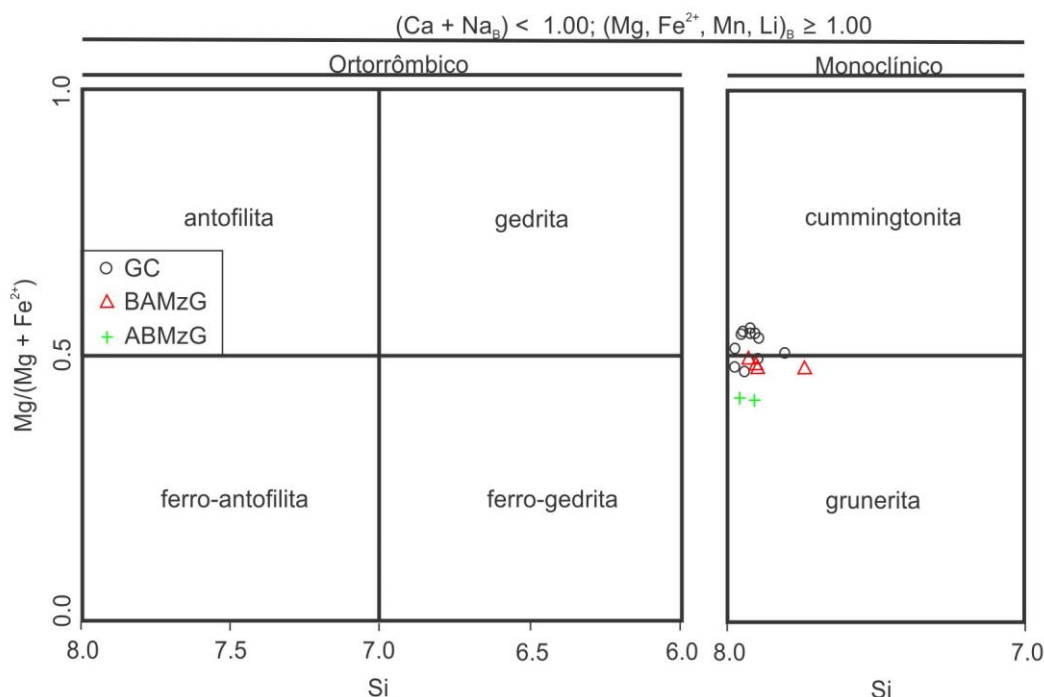


Figura 2.9: Diagrama de classificação para anfibólio com Mg-Fe-Mn-Li (Leake *et al.* 1997) do Granito Bannach.

Biotita

As fórmulas estruturais de biotita foram calculadas com base em 22 átomos de oxigênio e o ferro total foi assumido como sendo FeO. O diagrama $Fe/(Fe+Mg)$ vs. Al^{IV} (Deer *et al.* 1992) revela que as biotitas do Granito Bannach são ferrosas, ou seja mostram dominância de Fe sobre Mg, e aquelas da fácies LMzGMt se aproximam do vértice das annitas (Figura 2.10a). Observa-se no diagrama que as biotitas se subdividem em três grupos, distinguidos com base na razão $Fe/(Fe+Mg)$. No primeiro grupo, representado pela fácies GC, esta razão varia de 0,62 a 0,67. No segundo grupo, que compreende as fácies BAMzG, ABMzG e LMzG, a razão situa-se entre 0,72 e 0,80. Por fim, o terceiro grupo, composto por amostras da fácies LMzMt, possui biotitas com composições mais anníticas com razões extremas, variando de 0,89 a 0,91. Estas altas razões são devidas não a conteúdos mais elevados de FeO e sim aos valores extremamente baixos de MgO. O Al^{IV} é praticamente constante em todas as fácies, com variação de 2,22 a 2,35, porém a biotita da fácies BMzMt é notavelmente enriquecida em Al_2O_3 e isto se reflete nos seus valores de Al^{VI} e Al_{total} que são nitidamente superiores (Tabela 2.4). No diagrama Mg x Alt (Figura 2.10b; campos de Nachit *et al.* 1985), observa-se que em função dos valores mais elevados de Alt, a biotita da fácies LMzMt se situa na transição entre os campos alcalino a subalcalino, o que a diferencia daquelas das demais fácies, que plotam apenas no campo alcalino. Além disso, a biotita da fácies LMzMt exibe valores extremamente baixos de MgO (Tabela 2.4; Figura 2.10b). No diagrama ternário $(FeO_t+MnO)-(10*TiO_2)-$

MgO (Figura 2.10c; campos de Nachit 1994), as composições das biotitas incidiram no campo das biotitas magmáticas primárias, sugerindo que após o final da cristalização do corpo não houve reequilíbrio acentuado deste mineral. Tal como observado no anfibólio, nas biotitas de todas as fácies $F > Cl$, sendo que na fácies LMzG o contraste entre F e Cl é menos acentuado. Os conteúdos mais elevados de F foram registrados em biotita da fácies ABMzG e, localmente, BMzMt (Tabela 2.4).

Tabela 2.4: Análises em microsonda eletrônica de biotita representativas das principais fácies do Granito Bannach.

Fácies Amostra Análise	GC ADR-136I				BAMzG ADR-136C				ABMzG ADR-55A				LMzG ADR-32B ADR-32B1				LMzMt ADR-140 ADR-140-1			
	C3_1.1	C4_1.2	C4_2.1	C5_1.2	C1_1.2	C1_1.5	C5_1.1	C5_1.4	C1_1.1	C1_2.1	C2_1.2	C2_1.3	C2_1.1	C2_1.4	C2_2.2	C2_4.3	C1_1.1	C3_1.3	C1_1.1	C3_1.1
	SiO ₂ (%peso)	36,36	36,09	36,30	36,91	35,39	35,37	35,48	35,83	35,32	35,24	35,17	35,28	35,48	36,07	36,03	35,44	35,66	35,97	35,30
TiO ₂	3,47	4,00	3,67	3,75	4,20	4,11	4,52	4,06	3,88	4,15	3,77	4,09	3,56	3,93	3,47	3,64	3,78	2,77	3,71	3,21
Al ₂ O ₃	12,45	12,00	12,21	12,08	12,47	12,39	12,55	12,31	12,32	12,23	12,23	12,16	12,66	12,24	12,29	12,66	15,48	16,21	14,40	15,56
FeO	26,13	26,16	26,44	25,45	29,88	29,59	29,04	28,34	30,85	30,41	31,01	30,65	29,60	29,11	29,16	29,91	28,72	29,13	30,70	29,72
MnO	0,35	0,32	0,28	0,34	0,35	0,33	0,36	0,31	0,30	0,47	0,41	0,39	0,52	0,50	0,56	0,30	0,40	0,62	0,43	0,47
MgO	8,05	8,07	7,19	8,61	4,70	4,99	5,17	6,07	4,10	4,36	4,30	4,28	5,71	5,16	5,48	5,17	1,90	1,80	1,72	1,92
CaO	0,00	0,03	0,03	0,00	0,04	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	0,00
Na ₂ O	0,03	0,08	0,03	0,09	0,05	0,08	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,05	0,06	0,05	0,06	0,14	0,08	0,14	0,06
K ₂ O	9,26	9,24	9,17	9,28	9,01	8,92	9,23	9,25	9,10	9,16	8,97	9,02	8,43	9,03	9,27	8,90	9,11	9,28	9,05	9,27
F	0,64	0,53	0,57	0,63	0,29	0,26	0,45	0,69	0,95	0,79	0,75	0,80	0,28	0,27	0,52	0,29	0,65	0,81	0,39	0,56
Cl	0,22	0,20	0,23	0,21	0,19	0,26	0,19	0,21	0,30	0,28	0,29	0,31	0,31	0,30	0,26	0,29	0,22	0,17	0,46	0,26
(OH)	3,20	3,43	3,96	2,69	3,48	3,53	2,98	2,75	3,02	3,04	3,12	3,08	3,56	3,29	3,10	3,32	3,60	3,33	3,73	3,77
Subtotal:	100,17	100,14	100,07	100,04	100,06	99,87	100,02	99,89	100,24	100,23	100,09	100,14	100,16	99,97	100,20	100,00	99,65	100,18	100,05	100,14
O-F-Cl	0,32	0,27	0,29	0,31	0,16	0,17	0,23	0,34	0,47	0,40	0,38	0,40	0,18	0,18	0,28	0,19	0,32	0,38	0,27	0,29
Total	99,85	99,88	99,78	99,72	99,89	99,70	99,78	99,55	99,77	99,83	99,71	99,73	99,97	99,78	99,93	99,81	99,33	99,80	99,78	99,85
Fórmula estrutural com base em 22 átomos de oxigênio																				
Si	5,709	5,685	5,753	5,744	5,620	5,674	5,643	5,684	5,695	5,671	5,681	5,685	5,663	5,747	5,740	5,670	5,688	5,714	5,699	5,667
Al ^{IV}	2,291	2,228	2,247	2,216	2,335	2,326	2,352	2,302	2,305	2,320	2,319	2,310	2,337	2,253	2,260	2,330	2,312	2,286	2,301	2,333
Al ^{VI}	0,013	0,000	0,034	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,037	0,000	0,010	0,000	0,044	0,045	0,048	0,057	0,599	0,749	0,439	0,607
Ti	0,410	0,473	0,438	0,439	0,502	0,496	0,541	0,485	0,470	0,503	0,457	0,495	0,428	0,471	0,415	0,438	0,453	0,331	0,451	0,387
Fe	3,431	3,447	3,504	3,313	3,968	3,970	3,863	3,760	4,160	4,093	4,188	4,130	3,950	3,879	3,886	4,002	3,832	3,870	4,145	3,984
Mn	0,047	0,043	0,038	0,044	0,047	0,045	0,048	0,042	0,042	0,063	0,056	0,054	0,070	0,068	0,076	0,041	0,054	0,083	0,058	0,063
Mg	1,884	1,895	1,698	1,997	1,113	1,193	1,227	1,436	0,985	1,045	1,035	1,028	1,358	1,225	1,302	1,233	0,451	0,426	0,413	0,458
Ca	0,000	0,005	0,005	0,001	0,006	0,007	0,003	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,003	0,001	0,001	0,006	0,000
Na	0,010	0,023	0,010	0,026	0,017	0,025	0,015	0,024	0,024	0,025	0,024	0,027	0,014	0,018	0,015	0,017	0,042	0,024	0,044	0,019
K	1,854	1,857	1,854	1,842	1,824	1,825	1,872	1,871	1,871	1,880	1,849	1,854	1,716	1,836	1,884	1,816	1,853	1,881	1,864	1,897
OH*	3,621	3,684	3,656	3,635	3,805	3,798	3,723	3,600	3,435	3,520	3,539	3,511	3,778	3,781	3,668	3,772	3,613	3,547	3,677	3,645
F	0,320	0,263	0,283	0,309	0,143	0,130	0,227	0,345	0,483	0,404	0,381	0,406	0,139	0,137	0,262	0,149	0,329	0,407	0,198	0,283
Cl	0,059	0,053	0,060	0,056	0,052	0,071	0,050	0,055	0,082	0,076	0,080	0,084	0,083	0,082	0,070	0,079	0,058	0,046	0,125	0,071
Al _{Total}	2,304	2,228	2,281	2,216	2,335	2,344	2,352	2,302	2,342	2,320	2,329	2,310	2,382	2,298	2,308	2,387	2,910	3,035	2,740	2,940
Fe/Fe+Mg	0,646	0,645	0,674	0,624	0,781	0,769	0,759	0,724	0,808	0,797	0,802	0,801	0,744	0,760	0,749	0,764	0,895	0,901	0,909	0,897

GC= granito cumulático; BAMzG = biotita-anfibólio-monzogranito grosso; ABMzG = anfibólio-biotita-monzogranito grosso; LMzG = leucomonzogranito grosso;

LMzMt = leucomonzogranito médio tardio.

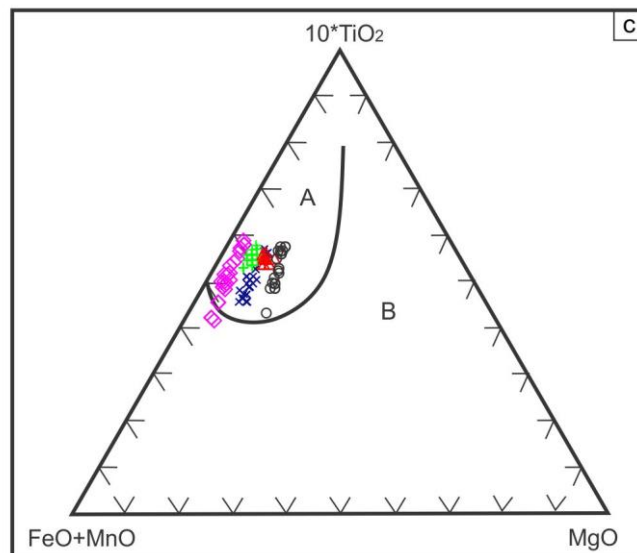
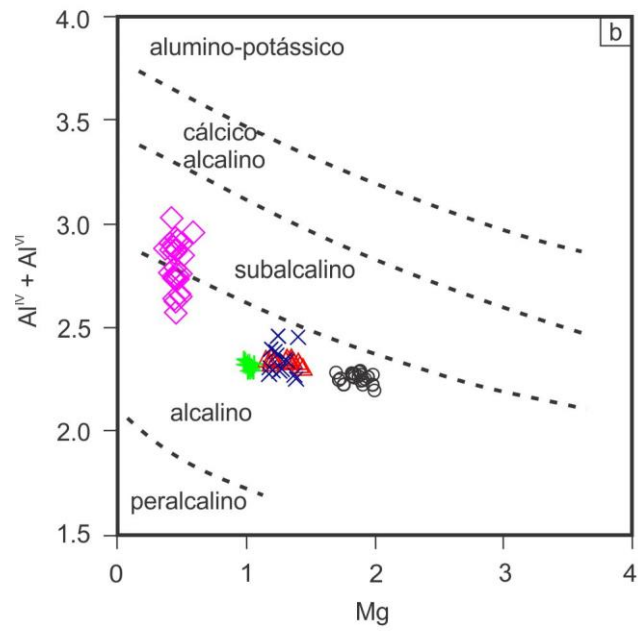
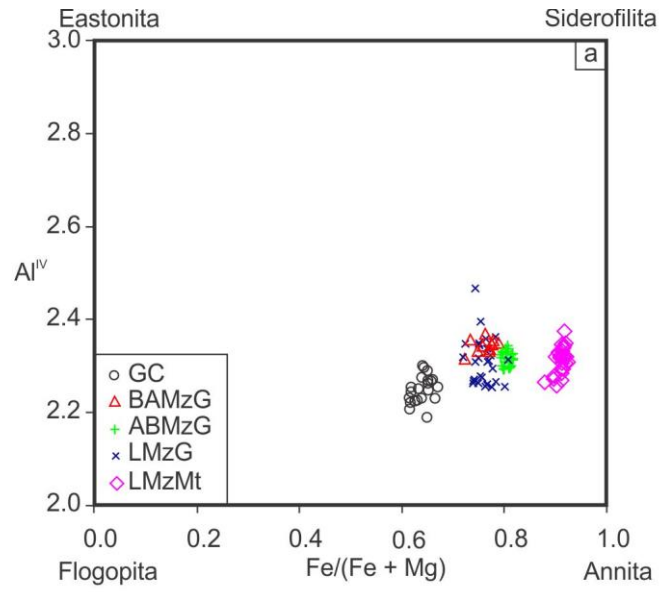


Figura 2.10: Variação composicional de biotitas das principais fácies do Granito Bannach. a) Diagrama $Fe/(Fe+Mg) \times Al^{IV}$ (Deer *et al.* 1992); b) Diagrama $Mg \times Alt$ (Nachit *et al.* 1985); c) Diagrama $(FeO+MnO)-(10*TiO_2)-MgO$ com campos de Nachit (1994); A: campo das biotitas magmáticas primárias; B: campo das biotitas magmáticas reequilibradas.

Plagioclásio

Os cristais de plagioclásio das diversas fácies do Granito Bannach apresentam zoneamento normal e suas composições variam em geral de oligoclásio a albíta (Figura 2.11), com ocorrência esparsa de núcleos de andesina sódica (Tabela 2.5). A maioria das composições de plagioclásio obtidas via WDS se superpõe com as estimadas por Almeida *et al.* (2006) no Granito Bannach e também com as do Granito Jamon (Dall’Agnol 1982; Dall’Agnol *et al.* 1999a, c). No presente estudo, as composições mais cálcicas variam de An_{38} a An_{23} e foram obtidas em núcleos de plagioclásios de agregados precoces das fácies menos evoluídas (GC, BAMzG, ABMzG). Composições de oligoclásio mais sódico são encontradas nas bordas de cristais de plagioclásio destas mesmas fácies menos evoluídas e nos seus núcleos no caso dos LMzG e LMzMt. Nas fácies mais evoluídas, de caráter leucogranítico (LMzG e LMzMt), as bordas de cristais de plagioclásio atingem composições próximas a albíta pura ($An_{6,1}$ a $An_{2,8}$). Almeida *et al.* (2006) constataram que as composições do plagioclásio das fácies BMzP, LMzMt e LMzF apresentam pouca variação em relação ao plagioclásio de LMzG e ABMzG. Vale destacar, ainda, que o plagioclásio que forma mantos em torno de cristais de feldspato potássico, correspondendo à textura rapakivi localizada, apresenta composições de oligoclásio sódico.

Estas variações composicionais coincidem de modo geral com o que foi determinado por Dall’Agnol (1980, 1982) no Granito Jamon. O referido autor admite que, em um primeiro estágio, em condições de pressão elevada, foram gerados os núcleos mais cálcicos de plagioclásio das fácies menos evoluídas. Em seguida, com a rápida ascensão do magma e queda de pressão, os plagioclásios precoces foram desestabilizados e passaram a cristalizar as bordas mais sódicas dos cristais atuais. Este estágio coincidiria com a formação do núcleo de plagioclásio das fácies mais evoluídas (BMzP, LMzG, LMzMp, LMzMt e LMzF). O plagioclásio marcadamente mais sódico da fácies LMzMt sugere que esta poderia ter derivado de um líquido muito diferenciado ou, alternativamente, que cristalizou a partir de líquido independente do que gerou as demais fácies do Granito Bannach. Esta última hipótese foi explorada por Almeida *et al.* (2006) com base em evidências obtidas em seus estudos de petrologia magnética e geoquímica do Granito Bannach. Ela será discutida em maior detalhe adiante.

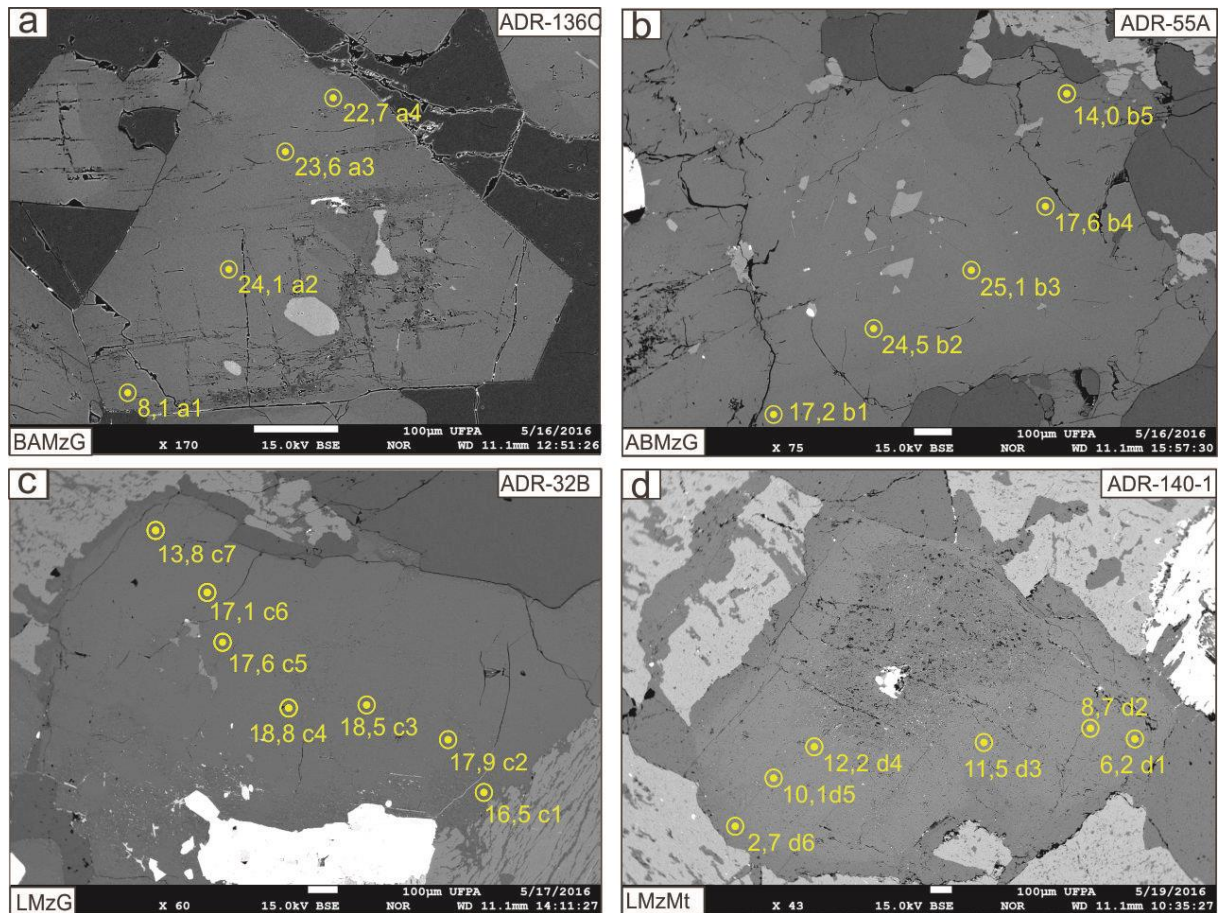


Figura 2.11: Cristais subédricos a euédricos de plagioclásio de diferentes fácies do Granito Bannach, sendo indicada a localização dos pontos analisados em microsonda eletrônica em perfis cortando os cristais. (a) Fácies BAMzG; (b) ABMzG; (c) LMzG; (d) LMzMt. O teor de anortita obtido em cada ponto analisado está destacado e pode-se constatar o zoneamento normal dos cristais. Imagens de elétrons retroespalhados obtidas em microsonda eletrônica. As análises dos pontos indicados constam da Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Análises em microsonda eletrônica de plagioclásio das principais fácies do Granito Bannach.

Fácies Amostra Análise	GC ADR-136I				BAMzG ADR-136C						ABMzG ADR-55A				
	C1_1.5	C1_1.1	C2_1.3	C2_1.7	C4_1.4	C4_1.1	C7_2.2 (a2)	C7_2.3 (a3)	C7_2.4 (a4)	C7_2.1 (a1)	C3_2.4 (b3)	C3_2.8 (b2)	C3_2.9 (b4)	C3_2.7 (b1)	C3_2.10 (b5)
	núcleo	borda	núcleo	borda	núcleo	borda									
SiO ₂ (%peso)	61,37	62,93	61,41	65,03	58,23	62,88	61,85	62,11	62,25	63,69	61,39	61,79	63,86	63,89	64,68
Al ₂ O ₃	23,52	22,54	23,66	21,33	25,77	22,46	23,46	23,32	23,18	22,35	23,50	23,34	22,18	22,08	21,52
FeO	0,29	0,14	0,18	0,08	0,16	0,13	0,12	0,12	0,15	0,12	0,20	0,23	0,06	0,11	0,08
CaO	5,24	3,96	5,21	2,55	7,87	4,07	5,01	4,93	4,74	3,83	5,20	5,08	3,66	3,61	2,96
Na ₂ O	8,29	8,98	8,26	9,94	6,76	8,83	8,47	8,53	8,69	9,28	8,19	8,29	8,92	9,13	9,60
K ₂ O	0,54	0,44	0,45	0,40	0,42	0,54	0,34	0,42	0,36	0,39	0,60	0,54	0,79	0,68	0,58
Total	99,24	98,99	99,16	99,33	99,21	98,91	99,25	99,42	99,36	99,66	99,08	99,26	99,48	99,50	99,42
Fórmula estrutural com base em 8 átomos de oxigênio															
Si	2,750	2,812	2,750	2,883	2,626	2,813	2,763	2,770	2,777	2,825	2,753	2,764	2,837	2,838	2,869
Al	1,242	1,187	1,249	1,115	1,369	1,184	1,235	1,226	1,219	1,169	1,242	1,230	1,161	1,156	1,125
Fe	0,011	0,005	0,007	0,003	0,006	0,005	0,005	0,004	0,005	0,004	0,008	0,009	0,002	0,004	0,003
Ca	0,252	0,189	0,250	0,121	0,380	0,195	0,240	0,235	0,226	0,182	0,250	0,243	0,174	0,172	0,141
Na	0,720	0,777	0,717	0,854	0,591	0,766	0,734	0,738	0,752	0,798	0,712	0,719	0,769	0,787	0,826
K	0,031	0,025	0,025	0,023	0,024	0,031	0,019	0,024	0,020	0,022	0,034	0,031	0,045	0,038	0,033
Cátions	5,005	4,996	4,997	4,999	4,997	4,994	4,996	4,998	5,000	5,000	4,999	4,996	4,989	4,996	4,997
Albita	71,831	78,354	72,266	85,576	59,369	77,234	73,908	73,971	75,280	79,677	71,490	72,400	77,806	78,901	82,642
Anortita	25,113	19,095	25,167	12,141	38,193	19,654	24,128	23,609	22,679	18,149	25,093	24,508	17,639	17,239	14,084
Ortoclásio	3,056	2,551	2,567	2,283	2,438	3,112	1,963	2,420	2,041	2,175	3,417	3,092	4,555	3,860	3,274

GC = granito cumulático; BAMzG = biotita-anfibólio-monzogranito grosso; ABMzG = anfibólio-biotita-monzogranito grosso.

Nota: A localização dos pontos de análise (núcleo ou borda) ausente na tabela, pode ser visualizada na figura 2.11

Tabela 2.5: Análises em microsonda eletrônica de plagioclásio das principais fácies do Granito Bannach.

(Continuação)

Fácies Amostra Análise	LMzG ADR-32B							LMzMt ADR-140-1					
	C4_1.4 (c4)	C4_1.3 (c3)	C4_1.2 (c2)	C4_1.5 (c5)	C4_1.6 (c6)	C4_1.1 (c1)	C4_1.7 (c7)	C2_1.7 (d4)	C2_1.4 (d3)	C2_1.6 (d5)	C2_1.2 (d2)	C2_1.1 (d1)	C2_1.5 (d6)
SiO ₂ (%peso)	63,55	63,55	63,85	63,97	64,36	64,19	65,27	64,93	65,32	65,49	65,93	66,69	67,53
Al ₂ O ₃	22,51	22,41	22,38	22,33	22,23	22,18	21,72	21,31	21,25	20,83	20,68	20,42	19,84
FeO	0,19	0,16	0,12	0,16	0,16	0,11	0,11	0,14	0,09	0,09	0,09	0,04	0,02
CaO	3,94	3,91	3,80	3,73	3,64	3,54	2,92	2,55	2,40	2,11	1,83	1,29	0,58
Na ₂ O	8,95	9,04	9,19	9,34	9,30	9,59	9,84	9,46	9,76	9,76	9,84	10,51	11,29
K ₂ O	0,71	0,73	0,69	0,49	0,62	0,44	0,44	0,99	0,72	1,03	1,11	0,47	0,24
Total	99,85	99,79	100,03	100,02	100,31	100,05	100,30	99,36	99,53	99,31	99,49	99,43	99,50
Fórmula estrutural com base em 8 átomos de oxigênio													
Si	2,818	2,820	2,826	2,829	2,837	2,836	2,869	2,883	2,891	2,907	2,919	2,941	2,970
Al	1,176	1,172	1,167	1,164	1,155	1,155	1,125	1,115	1,108	1,089	1,079	1,062	1,029
Fe	0,007	0,006	0,005	0,006	0,006	0,004	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003	0,002	0,001
Ca	0,187	0,186	0,180	0,176	0,172	0,168	0,138	0,121	0,114	0,101	0,087	0,061	0,028
Na	0,770	0,778	0,788	0,801	0,795	0,821	0,838	0,814	0,838	0,840	0,845	0,899	0,963
K	0,040	0,041	0,039	0,028	0,035	0,025	0,025	0,056	0,040	0,058	0,063	0,027	0,013
Cátions	4,998	5,003	5,005	5,004	5,000	5,009	4,999	4,994	4,994	4,998	4,995	4,990	5,003
Albita	77,211	77,430	78,255	79,701	79,400	81,039	83,776	82,109	84,441	84,109	84,974	91,141	95,943
Anortita	18,765	18,480	17,866	17,560	17,146	16,542	13,753	12,228	11,478	10,067	8,726	6,159	2,743
Ortoclásio	4,024	4,090	3,878	2,739	3,454	2,419	2,471	5,663	4,081	5,824	6,300	2,699	1,314

LMzG = leucomonzogranito grosso; LMzMt = leucomonzogranito médio tardio.

Titanita

No Granito Bannach, a titanita ocorre como cristais subédricos comumente associados à biotita e minerais opacos ou como cristais euédricos inclusos em biotita (Almeida *et al.* 2006). A estabilidade deste mineral é muito sensível a diversos parâmetros atuantes durante a cristalização, tais como temperatura, pressão, fugacidade de oxigênio e conteúdo de água (Wones 1989). De acordo com Dall’Agnol *et al.* (1999c), no Granito Jamon, as titanitas são estáveis em condições relativamente oxidantes e sua formação se dá a temperaturas relativamente próximas do *solidus*, estando relacionada com a desestabilização do anfibólio em um estágio magmático tardio. Estima-se que a titanita do Granito Bannach se formou em condições análogas. Ela apresenta razões Fe/Al que variam de 0,48 a 0,57 que, de acordo com Kowallis *et al.* (1997), correspondem àquelas de titanitas de rochas plutônicas com quartzo (ver tabela 2.6).

Tabela 2.6: Análises em microsonda eletrônica de titanita do Granito Bannach.

Fácies Amostra Análise	ABMzG ADR-55A						
	C1_1.1	C1_1.2	C1_1.3	C1_1.4	C1_1.5	C1_1.6	C1_1.7
	SiO ₂	30,43	30,51	30,52	30,35	30,35	30,43
TiO ₂	31,16	30,89	30,98	30,77	30,83	30,94	31,11
Al ₂ O ₃	4,06	4,30	4,18	3,98	3,98	4,21	3,95
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01
FeO	3,27	3,10	3,05	3,02	3,17	2,89	3,23
MnO	0,21	0,16	0,16	0,17	0,20	0,16	0,17
MgO	0,12	0,15	0,13	0,13	0,14	0,12	0,17
CaO	26,38	26,70	26,88	26,26	26,25	27,16	26,98
Na ₂ O	0,06	0,03	0,05	0,06	0,05	0,05	0,08
K ₂ O	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,05
Total	95,73	95,87	95,98	94,75	95,00	95,96	96,20
Fórmula estrutural com base em 5 átomos de oxigênio							
Si	1,040	1,040	1,040	1,046	1,044	1,037	1,038
Ti	0,801	0,792	0,794	0,798	0,798	0,793	0,797
Al	0,163	0,173	0,168	0,162	0,162	0,169	0,159
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Fe	0,093	0,088	0,087	0,087	0,091	0,082	0,092
Mn	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,005
Mg	0,006	0,008	0,006	0,006	0,007	0,006	0,009
Ca	0,966	0,975	0,981	0,970	0,968	0,991	0,984
Na	0,004	0,002	0,003	0,004	0,003	0,003	0,005
K	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002
Fe/Al	0,571	0,511	0,517	0,538	0,565	0,488	0,579

ABMzG = anfibólio-biotita-monzogranito grosso.

Ilmenita

Dall'Agnol *et al.* (1997) descreveram quatro tipos texturais de ilmenita no Granito Jamon. O Granito Bannach possui neste aspecto grande similaridade com o Granito Jamon, pois também apresenta os quatro tipos texturais de ilmenita descritos naquele granito. O tipo mais comum é a ilmenita em treliça (IlmT), ocorrente em todas as fácies analisadas do Granito Bannach (Figuras 2.12a, b). A IlmT ocorre em intercrescimentos com magnetita, sendo gerada a partir da titanomagnetita primária por meio de processos de oxi-exsolução durante ou após a cristalização magmática (Buddington & Lindsley 1964; Haggerty 1991). No início do processo de oxi-exsolução as lamelas de IlmT são finas (Figura 2.12a) e a magnetita dos intercrescimentos relativamente enriquecida em Ti (Tabela 2.8, ver análises C3_2-2 e C1_1-3). Com o avanço do processo, as lamelas expandem e o teor de Ti na magnetita desce (Figura 2.12b) (Haggerty 1991). Outro tipo de ilmenita é a ilmenita em manchas (*patches* ou IlmP) que mostra forma irregular e ocorre preferencialmente nas bordas dos cristais com intercrescimentos de magnetita e IlmT ou ao longo dos contatos entre cristais distintos (Figura 2.12c). Um terceiro tipo é a ilmenita composta (IlmC), que ocorre associada a cristais de magnetita, geralmente é subautomorfa e exibe contatos retilíneos com a magnetita (Figura 2.12d). Os cristais de ilmenita individual (IlmI) são subautomorfos a automorfos (Figura 2.12e) e ocorrem dissociados da magnetita. As IlmI e IlmC são consideradas geralmente como mais precoces na cristalização e, no caso dos diques do Granito Jamon, possuem composições representativas da ilmenita primária (Dall'Agnol *et al.* 1997). Porém, no caso do Granito Bannach não há diferenças composicionais marcantes entre as diferentes variedades texturais de ilmenita (Tabela 2.7). O conteúdo de MnO das diversas variedades de ilmenita tende a ser maior nas fácies leucomonzograníticas (Tabela 2.7). Esta característica é consistente com a alteração hidrotermal mais intensa observadas nestas fácies (cf. Dall'Agnol *et al.* 1997 e referências adicionais naquele trabalho).

Tabela 2.7: Análises em microsonda eletrônica de ilmenita das principais fácies do Granito Bannach.

Fácies	GC			BAMzG		ABMzG			LMzG				LMzMt
Amostra	ADR-136I			ADR-136C		ADR-55A			ADR-32B	ADR-32B1			ADR-140
Análise	C3_1-12	C3_2-8	C4_2-1	C3_1-6	C1_1-11	C1_2-15	C1_1-10	C1_2-12	C3_1-7	C2_3-9	C2_1-5	C2_4-7	C3_1-5
Tipo	IlmT	IlmC	IlmI	IlmT	IlmC	IlmT	IlmC	IlmP	IlmT	IlmC	IlmI	IlmP	IlmC
SiO ₂	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,01	0,04	0,00	0,02	0,02	0,01	0,02	0,014
TiO ₂	51,93	51,24	51,18	51,37	50,95	51,65	50,77	52,08	51,49	52,87	51,88	52,23	50,38
Al ₂ O ₃	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,002
Fe ₂ O ₃	1,72	2,04	1,77	2,51	2,47	2,35	4,04	1,89	3,59	2,07	2,62	2,07	5,25
FeO	42,52	41,97	42,11	43,18	42,13	42,07	42,57	43,08	40,49	41,64	41,02	40,95	38,51
MnO	4,12	4,09	3,84	2,98	3,67	4,35	3,09	3,69	5,76	5,85	5,54	5,97	6,721
MgO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0
CaO	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,012
Total	100,36	99,37	98,92	100,09	99,24	100,44	100,51	100,77	101,02	102,46	101,12	101,26	100,89
Fórmula estrutural com base em 3 átomos de oxigênio													
Si	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,950
Ti	0,983	0,980	0,983	0,976	0,976	0,977	0,961	0,982	0,966	0,980	0,975	0,980	0,000
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,099
Fe ⁺³	0,033	0,039	0,034	0,048	0,047	0,044	0,077	0,036	0,067	0,038	0,049	0,039	0,807
Fe ⁺²	0,895	0,892	0,899	0,912	0,897	0,885	0,896	0,903	0,844	0,858	0,857	0,854	0,143
Mn	0,088	0,088	0,083	0,064	0,079	0,093	0,066	0,078	0,122	0,122	0,117	0,126	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

GC= granito cumulático; BAMzG = biotita-anfibólio-monzogranito grosso; ABMzG = anfibólio-biotita-monzogranito grosso;

LMzG = leucomonzogranito grosso; LMzMt = leucomonzogranito médio tardio.

IlmT = ilmenita em treliça; IlmC = ilmenita composta; IlmI = ilmenita individual; IlmP = ilmenita em patches

Fórmula estrutural e proporção de FeO e Fe₂O₃ calculados conforme Carmichael (1967).

Magnetita

Durante o resfriamento lento de um magma granítico, os cristais originais de titanomagnetita passam por processo de oxi-exsolução e dificilmente preservam sua composição primária (Buddington & Lindsley 1964; Haggerty 1991). Este processo faz com que a solução sólida de magnetita e ulvospinélio se transforme em intercrescimentos de magnetita e ilmenita, esta geralmente na forma de IlmT. Texturalmente, lamelas de ilmenita (IlmT) e magnetita (Mt+IlmT) se apresentam como pseudomorfos sobre o cristal primário de titanomagnetita. A Mt+IlmT é o principal tipo de magnetita encontrado no Granito Bannach (Figura 2.12a, b). Esta é mais pobre em Ti, quando associada a lamelas mais espessas de IlmT (Tabela 2.8, ver análise C3_1-5). Um segundo tipo de magnetita é a magnetita composta (Mt+IlmC; Figura 2.12d) que ocorre associada à ilmenita. A Mt+IlmC e a Mt+IlmT não mostram diferenças composicionais marcantes (Tabela 2.8), embora, em uma mesma amostra, a Mt+IlmC tenda a apresentar conteúdos de TiO₂ ligeiramente mais elevados do que a Mt+IlmT. A terceira variedade textural de magnetita ocorre dissociada da ilmenita e tem

aspecto homogêneo (Mt-H). Ela ocorre associada a cristais de cummingtonita-grunerita (Figura 2.12f) e sua composição é a que mais se aproxima daquela da magnetita ideal (Tabela 2.8).

Tabela 2.8: Análises em microsonda eletrônica de magnetita das principais fácies do Granito Bannach

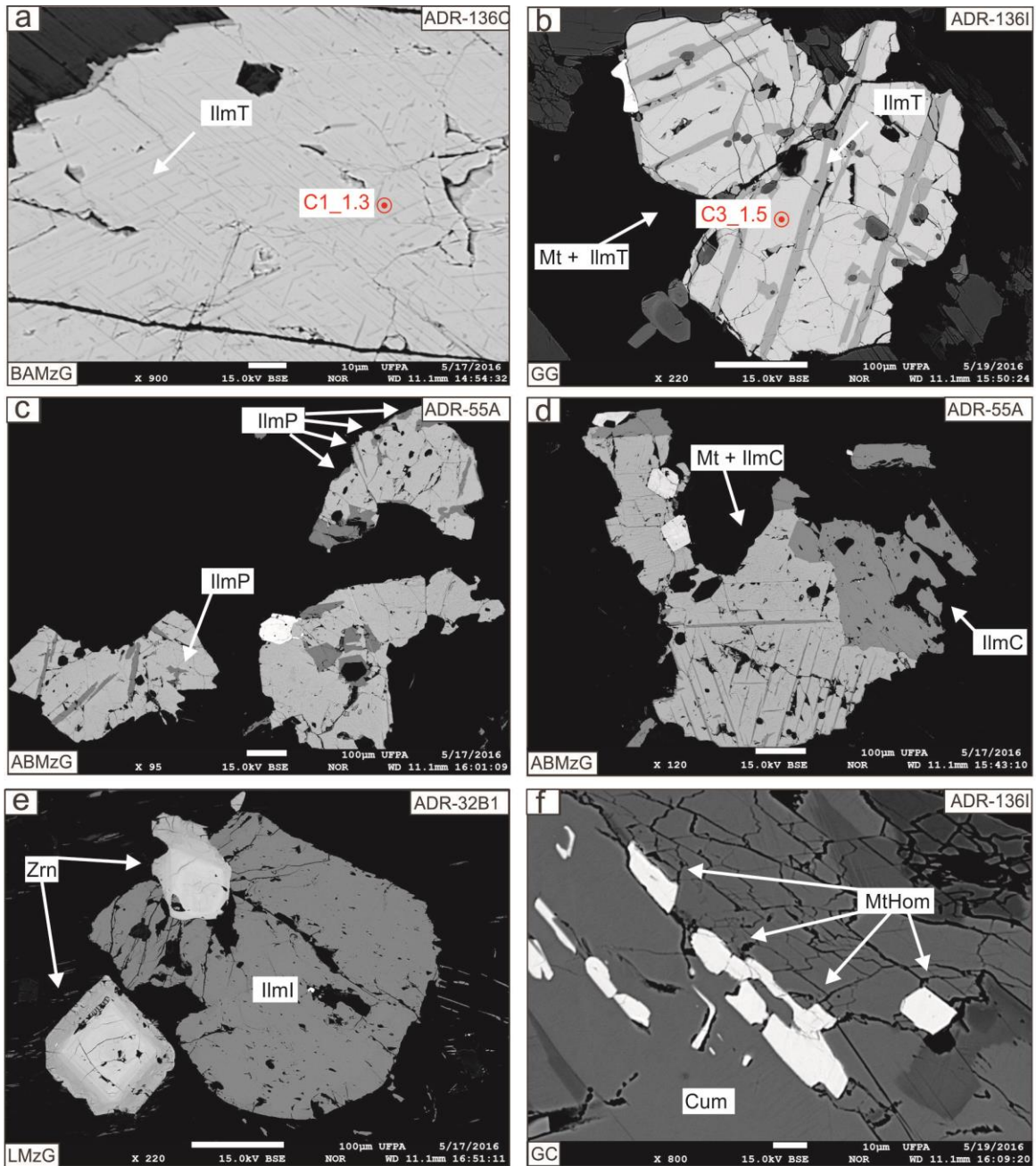
Fácies Amostra Análise Tipo	GC ADR-136I				BAMzG ADR-136C		ABMzG ADR-55A			LMzG ADR-32B1		LMzMt ADR-140	
	C3_2-2	C3_1-5	C3_2-3	C3_3-3	C1_1-3	C1_2-7	C1_1-1	C2_1-1	C4_1-5	C2_4-6	C2_2-2	C3_1-1	C5_1-1
	Mt + IlmT	Mt + IlmT	Mt + IlmC	Mt-Hom	Mt + IlmT	Mt + IlmC	Mt + IlmT	Mt + IlmC	Mt-Hom	Mt + IlmT	Mt + IlmC	Mt + IlmT	Mt + IlmC
SiO ₂	0,06	0,04	0,06	0,10	0,07	0,06	0,08	0,08	0,12	0,28	0,08	0,08	0,07
TiO ₂	2,28	1,74	1,98	0,08	2,49	1,13	0,80	1,43	0,04	0,67	1,49	0,13	0,36
Al ₂ O ₃	0,11	0,32	0,14	0,00	0,14	0,18	0,18	0,22	0,02	0,09	0,22	0,05	0,21
Fe ₂ O ₃	63,12	64,69	64,01	67,02	63,45	65,51	66,74	65,08	67,24	66,89	66,27	68,40	68,45
FeO	32,61	32,48	32,46	30,38	33,24	31,88	31,74	32,16	30,57	31,92	32,70	31,22	31,79
MnO	0,19	0,13	0,14	0,09	0,17	0,01	0,06	0,09	0,01	0,08	0,13	0,01	0,01
MgO	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,02	0,00	0,06	0,04	0,00	0,05	0,04	0,01	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V ₂ O ₃	0,27	0,13	0,18	0,00	0,24	0,31	0,18	0,15	0,00	0,06	0,00	0,00	0,11
Total	98,67	99,54	99,03	97,70	99,80	99,17	99,82	99,22	98,04	100,02	100,89	99,89	100,99
Fórmula estrutural com base em 4 átomos de oxigênio													
Si	0,002	0,002	0,002	0,004	0,003	0,002	0,003	0,003	0,005	0,011	0,003	0,003	0,002
Ti	0,067	0,051	0,058	0,002	0,072	0,033	0,023	0,042	0,001	0,019	0,043	0,004	0,010
Al	0,005	0,014	0,007	0,000	0,006	0,008	0,008	0,010	0,001	0,004	0,010	0,002	0,009
Fe ⁺³	1,849	1,877	1,868	1,988	1,837	1,910	1,934	1,896	1,987	1,934	1,899	1,984	1,962
Fe ⁺²	1,061	1,048	1,053	1,001	1,069	1,033	1,022	1,041	1,004	1,026	1,041	1,006	1,012
Mn	0,006	0,004	0,005	0,003	0,006	0,000	0,002	0,003	0,000	0,003	0,004	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,001	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V	0,008	0,004	0,006	0,000	0,007	0,010	0,006	0,005	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003
Ulvospinélio (%)	6,715	5,095	5,815	0,223	7,261	3,332	2,328	4,200	0,118	1,939	4,298	0,386	1,037

GC= granito cumulático; BAMzG = biotita-anfibólio-monzogranito grosso; ABMzG = anfibólio-biotita-monzogranito grosso;

LMzG = leucomonzogranito grosso; LMzMt = leucomonzogranito médio tardio.

Mt = magnetita; Hom = homogênea; IlmT = ilmenita em treliça; IlmC = ilmenita composta.

Fórmula estrutural e proporção de FeO e Fe₂O₃ calculados conforme Carmichael (1967); % de ulvospinélio calculada segundo Lindsley & Spencer (1982).



IlmT = ilmenita em treliça; IlmP = ilmenita em *patch*; IlmC = ilmenita composta; IlmI = ilmenita individual; Mt = magnetita; Hom Mt = magnetita homogênea; Zrn = zircão; Cum = cummingtonita.

Figura 2.12: Imagens de elétrons retroespalhados obtidas em microsonda eletrônica dos minerais de Fe-Ti das principais fácies do Granito Bannach. a) Ilmenita em treliça (IlmT) no início do processo de oxi-exsolução; b) Ilmenita em treliça (IlmT) em etapas mais avançadas do processo de oxi-exsolução com destaque para magnetita pobre em Ti intercrescida com a Ilm T (Mt + IlmT); c) Ilmenitas em manchas (*Patch*, IlmP); d) Ilmenitas compostas (IlmC) associadas com magnetita (Mt + IlmC); e) Ilmenita individual (IlmI) em cristal automorfo associado com zircão e cristalizado precocemente f) Magnetita homogênea (MtHom) de caráter secundário e associada com cummingtonita-grunerita.

DISCUSSÃO

Estimativas dos parâmetros de cristalização do granito Bannach

Temperatura

Devido ao potencial geocronológico de cristais de zircão, Watson & Harrison (1983) elaboraram um estudo experimental com objetivo de avaliar o comportamento da saturação em zircão em fusões anatéticas crustais intermediárias a félsicas. Com base em seus estudos experimentais, eles desenvolveram uma fórmula para estimar a solubilidade de Zr no magma necessária para a saturação de zircão em função principalmente da temperatura (T) e composição do líquido (M):

$$\ln D_{Zr} = (-3,80 - [0,85(M - 1)]) + 12900/T \quad (1)$$

Onde: D_{Zr} = coeficiente de distribuição de Zr entre zircão e fusão;

$M = (Na + K + (2Ca)/(Al \cdot Si))$ e T = temperatura em graus Kelvin.

Posteriormente, Miller *et al.* (2003), no contexto de uma discussão sobre granitos de alta e baixa temperatura e suas implicações em termos de zircões herdados, reorganizaram a fórmula proposta por Watson & Harrison (1983) e esta passou a ser expressa da seguinte maneira:

$$T_{Zr} = 12.900/[2,95 + 0,85M + \ln(496.000/Zr_{líquido})] \quad (2)$$

Onde: $Zr_{líquido}$ é a concentração (ppm) de Zr em rocha total.

Mais recentemente, Boehnke *et al.* (2013), usando técnicas experimentais mais modernas, reavaliaram os dados experimentais obtidos por Watson & Harrison (1983) e estenderam as observações até pressões de 25 kbar. Boehnke *et al.* (2013) concluíram que seu novo modelo não apresenta diferenças significativas com o modelo experimental original de Watson & Harrison (1983), porém poderia ser aplicável em pressões de até 25 kbar e em temperaturas de até 700 °C.

Para aplicação deste geotermômetro foram utilizadas as composições em rocha total do Granito Bannach (Almeida *et al.* 2006). As temperaturas máximas e mínimas obtidas para cada uma de suas fácies estão registradas na tabela 2.9. Não foram calculadas temperaturas para a fácies interpretada por aqueles autores como cumulática (GC), porque há evidências de que o zircão seja uma das fases acumulada e, portanto, o conteúdo de Zr em rocha total não é representativo de um possível líquido magmático. As fácies BAMzG, ABMzG e BMzP apresentaram temperaturas relativamente elevadas, que variam de 943 a 845°C (Tabela 2.9). Para os leucogranitos obteve-se valores comparativamente mais baixos (857 a 795°C). O

zircão cristaliza precocemente nas diferentes fácies do Granito Bannach, como demonstra o fato de ocorrer incluso em magnetita, ilmenita, anfibólio e biotita, e as temperaturas fornecidas pelo geotermômetro do zircão fornecem indicação das temperaturas próximas do *liquidus* das diferentes variedades, ou seja, elas marcam os estágios iniciais da cristalização das várias fácies do corpo.

Blundy & Holland (1990) calibraram um geotermômetro para rochas com anfibólio e plagioclásio, nas quais esse par foi equilibrado no intervalo de temperatura entre 500 e 1100°C e os testes realizados em anfibólios naturais e sintéticos indicaram que seu conteúdo de Al^{IV} é fortemente influenciado pela temperatura. Tal geotermômetro seria, em princípio, adequado para anfibólios com até 7,8 Si pfu e plagioclásios com teor de anortita menor que An₉₂. Portanto, o Granito Bannach atende aos pré-requisitos para aplicação do geotermômetro de Blundy & Holland (1990), segundo a equação abaixo:

$$T = (0,677 P - 48,98 + Y)/(-0,0429 - 0,008314 \ln K_1); \quad (3)$$

$$\text{Onde } K_1 = [(Si - 4) / (8 - Si)] \cdot X_{Ab}^{Plag};$$

$$Y = 0, \text{ para teor de albite } > 0,5.$$

Os valores de pressão (P) aplicados para cálculo das temperaturas foram obtidos a partir do geobarômetro de Mutch *et al.* (2016), discutido no tópico a seguir. Nas fácies com anfibólio e biotita modal, em tese menos evoluídas, as temperaturas obtidas variam de 807 a 732°C, ao passo que na fácies LMzG, que apresenta proporção modal de anfibólio muito baixa, variam de 740 a 732°C (Tabela 2.9). Portanto, nesta fácies tem-se variação muito restrita de temperatura, sendo a temperatura máxima bem inferior e a temperatura mínima muito próxima às das demais fácies mencionadas, porém, como só se dispõe de duas análises químicas desta fácies, esta uniformidade pode ser apenas aparente. De qualquer modo, isto é consistente com o fato de a fácies LMzG ser mais evoluída, como indicam seu plagioclásio mais sódico e menor proporção modal de máficos. Além disso, verifica-se que as temperaturas obtidas por este geotermômetro são mais baixas que as indicadas pelo geotermômetro de zircão, porém se deve levar em conta que as temperaturas do geotermômetro de anfibólio-plagioclásio são indicativas de temperaturas próximas ao *solidus* e que o erro estimado no cálculo da temperatura é de $\pm 75^\circ\text{C}$ (Blundy & Holland, 1990).

Ridolfi *et al.* (2010) e Ridolfi & Rezulli (2012), propuseram geotermômetros calibrados a partir da concentração dos principais óxidos em anfibólio e com margem de erro $\geq 50^\circ\text{C}$. Ambos são aplicáveis em granitoides contendo anfibólio, derivados de magmas cálcio-alcalinos a alcalinos, com elevado ou baixo conteúdo de água, formados em condições

desde moderadamente reduzidas a moderadamente oxidadas. Para estimativa das temperaturas de cristalização do Granito Bannach, foi utilizado o geotermômetro proposto por Ridolfi *et al.* (2010). Em seguida, aplicou-se o geotermômetro de Putirka [(2016); equação (4)], calibrado com os dados de anfibólio cálcico natural e experimental de Ridolfi *et al.* (2010), cujo erro é estimado em $\pm 30^{\circ}\text{C}$ (Tabela 2.9).

$$T(^{\circ}\text{C}) = 1201,4 - 97,93(\text{Si}^{\text{Anf}}) + 201,82(\text{Ti}^{\text{Anf}}) + 72,85(\text{Mg}^{\text{Anf}}) + 88,9(\text{Na}^{\text{Anf}}) + 40,65[\text{P}(\text{GPa})].$$

(4)

As temperaturas obtidas para as fácies BAMzG e ABMzG pelos diferentes geotermômetros são muito variáveis (Tabela 2.9) e decrescem gradualmente do geotermômetro do zircão para aqueles de Ridolfi *et al.* (2010), Putirka (2016) e Blundy & Holland (1990). Já na fácies LMzG, as temperaturas fornecidas pelo geotermômetro de Blundy & Holland (1990) são mais baixas que as indicadas pelos demais métodos que são similares entre si. O contraste observado no LMzG em relação às demais fácies, deve-se ao fato de a composição de seu anfibólio se superpor com às dos anfibólios das fácies BAMzG e ABMzG, ao passo que seu plagioclásio possui composição acentuadamente mais sódica, o que leva a temperaturas mais baixas no geotermômetro de Blundy & Holland (1990).

Tabela 2.9: Estimativas de temperatura e pressão para as diferentes fácies do Granito Bannach

Fácies	BAMzG		ABMzG		BMzP	LMzG		LMzMp	LMzMt		LMzF	
Temperatura (°C)	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Máx	Mín	Máx	Mín
Zircão (Watson & Harrison 1983)	943	910	906	845	894	838	814	815	857	820	812	795
Anfibólio e plagioclásio (Blundy & Holland 1990)	786	733	807	733	-	741	733	-	-	-	-	-
Anfibólio (Ridolfi <i>et al.</i> 2010)	866	837	863	820	-	859	850	-	-	-	-	-
Anfibólio (Putirka 2016)	760	730	758	715	-	781	741	-	-	-	-	-
Pressão (kbar)												
Geobarômetros de Al em anfibólio												
Hammarstron & Zen (1986)	4,12	2,98	4,68	2,97	-	3,22	2,99	-	-	-	-	-
Hollister <i>et al.</i> (1987)	4,26	2,98	4,89	2,96	-	3,25	2,99	-	-	-	-	-
Johnson & Rutherford (1989)	3,30	2,34	3,77	2,33	-	2,55	2,35	-	-	-	-	-
Blundy & Holland (1990)	4,51	3,37	4,46	3,36	-	3,61	3,38	-	-	-	-	-
Schmidt <i>et al.</i> (1992)	4,60	3,52	4,55	3,51	-	3,75	3,53	-	-	-	-	-
Mutch <i>et al.</i> (2016)	3,57	2,83	3,98	2,82	-	2,98	2,83	-	-	-	-	-
Expressões												
Temperatura												
Watson & Harrison (1983): $T_{Zr} = 12900/[2,95 + 0,85M + \ln(496000/Zr_{líquido})]$;												
Blundy & Holland (1990): $T (\pm 75^\circ C) = (0,677 P - 48,98 + Y)/(-0,0429 - 0,008314 \ln K1)$;												
Ridolfi <i>et al.</i> (2010): $T (\geq 50^\circ C) = 151,487Si^* + 2014$; $Si^* = Si + (Al^{IV}/15) - (2Ti^{IV}) - (Al^{VI}/2) - (Ti^{VI}/1,8) + (Fe^{3+}/9) + (Fe^{2+}/3,3) + (Mg/26) + (Ca^B/5) + (Na^B/1,3) - (Na^A/15) + (Al^A/2,3)$;												
Putirka (2016): $T (\pm 30^\circ C) = 1201,4 - 97,93(Si^{Anf}) + 201,82(Ti^{Anf}) + 72,85(Mg^{Anf}) + 88,9(Na^{Anf}) + 40,65[P(GPa)]$.												
Pressão												
Hammarstron & Zen (1986): $P (\pm 3 \text{ kbar}) = - 3,92 + 5,03 Al_i$; Hollister <i>et al.</i> (1987): $P (\pm 1 \text{ kbar}) = - 4,76 + 5,64 Al_i$;												
Johnson & Rutherford (1989): $P (\pm 0,5 \text{ kbar}) = 4,23 Alt - 3,46$; Blundy & Holland (1990): $P (\text{ kbar}) = 5,03 Al_i - 3,53$;												
Schmidt (1992): $P (\pm 0,6 \text{ kbar}) = 4,76Alt - 3,01$;												
Mutch <i>et al.</i> (2016): $P (\pm 0,5 \text{ kbar}) = 0,5 + 0,331(8) * Al_i + 0,995(4) * (Al_i)^2$												

Obs: Foram utilizadas para os cálculos de pressão e temperatura em anfibólio apenas análises em borda de cristal.

Pressão e profundidade de colocação

Para cálculo da pressão de colocação foram aplicados inicialmente os clássicos geobarômetros empíricos de Al em anfibólio de Hammarstron & Zen (1986) e Hollister *et al.* (1987). Ambos consideram que o Al_i tem relação positiva com a pressão e que os geobarômetros são aplicáveis em rochas intermediárias e silicosas portadoras no final de sua cristalização da associação em equilíbrio de oito fases cristalinas mais líquido residual e voláteis. O segundo foi desenvolvido para diminuir a margem de erro do geobarômetro de Hammarstron & Zen (1986) que é de ± 3 kbar para ± 1 kbar. Em seguida, Johnson & Rutherford (1989) formularam um geobarômetro baseado em experimentos desenvolvidos em presença de fase fluida formada por mistura de H_2O e CO_2 a qual influencia diretamente as temperaturas de cristalização. Blundy & Holland (1990) também efetuaram estudos experimentais e concluíram que a concentração de Al^{IV} em anfibólios é mais sensível à temperatura do que à pressão. Esta interpretação contrastava com o proposto por Hammarstron & Zen (1986) e levou Blundy & Holland (1990) a propor uma nova fórmula para cálculo da pressão. Schmidt *et al.* (1992), respeitando os princípios estabelecidos por

Hammarstron & Zen (1986) e Johnson & Rutherford (1989), calibraram um geobarômetro experimental para granitoides construído a partir do equilíbrio da assembléia hornblenda-biotita-plagioclásio-ortoclásio-quartzo-titanita-óxidos de Fe-Ti-líquido residual-voláteis. Anderson & Smith (1995) também enfatizaram que o cálculo da pressão é substancialmente afetado pela temperatura e que os geobarômetros até então disponíveis na literatura não seriam adequados para rochas formadas em condições de baixa fugacidade de oxigênio, com altas razões Fe/(Fe+Mg) em rocha total e minerais máficos.

Mais recentemente, foram calibrados novos geobarômetros a partir do conteúdo de Al em anfibólios cálcicos (Ridolfi *et al.* 2010; Ridolfi & Rezzulli, 2012; Mutch *et al.* 2016). Os termobarômetros propostos por Ridolfi *et al.* (2010) e Ridolfi & Rezzulli (2012) foram avaliados criticamente por Erdmann *et al.* (2014), os quais concluíram que os geotermômetros propostos por aqueles autores fornecem estimativas adequadas, enquanto que os geobarômetros não se mostram muito consistentes, pois as pressões elevadas ou baixas indicadas por eles estariam relacionadas mais com variações composicionais do magma de, respectivamente, máfico de alta temperatura para félsico de baixa temperatura, do que com efeitos de pressão. Putirka (2016) também fez avaliação crítica dos geobarômetros de Al em anfibólio e ressaltou que há ainda muitas limitações para a aplicação dos mesmos, exceto nos casos em que são levadas em conta as condições de enquadramento assinaladas por Anderson & Smith (1995).

Finalmente, foi desenvolvido por Mutch *et al.* (2016) um geobarômetro a partir da integração de dados experimentais selecionados criteriosamente da literatura com ampla gama de novos dados obtidos pelos autores. A calibração foi efetuada para temperaturas próximas do *solidus* e em amplo intervalo de pressão que se estende desde a pressão mínima para formação de anfibólio (~0,8 kbar) até pressões da ordem de 10 kbar. O geobarômetro seria aplicável em grande variedade de rochas granitoides contendo a assembléia mineral anfibólio-plagioclásio (An₁₅₋₈₀)-biotita-feldspato alcalino-quartzo-magnetita-ilmenita/titanita-apatita em equilíbrio. Esta paragênese está presente no Granito Bannach e, portanto, há condições teóricas para emprego do referido geobarômetro no cálculo da pressão de sua colocação.

A equação proposta por Mutch *et al.* (2016) para cálculo da pressão de colocação é:

$$P \text{ (kbar)} = 0,5 + 0,331(8) * Al_t + 0,995(4) * (Al_t)^2 \quad (5)$$

Conforme pode ser observado na Tabela 2.9, há diferenças significativas entre as pressões indicadas pelos diferentes geobarômetros empregados. Os geobarômetros de Blundy & Holland (1990) e Schmidt (1992), assim como aqueles de Hammarstron & Zen (1986) e Hollister *et al.* (1987), tendem a fornecer pressões mais elevadas, em geral da ordem de $4 \pm$

0,5 kbar, enquanto que os de Johnson & Rutherford (1989) e Mutch *et al.* (2016) indicam pressões em torno de $3 \pm 0,5$ kbar. Este último geobarômetro parece mais adequado para fornecer estimativas para a pressão de colocação do corpo Bannach, porque leva em conta uma maior gama de variáveis e cobre intervalos mais amplos. Para testar esta hipótese, as composições de anfibólios do Granito Bannach foram comparadas com aquelas de amostras selecionadas para estudo por Mutch *et al.* (2016), juntamente com os anfibólios obtidos nos experimentos correspondentes (Figura 2.13). Os diversos diagramas revelam que a composição do anfibólio presente nas fácies BAMzG, ABMzG e LMzG do Granito Bannach é similar às dos apresentados por Mutch *et al.* (2016), em particular com aqueles da sua amostra de granodiorito (FSC1332), embora os primeiros apresentem conteúdos um pouco mais elevados de Al^{IV} . Um ponto importante, destacado por Mutch *et al.* (2016; cf. sua Tabela 2), é que as rochas selecionadas por eles para estudos experimentais apresentam conteúdo de Al_2O_3 bem inferior ao das típicas associações cálcico-alcálicas cordilheiranas e isto as aproxima mais dos granitos Bannach e da Suíte Jamon como um todo, pois estes são tipicamente granitos com baixo Al_2O_3 , metaluminosos a fracamente peraluminosos (Dall'Agnol *et al.* 1999a, c; 2005).

Ainda a título de comparação, as composições dos anfibólios das fácies BAMzG, ABMzG e LMzG do Granito Bannach foram lançadas no diagrama P(kbar) x Al_{total} (Figura 2.14; baseada em Mutch *et al.* 2016, sua figura 10c), onde é possível constatar que elas sugerem colocação do corpo a pressões em torno de 3 ± 0.5 kbar. Neste diagrama manteve-se os dados experimentais de Johnson & Rutherford (1989), Schmidt *et al.* (1992) e Mutch *et al.* (2016), utilizados pelos últimos para calibração do geobarômetro proposto em seu trabalho. Observa-se no diagrama que as composições dos anfibólios das fácies Granito Bannach se alinham com os dados experimentais de Mutch *et al.* (2016), mas também com os de Johnson & Rutherford (1989), divergindo em certa medida daqueles de Schmidt (1992).

Por outro lado, as pressões de colocação das diferentes fácies do corpo Bannach (Tabela 2.9), obtidas pelos diferentes geobarômetros não apresentaram grandes variações, independente da fácies analisada, embora haja uma leve tendência para decréscimo na fácies LMzG. Como as diversas fácies estão expostas em um mesmo nível topográfico e não há evidências de seu deslocamento tectônico (cf. Oliveira *et al.* 2008), conclui-se que uma pressão de colocação da ordem de 3 ± 0.5 kbar seria estimativa adequada para o corpo Bannach. Esta pressão é compatível com o contexto geológico onde se situa o granito e é idêntica a que foi estimada para o Granito Jamon (Dall' Agnol *et al.* 1999c).

Em ambientes extensionais, intrusões magmáticas possuem geralmente forma de lacólitos extensos e pouco espessos, raramente com mais de 5 km de espessura (Oliveira *et al.* 2008), a exemplo dos clássicos granitos rapakivi (Vigneresse, 2005): Wiborg (350 km x 200 km x 5 km) na Finlândia; Åland (110 km x 90 km x 8 km) e Nordingra (50 km x 20 km x 5 km) na Suécia; e Korosten (125 km x 100 km x 0,5-3 km) na Ucrânia. Oliveira *et al.* (2008) estimaram espessuras de 2,2 e 5,6 km, respectivamente, para os Granitos Bannach e Redenção (Figura 2.1). Ao converter as pressões obtidas com base nos geobarômetros de Al em anfibólio de kbar para km, utilizando o fator de conversão aplicado à crosta continental (1kbar = 3,7 km; Brown *et al.* 1992), a profundidade de colocação calculada para o Granito Bannach situa-se em torno de $11,1 \pm 1,9$ km. Desta forma, como a distância entre a superfície e a base do Pluton Bannach foi estimada em 2,2 km (Oliveira *et al.* 2008), pode-se estimar que houve uma erosão de aproximadamente 10 km de crosta até a exumação do corpo Bannach. Por outro, lado, cabe enfatizar que a pressão e profundidade de colocação estimadas devem ser inteiramente distintas da profundidade de geração do magma, tendo em vista que, segundo o modelo de formação dos granitos da Suíte Jamon, os seus magmas foram gerados em maiores profundidades por fusão parcial na base da crosta continental, provocada por *underplating* de magma máfico e teriam ascendido por diques em fraturas na crosta, colocando-se a baixas profundidades (Dall’Agnol *et al.* 2005; D. C. Oliveira *et al.* 2008, 2010).

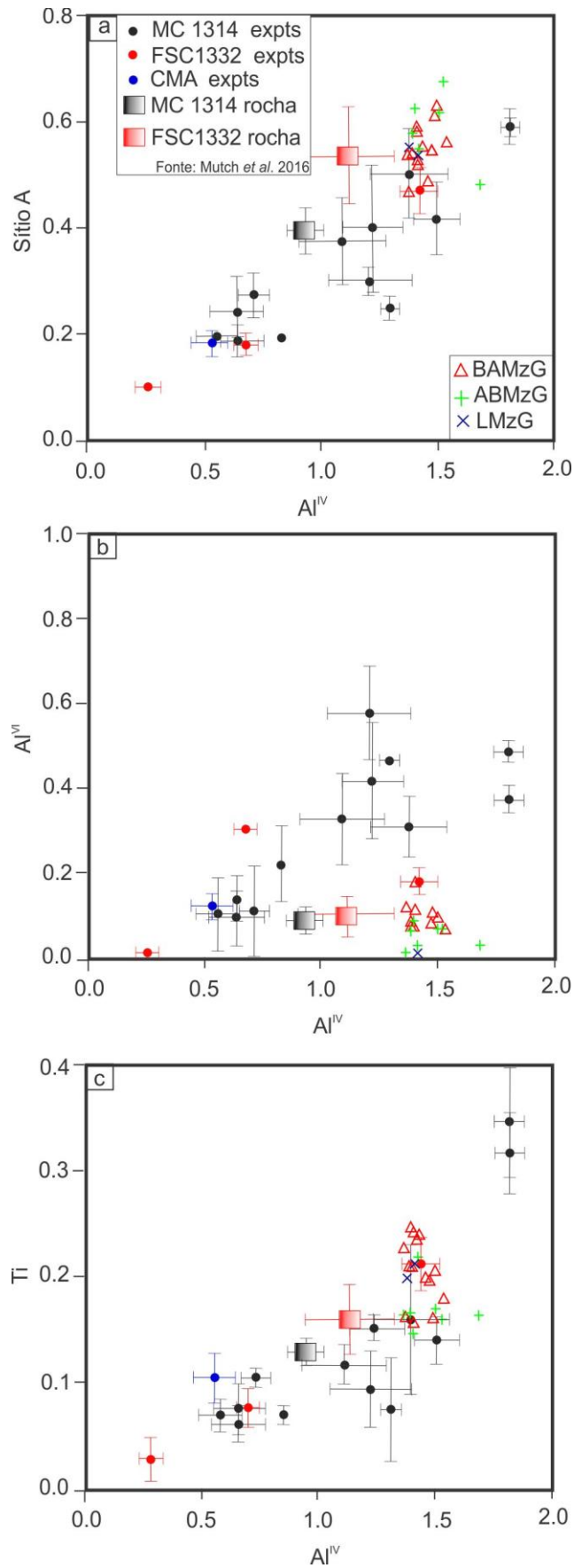


Figura 2.13: Comparação entre as composições de anfibólios obtidos em experimentos (MC 1314, FSC 1312 e CMA) e naturais (MC 1314 rocha e FSC 1332 rocha) de Mutch *et al.* (2016) e anfibólios cálcicos do Granito Bannach. a) Sítio Al^{IV} x A (Na + K); b) Al^{IV} x Al^{VI} ; c) Al^{IV} x Ti.

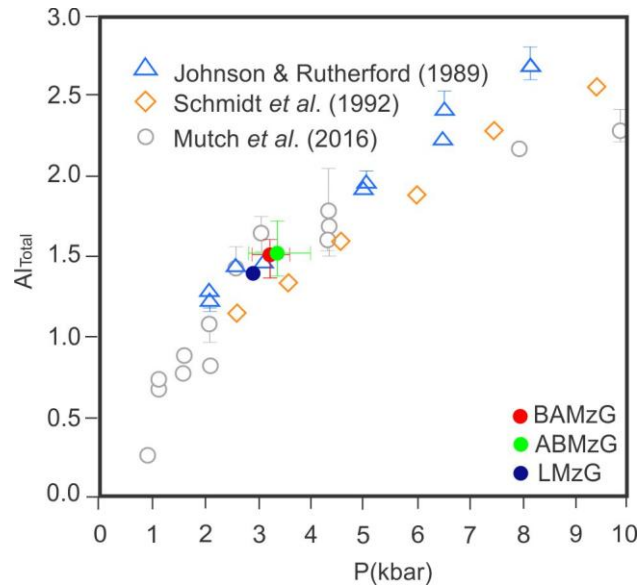


Figura 2.14: Diagrama P(kbar) x Al_{total} , mostrando as variações composicionais das bordas dos anfibólios cálcicos das diferentes fácies do Granito Bannach. As composições de anfibólios cálcicos obtidas em experimentos por Johnson & Rutherford (1989), Schmidt *et al.* (1992) e Mutch *et al.* (2016) são mostradas para comparação. O diagrama indica que a colocação das diversas fácies do Granito Bannach se deu a pressões de $3 \pm 0,5$ kbar (baseado em Mutch *et al.* 2016, sua figura 10c).

Fugacidade de oxigênio

Quanto às condições de fugacidade de oxigênio durante a evolução magmática, as composições de minerais como anfibólio e biotita, assim como a natureza dos minerais óxidos de Fe-Ti primários, foram utilizadas para estimar este parâmetro, pois as mesmas são fortemente dependentes da fugacidade de oxigênio (Ishihara 1981; Wones 1989; Frost & Lindsley 1991; Frost 1991; Clark 1999; Dall’Agnol *et al.* 1997, 1999b, 2005; Dall’Agnol & Oliveira 2007). A temperatura, pressão e conteúdo de voláteis também podem influenciar diretamente na fugacidade de oxigênio do magma (Carmichael 1991; Frost 1991; Frost & Lindsley 1991; Moore *et al.* 1995; Anderson & Smith 1995; Baker & Rutherford 1996; Gaillard *et al.* 2001). Almeida *et al.* (2006) estimaram que o Granito Bannach teria se formado em condições de fugacidade de oxigênio similares às dos demais Granitos Tipo A oxidados da Província Carajás (Dall’Agnol *et al.* 2005), pois mostra razões $FeOt/(FeOt+MgO)$ em rocha total $>0,80$. Além disso, destacaram que estas tendem a aumentar nas fácies mais evoluídas, devido ao decréscimo mais acentuado de MgO em relação a FeOt, no processo de cristalização fracionada.

Os cristais de anfibólio cálcico analisados do Granito Bannach apresentam razão $Fe/(Fe+Mg)$ variando de 0,53 a 0,80. No diagrama Al^{IV} vs $Fe/(Fe+Mg)$ (campos de Anderson & Smith 1995), esses anfibólios plotam no campo dos granitos cristalizados em condições de fugacidade de oxigênio intermediária, com exceção de algumas amostras da fácies GC, que

incidem no campo de fugacidade alta (Figura 2.15a). Por sua vez, a biotita das fácies GC, BHMzG, HBMzG e LMzG, tal como nos anfibólitos, apresenta razões $Fe/(Fe+Mg)$ similares às dos granitos anorogênicos proterozóicos da série magnetita da Laurentia (Figura 2.15b; campos dos granitos de Laurentia segundo Anderson & Bender 1989; variações em biotitas das séries ilmenita e magnetita, conforme Anderson *et al.* 2008). O diagrama $Al^{IV} + Al^{VI}$ vs. $Fe/(Fe+Mg)$ sugere, ainda, condições de fugacidade de oxigênio para o Granito Bannach entre FMQ e FMQ+1, correspondendo, portanto, a condições fracamente oxidantes. Porém, a marcante presença de magnetita associada à titanita magmática e a composição dos anfibólitos (Fig. 2.15a) são indicativas de cristalização em condições oxidantes (Frost & Lindsley 1991; Wones 1989; Dall' Agnol *et al.* 1999c; Frost *et al.* 2000). Dall' Agnol *et al.* (1997) estimaram que o Granito Jamon cristalizou em condições de fugacidade um pouco superiores às do tampão NNO (NNO+0,5). Posteriormente Dall' Agnol *et al.* (1999c), em estudos experimentais naquele mesmo granito, chegaram a conclusões similares em termos das suas condições de cristalização. Os granitos Jamon e Bannach mostram muitas analogias petrográficas e mineralógicas, com destaque para o fato de ambos apresentarem associações de minerais óxidos de Fe e Ti e composições de anfibólito muito similares (Fig. 2.15a). Porém, as biotitas das fácies BHMzG, HBMzG e LMzG mostram razões $Fe/(Fe+Mg)$ um pouco mais elevadas que às do Granito Jamon (Fig. 2.15b) e isto sugere que o Granito Bannach pode ter cristalizado em condições um pouco menos oxidantes que às verificadas no caso do Granito Jamon (NNO a NNO-0,5).

Um comportamento distinto ao das demais fácies do Granito Bannach é observado na fácies LMzMt, a qual, apesar de possuir magnetita, exibe razões $Fe/(Fe+Mg)$ em biotita muito elevadas (0,89 a 0,91). Em decorrência, ela plota francamente no campo dos granitos da série ilmenita (Figura 2.15b) e revela neste aspecto analogias com granitos de Laurentia formados em condições reduzidas (Anderson & Smith 1995; Anderson *et al.* 2008; Dall' Agnol *et al.* 2005; Cunha *et al.* 2016). Almeida *et al.* (2006) já haviam destacado que a fácies LMzMt se distingue das demais por seu modo de ocorrência no campo e por exibir comportamento distinto de Y e elementos terras raras. Além disso, ela não mostra relações claras com as fácies menos evoluídas em termos de diferenciação magmática. Estas evidências levaram aqueles autores a concluir que a fácies LMzMt seria produto de pulsos magmáticos independentes. Os novos dados mineralógicos apresentados no presente trabalho reforçam esta hipótese, pois indicam que o LMzMt derivou de magma, e, por extensão, fonte, mais reduzidos do que os das outras fácies do Granito Bannach.

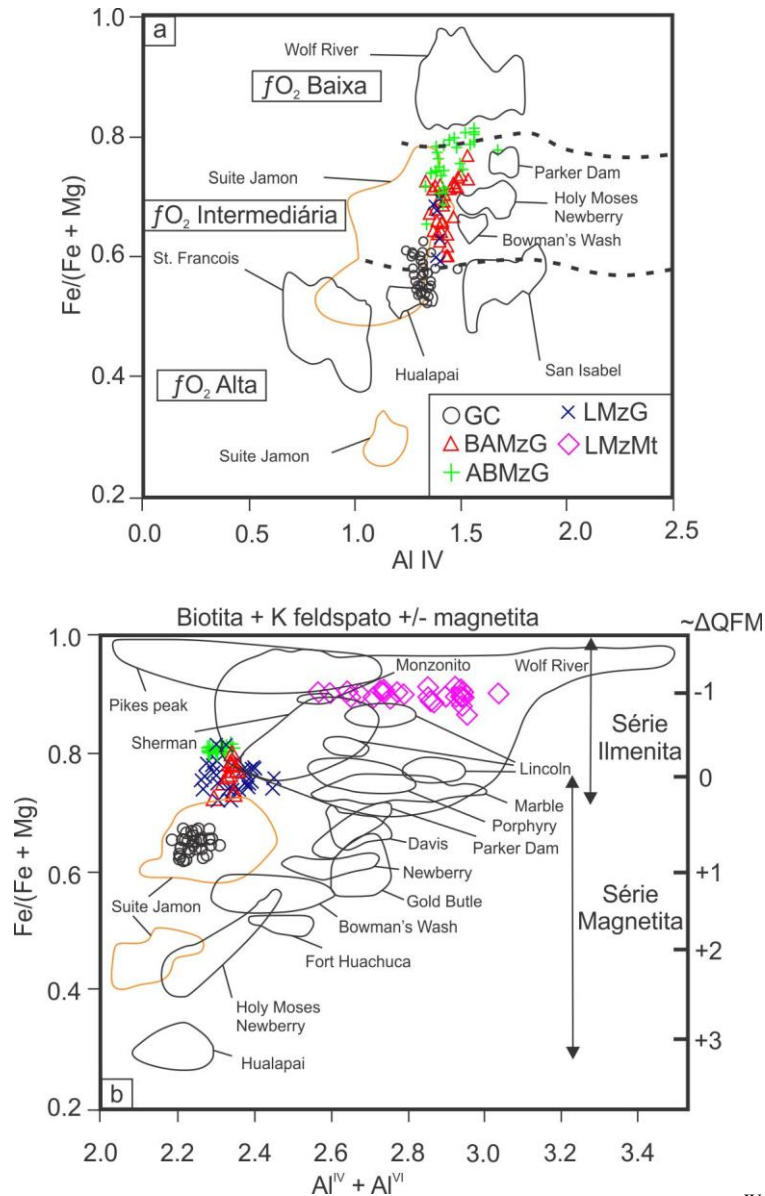


Figura 2.15: Variação composicional de anfibólio e biotita do Granito Bannach . a) Al^{IV} vs $Fe/(Fe+Mg)$, mostrando as composições dos anfibólios das diversas fácies do Granito Bannach (campos de Anderson & Smith, 1995); para comparação, anfibólios da Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005) e de granitos mesoproterozoicos da Laurentia (Anderson & Smith 1995; Frost *et al.* 1999); b) $Al^{IV} + Al^{VI}$ vs. $Fe/(Fe+Mg)$ mostrando a variação composicional das biotitas do Granito Bannach, da Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005) e de granitos mesoproterozoicos da Laurentia (Anderson & Bender, 1989; Barker *et al.* 1975; Pikes Peak; Frost *et al.* 1999; Batólito Sherman; Anderson *et al.* 2008; Wolf River e variação de biotitas de granitos das séries ilmenita e magnetita). (Diagramas baseados em Cunha *et al.* 2016, e Dall'Agnol *et al.* 2017).

Conteúdo de água

Tal como a pressão, temperatura e fugacidade de oxigênio, o conteúdo de água do magma influencia diretamente na estabilidade dos minerais que compõem. O anfibólio, por exemplo, é extremamente dependente deste parâmetro (Dall' Agnol *et al.* 1999c, Klimm *et al.* 2003, M. A. Oliveira *et al.* 2010). M. A. Oliveira *et al.* (2010) estudaram granodiorito com elevado conteúdo de anfibólio modal e estimaram, via comparações entre composições

naturais e experimentais de suas principais fases minerais, as últimas obtidas em experimentos no intervalo de T entre 950-680C°, teores de água acima de 7% para o magma. Cunha *et al.* (2016), por sua vez, com base na estabilidade do anfibólio, estimaram um conteúdo mínimo de 4% de água no magma formador do Granito Planalto. Experimentos realizados por Dall'Agnol *et al.* (1999c) no Granito Jamon mostraram que, em condições oxidantes e sob pressão de 300 Mpa, hornblendas são estáveis a partir de ~4,5% de água no magma, sendo que a assembléia magnetita-hornblenda-plagioclásio, característica dos estágios iniciais de cristalização daquele granito, é estável até teores de ~6,5% de água. Tal conteúdo de água, entre 4,5 e 6,5%, estimado para o granito Jamon, pode ser igualmente considerado para o Granito Bannach, pois associação mineral, história de cristalização e pressão de colocação são semelhantes em ambos os granitos.

Comparações com outros granitos tipo A da Província Carajás

Para as comparações foram selecionados, com base em estudo anterior de Cunha *et al.* (2016), granitos tipo A paleoproterozóicos das três suítes da Província Carajás (Dall'Agnol *et al.* 1999c; Dall'Agnol *et al.* 2005), além dos granitos tipo A arqueanos do Complexo Estrela (Barros *et al.* 1997, 2009) e Suíte Planalto (Huhn *et al.* 1999; Feio *et al.* 2012, 2013; Cunha *et al.* 2016), acrescidos de dados da Suíte Vila Jussara (Dall'Agnol *et al.* 2017).

Dentre os granitos paleoproterozoicos, o Granito Bannach assemelha-se mais aos da Suíte Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005), da qual ele também faz parte. Apresenta biotita com composições ferrosas como principal mineral máfico, acompanhada por anfibólio nas fácies menos evoluídas (GC, BAMzG e ABMz) e está presente como mineral reliquiar na fácies LMzG. A titanita é um mineral acessório primário no Granito Bannach e na Suíte Jamon de modo geral. Os anfibólios da Suíte Jamon são ferroedenitas a edenitas (Dall'Agnol *et al.* 2005), enquanto que, no Granito Bannach, sua composição varia de ferroedenita a ferrohornblenda e, raramente, hastingsita. As razões Fe/(Fe+Mg) do anfibólio cálcico do Granito Jamon variam de 0,47 a 0,65 em hornblenda biotita-monzogranitos e 0,6 a 0,73 em (hornblenda)-biotita-monzogranitos. Estas razões são similares às obtidas em anfibólios cálcicos das fácies menos evoluídas do Granito Bannach (Figura 16a). Os anfibólios das suítes Serra dos Carajás e Velho Guilherme são hastingsitas com razão Fe/(Fe+Mg) variando de 0,85 a 0,94 e 0,74 a 0,85, respectivamente, razões essas mais elevadas do que as do granito estudado (Figura 16a). Anfibólios ferromagnesianos, produto de alteração de clinopiroxênio, foram descritos em diversos corpos da Suíte Jamon (Gastal 1987; Dall'Agnol 1982). Eles

também ocorrem no Granito Bannach, tendo sido analisados e classificados como cummingtonita e grunerita.

As temperaturas estimadas para o Granito Bannach (Tabela 2.9), são bastante similares às obtidas para o hornblenda-biotita-monzogranito do Granito Jamon (Dall'Agnol *et al.* 2005), que variam entre ~ 870 e $\sim 700^\circ\text{C}$. Por outro lado, os anfibólio-biotita-monzogranitos das suítes Serra dos Carajás e Velho Guilherme, indicam temperatura do *liquidus* mais baixas ($\sim 850^\circ\text{C}$) do que às da Suíte Jamon, e se distinguem desta devido à ausência de clinopiroxênio e ocorrência de plagioclásio menos cálcico (Dall'Agnol *et al.* 2005).

Quanto à pressão de colocação, os geobarômetros de Al em anfibólio sugerem pressões de colocação similares para os corpos Bannach e Jamon. Nos granitos das Suítes Serra dos Carajás e Velho Guilherme não foi possível utilizar geobarômetros de Al em anfibólio, pois estes apresentam elevado conteúdo de ferro (Anderson & Smith 1995). Porém, evidências geológicas, como o alto contraste de viscosidade entre os magmas graníticos e as rochas encaixantes de grau metamórfico baixo, a ausência de foliação e lineação nos plutons permitiram inferir que tais granitos foram colocados em baixas pressões (2 ± 1 kbar, Serra dos Carajás; 1 ± 0.5 kbar, Velho Guilherme; Dall'Agnol *et al.* 2005).

Em termos de fugacidade de oxigênio, as composições dos anfibólios do Granito Bannach, lançadas no diagrama Al^{IV} vs $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$, com campos de Anderson & Smith (1995), indicam que as fácies portadoras de anfibólio e a fácies LMzG do Granito Bannach se situam no campo de fugacidade de oxigênio intermediária, com exceção de parte das amostras da fácies GC, as quais incidem no campo de fugacidade de oxigênio alta, e de algumas da fácies HBMzG que invadem o campo de fugacidade baixa. A distribuição coincide em linha geral com a observada no Granito Jamon, embora o anfibólio cálcico do Granito Bannach tenda a ser levemente enriquecido em Al^{IV} (Figura 2.16a). As composições de biotitas do Granito Bannach, quando lançadas no diagrama $\text{Al}^{\text{IV}} + \text{Al}^{\text{VI}}$ vs $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$, revelam que a fácies cumulática (GC) apresenta biotita com menor razão $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ e, portanto, caráter comparativamente mais oxidado que as fácies BAMzG, ABMzG e LMzG, as quais se situam na transição entre as séries magnetita e ilmenita (conforme estimado por Anderson *et al.* 2008). Por outro lado, a fácies LMzMt é geoquimicamente reduzida, pois exibe razões $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ elevadas (0,89 a 0,91, ver figura 2.16b), se situa no domínio da série ilmenita e possui conteúdos de Al nitidamente superiores aos das demais fácies do Granito Bannach, assim como às Granito Jamon (Figura 2.16b). Conclui-se que as condições de fugacidade reinantes durante a cristalização das fácies portadoras de anfibólio do Granito Bannach foram

em parte superpostas com aquelas estimadas para fácies análogas do Granito Jamon (NNO + 0,5; Dall'Agnol *et al.* 1997, 1999c), porém as razões Fe/(Fe+Mg) das biotitas indicam fugacidade de oxigênio ligeiramente mais redutoras para o primeiro (NNO a NNO-0,5). Além disso, a fácies LMzMt provavelmente foi gerada sob condições reduzidas, pois sua biotita apresenta composição similar às dos granitos Cigano (Suíte Serra dos Carajás) e Antônio Vicente (Suíte Velho Guilherme).

O conteúdo de água estimado por Dall'Agnol *et al.* (1999c) para os granitos da Suíte Jamon (~4,5% a 6,5%) pode ser considerado válido também para o Granito Bannach, pois a assembleia mineral e evolução magmática são bastante semelhantes nestes dois granitos.

Os granitos tipo A arqueanos do Complexo Estrela e Suíte Planalto, diferentemente do Granito Bannach, apresentam hastingsita associada à biotita com composição annítica. Cristais de piroxênio são raramente encontrados no Complexo Estrela (Barros *et al.* 1997) e na Suíte Planalto (Feio *et al.* 2012) e, de modo análogo, no Granito Bannach foi observado clinopiroxênio inteiramente transformado em anfibólio ferromagnesiano apenas na fácies cumulática precoce. As razões Fe/(Fe+Mg) em anfibólio e biotita nos granitos arqueanos são elevadas e divergem daquelas observadas nas fácies dominantes do Granito Bannach (Figuras 2.16 a, b). Por outro lado, elas são próximas das encontradas nas biotitas da fácies LMzMt. Isto indica que o Granito Bannach, excetuando a fácies LMzMt, se formou em condições mais oxidantes que os granitos neoarqueanos mencionados, que são reduzidos. Este raciocínio também é válido para as fácies reduzidas da Suíte Vila Jussara, porém não se aplica para os granitos tipo A oxidados e os granitos magnesianos daquela suíte (Dall'Agnol *et al.* 2007) que são oxidados e se formaram em condições de fugacidade análogas às estimadas para os granitos Jamon e Bannach (Figuras 2.16 a, b). Para o Complexo Estrela e suítes Planalto e Vila Jussara, devido à provável fonte granulítica de seus magmas (Feio *et al.* 2012), foram admitidas temperaturas do *liquidus* de ~900°C, mais altas que as consideradas para o Granito Bannach. Da mesma forma, as pressões de colocação tendem a ser mais elevadas no caso dos granitos arqueanos, variando entre 3 e 5kbar (Cunha *et al.* 2016; Dall'Agnol *et al.* 2017).

Comparações com granitos tipo A de outras províncias do mundo

Para as comparações foram escolhidos granitos mesoproterozoicos das séries magnetita e ilmenita da Laurentia (Anderson & Bender 1989; Anderson & Smith 1995; Anderson & Morrison 2005) e granitos rapakivis da Finlândia, representados pelo Batólito Wiborg e plútons Obbnäs e Bodon (Rämö & Haapala 1995; Elliott 2001; Kosunen 2004). As fácies portadoras de anfibólio do Granito Bannach apresentam magnetita como seu principal

opaco e ilmenita subordinada, portanto pertencem a série magnetita (Ishihara 1981). Além disso, titanita é acessório primário significativo nestas fácies. O anfibólio e biotita nelas presentes possuem composições comparáveis às dos granitos da série magnetita da Laurentia (Figura 2.16). Constata-se fortes similaridades composicionais entre o anfibólio cálcico do Granito Bannach e aquele dos granitos Parker Dam, Holy Moses, Newberry, Bowman's Wash, San Isabel e Hualapai, em termos de razões $Fe/(Fe+Mg)$, enquanto que estes últimos divergem pelo fato de apresentarem conteúdo mais elevado de Al^{IV} e Al^{VI} , com exceção de Hualapai. A analogia descrita se mantém de modo geral para a biotita, exceto pelo fato de aquelas presentes nos granitos Holy Moses e Hualapai apresentarem mais baixas razões $Fe/(Fe+Mg)$ que o Granito Bannach (no primeiro caso, elas são similares às dos diques félsicos e microgranitos do plúton Jamon). Os minerais óxidos de Fe e Ti e os diagramas apresentados são altamente sugestivos de que as fácies portadoras de anfibólio do Granito Bannach se formaram em condições oxidantes, análogas às da maioria dos corpos graníticos da série magnetita da Laurentia (Anderson & Smith 1995, Anderson & Morrison 2005). Por outro lado, o conteúdo mais elevado de Al em anfibólio apontaria para formação dos granitos da Laurentia em mais altas pressões do que os da Suíte Jamon. Porém, a crítica detalhada de Anderson & Smith (1995) sobre as limitações do uso do geobarômetro de Al em anfibólio recomenda cautela. Eles mostraram, com base em comparação com indicadores independentes, que, excetuando os granitos mais fortemente oxidados, como Hualapai, San Isabel e Saint Francois, as pressões estimadas para a colocação dos granitos oxidados da Laurentia foram muito provavelmente superestimadas em 2 ± 1 kbar (Anderson & Smith 1995, sua Fig. 8). Considerando esta redução de pressão e assumindo como correta a estimativa de pressão para o Granito Bannach, não haveria diferença expressiva de pressão de colocação entre este e, por extensão, os granitos da Suíte Jamon, e os granitos mesoproterozoicos oxidados Parker Dam, Holy Moses, Newberry e Bowman's Wash da Laurentia.

O batólito Wolf River (Anderson 1980; Anderson *et al.* 2008) e os granitos rapakivi da Finlândia (Rämö & Haapala 1995; Elliott 2001; Kosunen 2004), apresentam anfibólios de composição similar, variando de ferroedenita a hastingsita, com biotita annítica associada. Além disso, magnetita é rara ou ausente e são classificados como granitos da série ilmenita (Ishihara 1981), exceto no caso do Granito Obbnäs que é ligeiramente mais oxidado e contém magnetita. Tais granitos se formaram em condições de baixa fugacidade de oxigênio, próximas às do tampão FMQ (Figura 2.15). As temperaturas estimadas para o Batólito Wolf River são de 640 a 790°C (Anderson 1980), com a temperatura mínima ligeiramente menor

que as registradas no Granito Bannach. Por outro lado, a temperatura de formação do batólito Wiborg, obtida pelo geotermômetro de Blundy & Holland (1990), o mesmo aplicado no Granito Bannach, é de $\sim 740^{\circ}\text{C}$ (Elliot 2001). Geobarômetros de Al em anfibólio forneceram pressões de colocação de ~ 5 kbar para o Batólito Wolf River (Anderson & Smith, 1995) e de 2,5 a 5,4 kbar para o Batólito Wiborg (Elliot 2001), porém a composição muito rica em ferro de seus anfibólios limita severamente a aplicação do geobarômetro do Al em anfibólio (Anderson & Smith 1995) e tais pressões parecem superestimadas devendo se situar mais provavelmente abaixo de 2 kbar no caso de Wolf River (Anderson & Smith 1995) e provavelmente, com base em evidências geológicas (ver discussão em Elliot 2001), tampouco seriam superiores a 2 kbar no caso de Wiborg. Portanto, tais granitos se formaram em condições mais redutoras e provavelmente foram colocadas em menores pressões que o corpo Bannach.

Por outro lado, a fácies LMzMt do Granito Bannach mostra-se distinta das suas fácies portadoras de anfibólio e, apesar de apresentar raros cristais de magnetita, apresenta claras evidências de ter se formado em condições redutoras (Figura 2.15). Neste aspecto a fácies LMzMt se aproxima dos granitos da série ilmenita da Laurentia e dos granitos rapakivi da Finlândia.

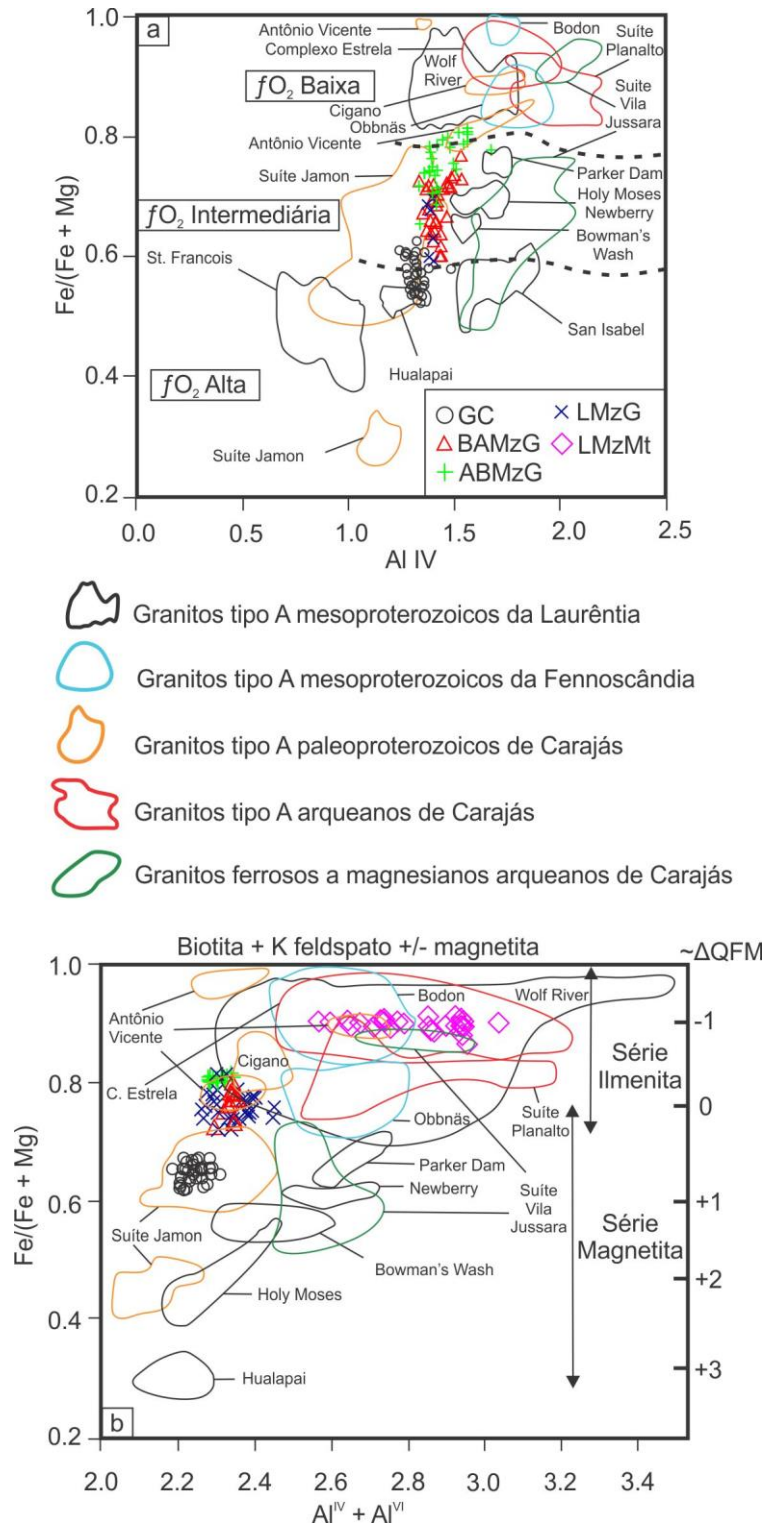


Figura 2.16: Comparação da composição de anfibólio e biotita do Granito Bannach com granitos similares da Província Carajás e de outros crátons do mundo (Baseado em Cunha *et al.* 2016). a) Al^{IV} vs $Fe/(Fe+Mg)$, mostrando a composição dos anfibólios das diversas fácies do Granito Bannach e dos granitos selecionados para comparação, e suas respectivas condições de fugacidade de oxigênio (campos de Anderson & Smith 1995; fontes em Cunha *et al.* 2016 e Dall'Agnol *et al.* 2017); b) $Al^{IV} + Al^{VI}$ vs $Fe/(Fe+Mg)$ mostrando a variação composicional de biotita do Granito Bannach, de outros granitos tipo A da Província Carajás e de outros crátons do mundo. Variações das Séries Ilmenita e Magnetita e ΔQFM conforme Anderson *et al.* (2008)

CONCLUSÕES

O Granito Bannach possui anfibólitos cálcicos (ferro-hornblenda e ferroedenita, localmente hastingsita) e ferromagnesianos (cummingtonita e grunerita), sendo os primeiros mais abundantes e com razão Fe/(Fe+Mg) variando de 0,53 a 0,81, enquanto nos últimos varia entre 0,45 e ~0,57. A biotita é magmática e apresenta razão Fe/(Fe+Mg) > 0,60 e crescente no sentido: GC → BAMzG → ABMZG → LMzG → LMzMt, aproximando-se da composição da annita nesta última variedade. O plagioclásio apresenta zoneamento normal com núcleos de andesina sódica ou oligoclásio cálcico e bordas de oligoclásio sódico nas fácies menos evoluídas e composição de oligoclásio cálcico a sódico com bordas albíticas nas fácies mais evoluídas.

A titanita exibe razões Fe/Al entre 0,48 e 0,57, o que, associado a evidências texturais, permite inferir sua origem magmática. Os minerais de óxidos de Fe-Ti, magnetita e ilmenita, estão presentes nas diferentes fácies. A ilmenita se apresenta nas variedades texturais em treliça, em manchas (*Patches*), composta e individual, enquanto que a magnetita ocorre intercrescida com lamelas de ilmenita em treliça, associada à ilmenita composta ou em cristais homogêneos. Não existem contrastes composicionais expressivos entre as variedades texturais de ilmenita, mas se constatou enriquecimento em MnO nas ilmenitas das fácies mais félsicas. A magnetita é sempre pobre em Ti, sendo que os cristais homogêneos associam-se com cummingtonita-grunerita e são praticamente desprovidos de Ti.

O Granito Bannach apresenta, conforme geotermômetro de saturação em zircão, temperaturas próximas do *liquidus* entre 943 a 795°C e, segundo o geotermômetro de plagioclásio e anfibólio, temperaturas mais próximas do *solidus* entre 807 a 732°C, em ambos os casos decrescendo das fácies mais ricas em máficos para as mais félsicas. O geobarômetro de Al em anfibólio (Mutch *et al.* 2016) forneceu pressões de colocação de 3±0,5 kbar (11,1±1,9 km), sendo que não há variações expressivas nas fácies com anfibólio cálcico, embora se tenha constatado uma leve tendência para decréscimo na fácies LMzG. Estimou-se conteúdo de água entre ~4,5% e 6,5% no magma dominante do Granito Bannach com base em suas características mineralógicas e analogias com o Granito Jamon. As razões Fe/(Fe+Mg) de anfibólio e a presença de magnetita e titanita magmáticas sugerem cristalização sob condições moderadamente oxidantes, um pouco acima de NNO, semelhantes às do magma Jamon, porém, as composições de biotita apontam para condições um pouco mais redutoras. Com base nisso, foi inferido que a cristalização das fácies dominantes no corpo Bannach se deu em condições de fugacidade de oxigênio correspondentes às de NNO a NNO -0,5. A fácies LMzMt representa exceção, pois, apesar de apresentar magnetita em sua mineralogia, a

elevada razão $Fe/(Fe+Mg)$ de sua biotita, implica provável formação em condições mais reduzidas que as das demais fácies.

Quando comparado a outros granitos tipo A da Província Carajás, o Granito Bannach mostra maior similaridade com os granitos tipo A oxidados da Suíte Jamon e apresenta diferenças marcantes em relação aos granitos tipo A paleoproterozoicos moderadamente reduzidos ou reduzidos, respectivamente, das suítes Serra dos Carajás e Velho Guilherme, bem como em relação aos granitos neoarqueanos do Complexo Estrela e suítes Planalto e Vila Jussara. A fácies LMzMt constitui uma exceção, pois em termos de fO_2 mostra maiores analogias com os granitos reduzidos da província.

Dentre os granitos tipo A de outros crátons utilizados para comparação, o Granito Bannach mostrou maior similaridade com os granitos da série magnetita da Laurentia (EUA), cristalizados sob condições moderadamente oxidantes. O batólito mesoproterozoico da série ilmenita Wolf River da Laurentia (EUA) e os granitos rapakivi da Fennoscandia, com destaque para o batólito Wiborg, se distinguem das fácies dominantes do Granito Bannach, entre outras coisas, por terem se formado em condições mais reduzidas. Isto não se aplica para a fácies LMzMt.

As particularidades da fácies LMzMt em relação às demais variedades, já identificadas em trabalhos anteriores, foram ampliadas pelo estudo mineralógico efetuado e a hipótese de sua origem distinta fica fortalecida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida J.A.C. 2005. *Geologia, petrografia e geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, 171 p.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira D.C. 2006. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **31**:17-36.
- Almeida J.A.C., Guimarães F.V., Dall'Agnol R. 2007. Petrologia magnética do granito anorogênico Bannach, terreno granito *greenstone* de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**: 282-295
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Dias S.B., Althoff F.J. 2010. Origin of the Archean leucogranodiorite-granite Suites: Evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. *Lithos*, **120**:235-257.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and origin of the TTG Suítes of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of the Carajás province; Brazil. *Precambrian Research*, **187**:201-221.
- Almeida, J.A.C., Dall'Agnol R., Leite A.A.S. 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite Suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **42**:103-126.
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province; Brazil). *Precambrian Research*, **104**:187-206.
- Anderson, J.L., 1980. Mineral equilibria and crystallization conditions in the late Precambrian Wolf River rapakivi massif. *American Journal of Science*, **280**: 289-332.
- Anderson J.L., Bender E.E., 1989. Nature and origin of Proterozoic A-Type granitic magmatism in the southwestern United States of America. In: Gorbatshev, R. (Ed.), Proterozoic Geochemistry. *Lithos*, **23**: 19-52.
- Anderson J.L., Morrison J. 2005. Ilmenite; magnetite; and peraluminous Mesoproterozoic anorogenic granites of Laurentia and Baltica. *Lithos*, **80**: 45-60.
- Anderson J.L., Smith D.R., 1995. The Effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer. *American Mineralogist*, **80**: 549-559.
- Anderson J.L., Barth A.P., Wooden J.L. Mazdab F. 2008. Thermometers and thermobarometers in granitic systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, **69**: 121-142.
- Barbosa A.A., Lafon J.M., Neves A.P., Vale A.G. 1995. Geocronologia Rb-Sr e Pb-Pb do

Granito Redenção; SE do Pará: Implicações para a evolução do magmatismo Proterozóico da região de Redenção. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi; série Ciências da Terra*, **7**:147-164.

Baker L., Rutherford M.J. 1996. The effect of dissolved water on the oxidation state of silicic melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**: 2179-2187.

Barker F., Wones D.R., Sharp W.N., Desborough G.A. 1975. The Pikes Peak batholiths, Colorado Front Range, and a model for the origin of the gabbro-anorthosite-syenite-potassic granite suite. *Precambrian Research*, **2**: 97-160.

Barros C.E.M., Dall'Agnol R., Barbey P., Boullier A.M. 1997. Geochemistry of the Estrela granite complex, Carajas region, Brazil: an example of an Archean A-type granitoid. *Journal of South American Earth Sciences*, **10**:321-330.

Barros C.E.M., Sardinha A.S., Barbosa J.P.O., Macambira M.J.B., Barbey P., Boullier A.M. 2009. Structure; Petrology; Geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb Geochronology of the Synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type Granites from the Carajás Metallogenic Province; Northern Brazil. *The Canadian Mineralogist*, **47**:1423-1440.

Bettencourt J.S., Tosdal, R.M., Leite JR., W.B., Payolla B.L.1999. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province; southwestern border of the Amazonian craton; Brazil - I. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. *Precambrian Research*, **95**: 41-67.

Blundy J.D., Holland T.J.B. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole plagioclase geothermometer. *Contributions Mineralogy Petrology*, **104**: 208-224.

Boehnke P., Watson E.B., Trail D., Harrison T.M., Schmitt A.K. 2013. Zircon saturation re-revisited. *Chemical Geology*, **351**:324-334.

Brown G.C., Hawkesworth C.J., Wilson R.C.L. 1992. *Understanding the Earth*. Milton Keynes, UK, Department of Earth Sciences The Open University, 229 p.

Buddington A.F., Lindsley D.H. 1964. Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *Journal of Petrology*, **5**(2): 310-357.

Carmichael I.S.E. 1967. The iron-titanium oxides of silic volcanic rocks and their associated ferromagnesian silicates. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **14** (1): 36-64.

Carmichael I.S.E. 1991. The redox states of basic and silicic magmas: a reflection of their source regions. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **106**: 129-141.

Carvalho T. A. Em prep. *Petrografia, Geoquímica e Suscetibilidade Magnética da Porção Leste do Granito Gradaús, Província Carajás, SE do Pará*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém.

Clark D.A. 1999. Magnetic Petrology of igneous intrusion: implications for exploration and magnetic interpretation. *Exploration Geophysics*, **30**: 5-26.

CPRM 2000. Programa de levantamentos geológicos básico do Brasil, Folha Xinguara (SB - 22- Z-C), Estado do Pará. 120p (relatório técnico).

Cunha I. R.V., Dall'Agnol R., Feio G.R.L. 2016. Mineral Chemistry and Magnetic Petrology of the Archean Planalto Suíte, Carajás Province – Amazonian Craton: Implications for the Evolution of Ferroan Archean Granites. *Journal of South American Earth Sciences*, **67**: 100-121.

Dall'Agnol R. 1980. *Etudes sur des granites du type "Rondonian" en Amazonie Orientale et leurs transformations tardi-magmatiques*. Tese de Doutorado, Toulouse, Univ. Paul Sabatier, Labor. Geól. Petrol., 348p.

Dall'Agnol R. 1982. Maço Jamon: Evolução Petrológica de um granito da Amazônia Oriental. In: SBG, 1º Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, *Anais*, **2**:139-161.

Dall'Agnol R., Lafon J.M., Macambira; M.J.B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian Craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, **50**:113-138.

Dall'Agnol R., Pichavant M., Champenois M. 1997. Iron-Titanium Oxide Mineral of the Jamon Granite; Eastern Amazonian Region; Brazil: Implications for the Oxygen Fugacity in Proterozoic, A-type Granites. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **69** (3):325-347.

Dall'Agnol R., Rämö O.T., Magalhães M.S., Macambira M.J.B. 1999a. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian craton: implications for the genesis of Proterozoic A-type granites. *Lithos*, **46**:431–462.

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

Dall'Agnol R., Scaillet B., Pichavant M. 1999c. Evolution of A-type granite magmas: an experimental study of the Lower Proterozoic Jamon Granite, eastern Amazonian craton, Brazil. *Journal of Petrology*, **40** (11): 1673-1698.

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

Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic province, eastern Amazonian craton. In: Dall'Agnol R., Rosa-Costa L.T., Klein E.L. (eds.). Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. *Abstracts Volume and Field Trips Guide*. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, 150p.

Dall'Agnol R. & Oliveira D.C. 2007. Oxidized, magnetite series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**(3-4): 215-233.

Dall'Agnol R., Oliveira D.C., Guimarães F.V., Gabriel E.O., Feio G.R.L., Lamarão C.N., Althoff F.J., Santos P.A., Teixeira M.F.B., Silva A.C., Rodrigues D.S., Santos M.J.P., Silva

C.R.P, Santos R.D., Santos P.J.L. 2013. Geologia do Subdomínio de Transição do Domínio Carajás – Implicações para a evolução arqueana da Província Carajás - Pará. *In: SBG, 13° Simpósio de Geologia da Amazônia*. Belém, *Anais*, CD-ROM.

Dall’Agnol R., Cunha I.R.V., Guimarães F.V., Oliveira D.C., Teixeira M.F.B., Feio G.R.L., Lamarão C.N. 2017. Mineralogy, geochemistry, and petrology of Neoproterozoic ferroan to magnesian granites of Carajás Province, Amazonian Craton: The origin of hydrated granites associated with charnockites. *Lithos*, **277**:3-32.

Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992. *Rock-forming Minerals, second ed.* Longmans, London, p. 696.

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

Elliott B.A. 2001. Crystallization conditions of the Wiborg rapakivi batholith, SE Finland: an evaluation of amphibole and biotite mineral chemistry. *Mineralogy Petrology*, **72**:305-024.

Erdmann S., Martel C., Pichavant M., Kushnir A. 2014. Amphibole as an archivist of magmatic crystallization conditions: problems, potential, and implications for inferring magma storage prior to the paroxysmal 2010 eruption of Mount Merapi, Indonesia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **167**:1-23.

Feio G.R.L., Dall’Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Gomes A.C.B., Sardinha A.S., Oliveira D.C., Santos R.D., Santos P.A. 2012. Geochemistry, Geochronology, and origin of the Neoproterozoic Planalto Granite Suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites? *Lithos*, **151**:57-73.

Feio G.R.L., Dall’Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J. 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implication for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, **227**:157-185.

Frost B.R. 1991. Introduction to oxygen fugacity and its petrologic importance. *In: Lindsley D.H. (Ed.), Oxide Minerals: Petrologic and Magnetic Significance*. Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy* **25**:1-9.

Frost B.R., Lindsley D.H. 1991. Occurrence of iron-titanium oxides in igneous rocks. *In: Lindsley D.H. (Ed.), Oxide Minerals: Petrologic and Magnetic Significance*. Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*, **25**: 433-468.

Frost C.D., Frost B.R., Chamberlain K.R., Edwards B. 1999. Petrogenesis of the 1.43 Ga Sherman batholith, SE Wyoming, USA: a reduced, rapakivi-type anorogenic granite. *Journal of Petrology*, **40**: 1771-1802.

Gaillard F., Scaillet B., Arndt N.T. 2001. The effect of water and fO_2 on the Ferric-ferrous ratio of silicic melts. *Chemical Geology*, **147**: 255-273.

Gastal M.C.P. 1987. *Petrologia do Maço Granítico Musa, Sudeste do Pará*. Dissertação de

Mestrado, Universidade federal do Pará. Centro de Geociências, Belém, 316 p.

Gastal M.C.P. 1988. Magmatismo ácido-intermediário do Proterozoico Médio da região de Rio Maria, SE do Pará: discussão quanto à tipologia. *In: SBG, 35° Congresso Brasileiro De Geologia*. Belém, *Anais*. **3**:1147-1163.

Haggerty S.E. 1991. Oxide textures a mini-atlas. *In: Lindsley, D.H. (Ed.), Oxide Minerals: Petrologic and Magnetic Significance*. Mineralogical Society of America *Reviews in Mineralogy*, **25**: 129-219.

Hammarstron J.M., Zen, E.A. 1986. Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer. *American Mineralogist*, **71**: 1297-1313.

Harrison T.M., Watson E.B. 1984. The behavior of apatite during crustal anatexis: equilibrium and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **48**: 1467-1477.

Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin, R.F., Schumacher J.C., Welch, M.D. 2012. Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, **97**: 2031-2048.

Hibbard M.J. 1995. Mixed magma rocks. *In: Petrography to petrogenesis*. New Jersey, Prentice-Hall, Inc. p. 242-260.

Hollister L.S., Grisson G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B. 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *American Mineralogist*, **72**: 231-139.

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

Huhn S.R.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: SBG, 6° Simpósio de Geologia da Amazônia*. Manaus *Boletim de Resumos Expandidos*, **1**:463-466.

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

Issler R.S., Lima M.I.C. 1987. Amazonian Craton (Brazil) granitogenesis and its relation to geotectonic units. *Revista Brasileira de Geociências*, **17**:426-441.

Johnson M.C., Rutherford M.J. 1989. Experimental calibration of the aluminium-in hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, **17**:837-841.

Klimm K., Holtz F., Johannes W., King P.L. 2003. Fractionation of metaluminous A-type granites: an experimental study of the Wangrah Suite, Lachlan Fold Belt, Australia. *Precambrian Research*, **124**: 327– 341.

Kosunen P.J. 2004. *Petrogenesis of Mid-Proterozoic A-type Granite: Case Studies from Fennoscandia (Finland) and Laurentia (New Mexico)*. PhD thesis. University of Helsinki, Department of Geology.

Kowallis B.J., Christiansen E.H., Griffen D.T. 1997. Compositional variations in titanite. *Geol. Soc. Am. Abst., Prog.* **29** (6):402.

Lafon J.M., Rodrigues E., Duarte K.D. 1994. Le granite Mata Surrão: um magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques trondhjemitiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). *Comptes Rendues de la Academie de Sciences de Paris*, t. **318**, serie II, 642–649.

Lamarão C.N., Dall’Agnol R. 2004. Química mineral de anfibólios e biotitas e condições de cristalização de granitoides paleoproterozoicos da região de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**: 95-108

Leake B.E., Wooley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Schumacher J., Smith J.C., Stephenson, N.C.N. Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and Mineral names. *Mineralogical Magazine*, **61**:295-321.

Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., Le Bas M.J., Bonin B., Bateman P., Bellieni G., Dudek A., Efremova J., Keller J., Lameyre J., Sabine P.A., Schmidt R., Sørensen H., Woolley A.R. 2002. *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms*. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, Cambridge, p. 236.

Leite A.A.S., Dall’Agnol, R., Macambira M.J.B., Althoff F.J. 2004. Geologia e geocronologia dos granitoides arqueanos da região de Xinguara-PA e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, **34** (4):447-458.

Lima P.H.A., Lamarão C.N., Santos M.J.P. 2014. Petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do Granito Paleoproterozoico São João, sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, **9**: 47-72.

Lindsley D.H. and Spencer K.J. 1982. Fe-Ti oxide geothermometry: Reducing analyses of coexisting Ti-magnetite (Mt) and ilmenite (Ilm). *EOS- Earth & Space Science News*. **63**: 471

Macambira M.J.B., Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás, Síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências naturais*, **7**: 263-287.

Machado N., Lindenmayer Z., Krogh, T.E., Lindenmayer D. 1991. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Área, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**: 329-354.

Miller C.F., McDowell S.M., Mapes R.W. 2003. Hot and cold granites? Implications of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance. *Geology*, **June**: 529-532.

Montalvão R.M.G., Bezerra P.E. L., Prado P., Fernandes C.A.C., Silva G.H., Brim R.J.P. 1982. Características petrográficas e geoquímicas do Granito Redenção e suas possibilidades metalogenéticas. *In: SBG, 32º Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, Anais. 2:520 - 548.*

Moore G., Righter K., Carmichael I.S.E. 1995. The effect of dissolved water on the oxidation state of iron in natural silicate liquids. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **120**:170-179.

Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide-Cu-Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U-Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, **46**: 789-811.

Mutch E.J.F., Blundy J. D., Tattitch B. C., Cooper F.J., Brooker R. A. 2016. An experimental study of amphibole stability in low-pressure granitic magmas and a revised Al-in-hornblende geobarometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 171:85

Nachit H., Razafimahefa N., Stussi J.M., Carron J.P. 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes. *Comptes Rendus l'Académie Sci. Paris* **301**:813-818.

Nachit H. 1994. Contribution à la typologie des granitoïdes, Petrogenèse et pétrologie structurale du batholite panafricain du cercle de Tafrouste (boutonnière de Kerdous, Anti-Atlas occidental, Maroc). Université Ibhou Zohor, Agadir, p. 465. Thèse d'Etat.

Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Barros C.E.M., Figueiredo M.A.B.M. 2002. Petrologia magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. *In: Klein E.L., Vasquez M.L., ROSA-COSTA L.T. (Ed.) Contribuições à Geologia da Amazônia*, **3**:115-132.

Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Barros C.E.M., Vale A.G. 2005. Geologia e Petrografia do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais*, Belém, **2** (1): 155-172.

Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Silva J.B.C., Almeida J.A.C. 2008. Gravimetric, radiometric, and magnetic susceptibility study of the Paleoproterozoic Redenção and Bannach plutons: implications for architecture and zoning of A-type granites. *Journal of South American Earth Sciences*, **25**:100–115.

Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Barros C.E.M., Oliveira M.A. 2009. Geology, geochemistry and magmatic evolution of the Paleoproterozoic, anorogenic oxidized A-type Redenção granite of the Jamon Suíte, eastern Amazon Craton, Brazil. *Canadian Mineralogist*, **47** (6):1441-1468.

Oliveira D.C., Neves S.P., Trindade R.L.F., Dall'Agnol R., Mariano G., Correia P.B. 2010a. Magnetic anisotropy of the Redenção granite, eastern Amazonian craton (Brazil): Implications for the emplacement of A-type plutons. *Tectonophysics*, **493**:27-41.

Oliveira D.C., Santos P.J.L., Gabriel E.O., Rodrigues D.S., Faresin A.C., Silva M.L.T., Sousa S.D., Santos R.V., Silva A.C., Souza M.C., Santos R.D., Macambira M.J.B. 2010b. Aspectos geológicos e geocronológicos das rochas magmáticas e metamórficas da região entre os municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás – Província Mineral de Carajás, *In: SBG, 45° Congresso Brasileiro de Geologia*. Belém, *Anais*, CD-ROM.

Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**:146-160.

Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Scaillet B. 2010. Petrological constraints on crystallization conditions of MesoArchean Sanukitoid Rocks, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Petrology*, **51**:2121–2148.

Paiva Jr A.L., Lamarão C.N., Lima P.H.A. 2011. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Batólito Seringa, Província Carajás, SSE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **41**(2): 185-202p.

Pimentel M.M., Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos Terrenos Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *In: SBG, 38° Congresso Brasileiro de Geologia, Boletim de Resumos Expandidos*, Camboriú, 390-391.

Putirka K. 2016. Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes. *American Mineralogist*, **101**(4): 841–858.

Rämö O.T., Haapala I. 1995. One hundred years of rapakivi granite. *Mineralogy and Petrology*, **52**:129–185.

Ridolfi F., Renzulli A. 2012. Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1130°C and 2.2 GPa. *Contributions Mineralogy Petrology*, **163**:877-895.

Ridolfi F., Renzulli A., Puerini M. 2010. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes. *Contributions Mineralogy Petrology*, **160**:45-66.

Rocha Jr. G.L.D. 2004. *Caracterização petrográfica do Granito Paleoproterozóico Marajoara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE do estado do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém. 45p.

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

Schmidt M.W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **110**:304-310.

Schumacher J.C. 1997. The estimation of ferric iron in electron microprobe analysis of amphiboles. *In: Leake, B.E. (Ed.), 1997 Nomenclature of Amphiboles. Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. European Journal of Mineralogy, 9: 623-651.*

Silva Jr. R.O., Dall'Agnol R., Oliveira E.P. 1999. Geologia, petrografia e geoquímica dos diques proterozóicos da região de Rio Maria, sudeste do Pará. *Geochimica Brasiliensis, 13.*

Soares C.M. 1996. *Estudo das relações de contato do granodiorito Rio Maria com os granitos Jamon e Musa e com diques do proterozóico.* Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. Belém. 165p.

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

Vale A.G., Neves P.N. 1994. O Granito Redenção: Estado do Pará. *In: 38º Congresso Brasileiro De Geologia, Balneário Camboriú-SC, 1994. Anais. Camboriú, SBG. 1:149 - 150.*

Vasquez L.V., Rosa-Costa L.R., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008. 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, 328p.

Vigneresse J.L. 2005. The specific case of the Mid-Proterozoic rapakivi granites and associated suite within the context of Columbia supercontinent. *Precambrian Research, 137: 1–34.*

Watson E.B., Harrison T.M. 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters, 64: 295-304.*

Wones D.R. 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *American Mineralogist, 74:744-749.*

CAPÍTULO III

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reavaliação dos estudos anteriores realizados no Granito Bannach, bem como a realização de uma campanha de campo para reconhecimento e amostragem complementar do corpo serviram de suporte para o desenvolvimento do presente trabalho. Os estudos de química mineral permitiram definir a composição química das principais fases minerais das diferentes fácies do granito e, baseadas nelas, estimar os parâmetros que controlaram a cristalização do magma Bannach. A partir disso, foram feitas comparações com granitos similares da Província Carajás e de outros crátons.

As principais conclusões da pesquisa efetuada foram apresentadas no corpo do artigo que será submetido para publicação (Capítulo II) e não serão repetidas aqui.

Como conclusão de caráter geral, cabe registrar que os resultados obtidos neste trabalho proporcionaram um avanço significativo na estimativa dos parâmetros reinantes durante a cristalização das diferentes fácies do corpo Bannach e, em decorrência, no entendimento dos processos reinantes na cristalização de granitos tipo A oxidados. Isto foi possível devido a existência no Instituto de Geociências da UFPA de moderno Laboratório de Microanálises equipado com microscópio eletrônico de varredura e microsonda eletrônica que permitiram a obtenção de dados composicionais rigorosos dos principais minerais constituintes do granito. O confronto entre as novas informações geradas e os recentes trabalhos disponíveis na literatura sobre o tema levaram a delimitar com mais rigor os parâmetros de cristalização do granito. Embora estudos de química mineral não tenham o mesmo alcance da petrologia experimental na definição de tais parâmetros, eles se constituem em ferramenta poderosa para a compreensão da petrologia de rochas magmáticas.

REFERÊNCIAS

- Almeida J.A.C. 2005. *Geologia, petrografia e geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, 171 p.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira D.C. 2006. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **31**:17-36.
- Almeida J.A.C., Guimarães F.V., Dall'Agnol R. 2007. Petrologia magnética do granito anorogênico Bannach, terreno granito *greenstone* de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**: 282-295
- Almeida J.A.C., Oliveira M.A., Dall'Agnol R., Althoff, F.J., Borges R.M.K. 2008. Relatório de mapeamento geológico na escala 1:100.000 da Folha Marajoara (SB-22-ZC V). Programa Geobrasil; CPRM – Serviço Geológico do Brasil; 147p.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Dias S.B., Althoff F.J. 2010. Origin of the Archean leucogranodiorite-granite Suites: Evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. *Lithos*, **120**:235-257.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and origin of the TTG Suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of the Carajás province; Brazil. *Precambrian Research*, **187**:201-221.
- Almeida, J.A.C., Dall'Agnol R., Leite A.A.S. 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite Suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **42**:103-126.
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral province; Brazil). *Precambrian Research*, **104**:187-206.
- Amelin Y.V., Larin A.M, Tucker R.D. 1997. Chronology of multiphase emplacement of the Salmi rapakivi granite-anorthosite complex; Baltic shield: implications for magmatic evolution. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **127**: 353-368.
- Anderson, J.L. 1980. Mineral equilibria and crystallization conditions in the late Precambrian Wolf River rapakivi massif. *American Journal of Science*, **280**: 289-332.
- Anderson J.L., Bender E.E. 1989. Nature and origin of Proterozoic A-Type granitic magmatism in the southwestern United States of America. In: Gorbatshev, R. (Ed.), Proterozoic Geochemistry. *Lithos*, **23**: 19-52.
- Anderson J.L., Morrison J. 2005. Ilmenite; magnetite; and peraluminous Mesoproterozoic anorogenic granites of Laurentia and Baltica. *Lithos*, **80**: 45-60.

Anderson J.L., Smith D.R. 1995. The Effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer. *American Mineralogist*, **80**: 549-559.

Anderson J.L., Barth A.P., Wooden J.L. Mazdab F. 2008. Thermometers and thermobarometers in granitic systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, **69**: 121-142.

Araújo O.J.B., Maia R.G.N. 1991. Folha Serra dos Carajás; *Folha SB-22-Z-A*. Relatório Final. CPRM; Rio de Janeiro; 136p.

Avelar V.G. 1996. *Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão do magmatismo da região de Tucumã; SE do Estado do Pará; Amazônia Oriental*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica; Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 149p.

Barbosa A.A., Lafon J.M., Neves A.P., Vale A.G. 1995. Geocronologia Rb-Sr e Pb-Pb do Granito Redenção; SE do Pará: Implicações para a evolução do magmatismo Proterozóico da região de Redenção. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi; série Ciências da Terra*, **7**:147-164.

Baker L., Rutherford M.J. 1996. The effect of dissolved water on the oxidation state of silicic melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**: 2179-2187.

Barker F., Wones D.R., Sharp W.N., Desborough G.A. 1975. The Pikes Peak batholiths, Colorado Front Range, and a model for the origin of the gabbro-anorthosite-syenite-potassic granite suite. *Precambrian Research*, **2**: 97-160.

Barros C.E.M., Dall'Agnol R., Barbey P., Boullier A.M. 1997. Geochemistry of the Estrela granite complex, Carajas region, Brazil: an example of an Archean A-type granitoid. *Journal of South American Earth Sciences*, **10**: 321-330.

Barros C.E.M., Sardinha A.S., Barbosa J.P.O., Macambira M.J.B., Barbey P., Boullier A.M. 2009. Structure; Petrology; Geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb Geochronology of the Synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type Granites from the Carajás Metallogenic Province; Northern Brazil. *The Canadian Mineralogist*, **47**:1423-1440.

Bettencourt J.S. & Dall'Agnol R. 1987. The Rondonian Tin-bearing anorogenic granites and associated mineralization. *In: Inter. Symp. Granites and Associated Mineralizations; Salvador; 1987. Excursion Guides*. Salvador, SGRM, p.49-87.

Bettencourt J.S., Tosdal, R.M., Leite JR., W.B, Payolla B. L.1999. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province; southwestern border of the Amazonian craton; Brazil - I. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. *Precambrian Research*, **95**: 41-67.

Blundy J.D., Holland T.J.B. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole plagioclase geothermometer. *Contributions Mineralogy Petrology*, **104**: 208-224.

Boehnke P., Watson E.B., Trail D., Harrison T.M., Schmitt A.K. 2013. Zircon saturation re-revisited. *Chemical Geology*, **351**:324-334.

Brown G.C., Hawkesworth C.J., Wilson R.C.L. 1992. *Understanding the Earth*. Milton Keynes, UK, Department of Earth Sciences The Open University, 229 p.

Buddington A.F., Lindsley D.H. 1964. Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *Journal of Petrology*, **5**(2): 310-357.

Carmichael I.S.E. 1967. The iron-titanium oxides of salic volcanic rocks and their associated ferromagnesian silicates. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **14** (1): 36–64.

Carmichael I.S.E. 1991. The redox states of basic and silicic magmas: a reflection of their source regions. *Contributions Mineralogy Petrology*, **106**: 129-141.

Carvalho T. A. Em prep. *Petrografia, Geoquímica e Suscetibilidade Magnética da Porção Leste do Granito Gradaús, Província Carajás, SE do Pará*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém.

Cordani U.G., Sato K. 1999. Crustal evolution of the South American Platform; based on Nd isotopic systematic on granitic rocks. *Episodes*, **22** (3):167-173.

Clark D.A. 1999. Magnetic Petrology of igneous intrusion: implications for exploration and magnetic interpretation. *Exploration Geophysics*, **30**: 5-26.

CPRM 2000. Programa de levantamentos geológicos básico do Brasil, Folha Xinguara (SB - 22- Z-C), Estado do Pará. 120p (relatório técnico).

Cunha I. R.V., Dall’Agnol R., Feio G.R.L. 2016. Mineral Chemistry and Magnetic Petrology of the Archean Planalto Suíte, Carajás Province – Amazonian Craton: Implications for the Evolution of Ferroan Archean Granites. *Journal of South American Earth Sciences*, **67**: 100-121.

Dall’Agnol R. 1980. *Etudes sur des granites du type “Rondonian” en Amazonie Orientale et leurs transformations tardi-magmatiques*. Tese de Doutorado, Toulouse, Univ. Paul Sabatier, Labor. Geól. Petrol., 348p.

Dall’Agnol R. 1982. Maço Jacon: Evolução Petrológica de um granito da Amazônia Oriental. In: SBG, 1º Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, *Anais*. **2**:139-161.

Dall’Agnol R., Bettencourt J.S., Jorge João X.S., Medeiros H., Costi H.T., Macambira M.J.B. 1987. Granitogenesis in northern Brazilian region: a review. *Revista Brasileira de Geociências*, **17**(4):382-403

Dall’Agnol R., Lafon J.M., Macambira; M.J.B. 1994. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian Craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, **50**:113-138.

Dall’Agnol R., Pichavant M., Champenois M. 1997. Iron-Titanium Oxide Mineral of the Jacon Granite; Eastern Amazonian Region; Brazil: Implications for the Oxygen Fugacity in Proterozoic, A-type Granites. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **69** (3):325-347.

Dall'Agnol R., Rämö O.T., Magalhães M.S., Macambira M.J.B. 1999a. Petrology of the anorogenic; oxidised Jamon and Musa granites; Amazonian craton: implications for the genesis of Proterozoic A-type granites. *Lithos*, **46**:431–462.

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

Dall'Agnol R., Scaillet B., Pichavant M. 1999c. Evolution of A-type granite magmas: an experimental study of the Lower Proterozoic Jamon Granite, eastern Amazonian craton, Brazil. *Journal of Petrology*, **40** (11): 1673-1698.

Dall'Agnol R., Oliveira D.C., Macambira M.J.B., Lamarão C.N. 2002. Diques proterozoicos do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria: A descoberta de diques compostos e novos dados geocronológicos. In: II Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, Belém-Pa, p.13.

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

Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás metallogenic province, eastern Amazonian craton. In: Dall'Agnol R., Rosa-Costa L.T., Klein E.L. (eds.). Symposium on Magmatism, Crustal Evolution, and Metallogenesis of the Amazonian Craton. *Abstracts Volume and Field Trips Guide*. Belém, PRONEX-UFPA/SBG-NO, 150p.

Dall'Agnol R. & Oliveira D.C. 2007. Oxidized, magnetite series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**(3-4): 215-233.

Dall'Agnol R., Oliveira D.C., Guimarães F.V., Gabriel E.O., Feio G.R.L., Lamarão C.N., Althoff F.J., Santos P.A., Teixeira M.F.B., Silva A.C., Rodrigues D.S., Santos M.J.P., Silva C.R.P, Santos R.D., Santos P.J.L. 2013. Geologia do Subdomínio de Transição do Domínio Carajás – Implicações para a evolução arqueana da Província Carajás - Pará. In: SBG, 13º Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, *Anais*, CD-ROM.

Dall'Agnol R., Cunha I.R.V., Guimarães F.V., Oliveira D.C., Teixeira M.F.B., Feio G.R.L., Lamarão C.N. 2017. Mineralogy, geochemistry, and petrology of Neoproterozoic ferroan to magnesian granites of Carajás Province, Amazonian Craton: The origin of hydrated granites associated with charnockites. *Lithos*, **277**:3-32.

Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1992. *Rock-forming Minerals, second ed.* Longmans, London, p. 696.

Dias S.B. 2009. *Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica de granitos Arqueanos da Folha Marajoara, terreno granito-greenstone de Rio Maria, sudeste do Pará*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 129p.

DOCEGEO 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. *In*: SBG, 35° Congresso Brasileiro de Geologia, Província Mineral de Carajás-Litoestratigrafia e principais depósitos.

Duarte K.D. 1992. *Geologia e geoquímica do Granito Mata Surrão (SW de Rio Maria-PA): um exemplo de granito "stricto sensu" Arqueano*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Belém, 217 p.

Duarte K.D., Dall'Agnol R. 1996. Geologia e geoquímica do leucogranito arqueano potássico Mata Surrão, terreno granito-greenstone de Rio Maria, Pará. *Boletim IG - USP*, **18**: 113-115 (publ. esp.).

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

Eklund O., Shebanov A.D. 1999. The origin of rapakivi texture by sub-isothermal decompression. *Precambrian Research*. **95**: 129–146.

Emslie R.F. 1991. Granitoids of rapakivi granite-anorthosite and related associations. *Precambrian Research*, **5**:173-192.

Elliott B.A. 2001. Crystallization conditions of the Wiborg rapakivi batholith, SE Finland: an evaluation of amphibole and biotite mineral chemistry. *Mineralogy Petrology*, **72**:305-024.

Erdmann S., Martel C., Pichavant M., Kushnir A., 2014. Amphibole as an archivist of magmatic crystallization conditions: problems, potential, and implications for inferring magma storage prior to the paroxysmal 2010 eruption of Mount Merapi, Indonesia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **167**:1-23.

Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Gomes A.C.B., Sardinha A.S., Oliveira D.C., Santos R.D., Santos P.A. 2012. Geochemistry, Geochronology, and origin of the Neoproterozoic Planalto Granite Suite, Carajás, Amazonian craton: A-type or hydrated charnockitic granites? *Lithos*, **151**:57-73.

Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J. 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implication for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*, **227**:157-185.

Fraga L.M., Dall'Agnol R., Costa J.B.S., Macambira M.J.B. 2009. The Mesoproterozoic Mucajaí anorthosite-mangerite-rapakivi granite association, Amazonian Craton, Brazil. *Canadian Mineralogist*, **47**: 1469-1492.

Frost B.R. 1991. Introduction to oxygen fugacity and its petrologic importance. *In*: Lindsley D.H. (Ed.), *Oxide Minerals: Petrologic and Magnetic Significance*. Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*, **25**:1-9.

Frost B.R., Lindsley D.H. 1991. Occurrence of iron-titanium oxides in igneous rocks. *In*: Lindsley D.H. (Ed.), *Oxide Minerals: Petrologic and Magnetic Significance*. Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*, **25**: 433-468.

Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J., Frost C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, **40**: 261-293.

Frost C.D., Frost B.R., Chamberlain K.R., Edwards B. 1999. Petrogenesis of the 1.43 Ga Sherman batholith, SE Wyoming, USA: a reduced, rapakivi-type anorogenic granite. *Journal of Petrology*, **40**: 1771-1802.

Gabriel E.O. 2012. *Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética dos granitoides arqueanos da porção nordeste de Água Azul do Norte (PA) – Província Carajás*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 107p.

Gabriel E.O., Oliveira D.C., Santos M.S. 2014. Sanukitoides mesoarqueanos de Água Azul do Norte, Sul do Domínio Carajás: Novos dados e perspectivas. In: SBG, 47° Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, *Anais*, CD-ROM.

Gaillard F., Scaillet B., Arndt N.T. 2001. The effect of water and fO_2 on the Ferric-ferrous ratio of silicic melts. *Chemical Geology*, **147**: 255-273.

Gastal M.C.P. 1987. *Petrologia do Maço Granítico Musa, Sudeste do Pará*. Dissertação de Mestrado, Universidade federal do Pará. Centro de Geociências, Belém, 316 p.

Gastal M.C.P. 1988. Magmatismo ácido-intermediário do Proterozoico Médio da região de Rio Maria, SE do Pará: discussão quanto à tipologia. In: SBG, 35° Congresso Brasileiro De Geologia. Belém, *Anais*, **3**:1147-1163.

Gomes A.C.B. 2003. *Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 160p.

Gonçalez M.G.B., Dall'Agnol R., Vieira E.A.P., Macambira M.J.B., Della Senta N. 1988. Geologia do maciço anorogênico Cigano, Vale do Rio Parauapebas-PA, In: SBG, 35° Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, p. 1132-1146.

Guimarães F.V. 2009. *Geologia, petrografia e geoquímica do trondhjemitó Mogno e rochas arqueanas associadas, terreno granito-greenstone de Rio Maria - SE do Pará*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 102p.

Guimarães F.V.G., Dall'agnol R., Almeida J.A.C., Oliveira M.A. 2010. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do trondhjemitó Mogno e tonalito Mariazinha, Terreno granito-greenstone de Rio Maria,Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **40**: 196–211.

Haapala I., Rämö O.T. 1992. Tectonic setting and origin of the Proterozoic rapakivi granites of the southeastern Fennoscandia. Transactions of the Royal Society of Edinburgh. *Earth Sciences*, **83**: 165–171.

- Haggerty S.E. 1991. Oxide textures a mini-atlas. *In: Lindsley, D.H. (Ed.), Oxide Minerals: Petrologic and Magnetic Significance. Mineralogical Society of American. Reviews in Mineralogy, 25: 129-219.*
- Hammarstron J.M., Zen, E.A. 1986. Aluminium in hornblende: an empirical igneous geobarometer. *American Mineralogist, 71: 1297-1313.*
- Harrison T.M., Watson E.B. 1984. The behavior of apatite during crustal anatexis: equilibrium and kinetic considerations. *Geochimica et Cosmochimica Acta, 48: 1467-1477.*
- Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin, R.F., Schumacher J.C., Welch, M.D. 2012. Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist, 97: 2031-2048.*
- Heinonen A., Fraga L.M., Rämö T., Dall'Agnol R., Mänttari I., Andersen T. 2012. Petrogenesis of the igneous Mucajaí AMG complex, northern Amazonian Craton - geochemical, U-Pb geochronological, and Nd-Hf-O isotopic constraints. *Lithos, 151: 17-34.*
- Hibbard M.J. 1995. Mixed magma rocks. *In: Petrography to petrogenesis. New Jersey, Prentice-Hall, Inc. p. 242-260.*
- Hirata W.K., Rigon J.C., Kadkaru K., Cordeiro A.A.C., Meireles E.M. 1982. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 1º Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, Anais, 1:100-110.*
- Hollister L.S., Grisson G.C., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V.B. 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *American Mineralogist, 72: 231-139.*
- Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria - Sul do Pará. *In: SBG, 35º Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, Anais, 3:1438-1453.*
- Huhn S.R.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: SBG, 6º Simpósio de Geologia da Amazônia. Manaus, Boletim de Resumos Expandidos, 1:463-466.*
- Ishihara S. 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology, 27:293-305.*
- Ishihara S. 1981. The granitoid series and mineralization. *In: SKINNER, B. J. (ed.) Economic Geology, 75th anniversary volume:458-484.*
- Issler R.S., Lima M.I.C. 1987. Amazonian Craton (Brazil) granitogenesis and its relation to geotectonic units. *Revista Brasileira de Geociências, 17:426-441.*
- Javier Rios F., Villas R.N.N., Fuzikawa K. 1994a. Estudo preliminar de Inclusões Fluidas (IF) em veios hidrotermais do Granito Cigano, Serra dos Carajás, PA. *In: SBG, 38º Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú, Boletim de resumos expandidos, p. 639-640.*

Javier Rios F., Villas R.N.N., Pimenta M.A. 1994b. Fluidos relacionados com o hidrotermalismo do Granito Musa (PA): indicações das Inclusões Fluidas (IF) em quartzo de veios mineralizados da Jazida de W de Pedra Preta. *In: SBG, 38º Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú, Boletim de resumos expandidos*, p. 644-645.

Johnson M.C., Rutherford M.J. 1989. Experimental calibration of the aluminium-in hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, **17**:837-841.

Klimm K., Holtz F., Johannes W., King P.L. 2003. Fractionation of metaluminous A-type granites: an experimental study of the Wangrah Suite, Lachlan Fold Belt, Australia. *Precambrian Research*, **124**: 327– 341.

Kosunen P.J. 2004. *Petrogenesis of Mid-Proterozoic A-type Granite: Case Studies from Fennoscandia (Finland) and Laurentia (New Mexico)*. PhD thesis. University of Helsinki, Departamento of Geology.

Kowallis B.J., Christiansen E.H., Griffen D.T. 1997. Compositional variations in titanite. *Geol. Soc. Am. Abst., Prog.* **29** (6):402.

Lafon J.M., Rodrigues E., Duarte K.D. 1994. Le granite Mata Surrão: um magmatisme monzogranitique contemporain des associations tonalitiques trondhjemitiques-granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie Orientale, Brésil). *Comptes Rendues de la Academie de Sciences de Paris*, t. **318**, serie II, 642–649.

Lafon J.M., Macambira M.J.B., Pidgeon R.T. 2000. Zircon U-Pb SHRIMP dating of Neoproterozoic magmatism in the southwestern part of the Carajás Province (eastern Amazonian Craton, Brazil). *In: 31º International Geological Congress. Rio de Janeiro Abstracts, CD-ROM*.

Lamarão C.N., Dall'Agnol R. 2004. Química mineral de anfibólios e biotitas e condições de cristalização de granitoides paleoproterozoicos da região de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**: 95-108

Leake B.E., Wooley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Schumacher J., Smith J.C., Stephenson, N.C.N. Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and Mineral names. *Mineralogical Magazine*, **61**:295-321.

Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., Le Bas M.J., Bonin B., Bateman P., Bellieni G., Dudek A., Efremova J., Keller J., Lameyre J., Sabine P.A., Schmidt R., Sørensen H., Woolley A.R., 2002. *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms*. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, Cambridge, p. 236.

Leite A.A.S. *Geoquímica, petrogênese e evolução Estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. Tese de Doutorado. 2001. Belém,

Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. 330p.

Leite A.A.S., Dall'Agnol, R., Macambira M.J.B., Althoff F.J. 2004. Geologia e geocronologia dos granitoides arqueanos da região de Xinguara-PA e suas implicações na evolução do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**(4):447-458.

Lima P.H.A 2013. *Geologia, petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do Granito Paleoproterozoico São João, sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás*. Dissertação de mestrado Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 74p.

Lima P.H.A., Lamarão C.N., Santos M.J.P. 2014. Petrografia, geoquímica e suscetibilidade magnética do Granito Paleoproterozoico São João, sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*. **9**: 47-72.

Lindsley D.H. and Spencer K.J. 1982. Fe-Ti oxide geothermometry: Reducing analyses of coexisting Ti-magnetite (Mt) and ilmenite (Ilm). *EOS- Earth & Space Science News*. **63**: 471

Macambira M.J.B., Lancelot J. 1991. Em busca do embasamento arqueano da região de Rio Maria, sudeste do Estado do Pará. *In*: RBG, 3º Simpósio de Geologia da Amazônia. Belém, *Resumos Expandidos*, 49-58.

Macambira M.J.B. 1992. *Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans L'Amazonie du sud-est, exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajas, Brésil*. Tese de Doutorado, Université Montpellier II, França. 212 p.

Macambira M.J.B., Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás, Síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, **7**: 263-287.

Machado N., Lindenmayer Z., Krogh, T.E., Lindenmayer D. 1991. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Área, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**: 329-354.

Miller C.F., McDowell S.M., Mapes R.W. 2003. Hot and cold granites? Implications of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance. *Geology*, **June**: 529-532.

Medeiros H., Dall'Agnol R. 1988. Petrologia da porção leste do batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. *In*: SBG, 35º Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, *Anais*, **3**:1488-1499.

Montalvão R.M.G., Bezerra P.E. L., Prado P., Fernandes C.A.C., Silva G.H., Brim R.J.P. 1982. Características petrográficas e geoquímicas do Granito Redenção e suas possibilidades metalogenéticas. *In*: SBG, 32º Congresso Brasileiro De Geologia. Salvador, *Anais*, **2**:520 - 548.

- Moore G., Righter K., Carmichael I.S.E. 1995. The effect of dissolved water on the oxidation state of iron in natural silicate liquids. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **120**:170-179.
- Moreto C.P.N., Monteiro L.V.S., Xavier R.P., Amaral W.S., Santos T.J.S., Juliani C., Souza Filho C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide-Cu-Au Bacaba deposit, Carajás Mineral Province: U-Pb geochronology and metallogenetic implications. *Mineralium Deposita*, **46**: 789-811.
- Mutch E.J.F., Blundy J. D., Tattitch B. C., Cooper F.J., Brooker R.A. 2016. An experimental study of amphibole stability in low-pressure granitic magmas and a revised Al-in-hornblende geobarometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 171:85
- Nachit H., Razafimahefa N., Stussi J.M., Carron J.P. 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes. *Comptes Rendus l'Académie Sci. Paris* **301**:813-818.
- Nachit H. 1994. Contribution à la typologie des granitoïdes, Petrogenèse et pétrologie structurale du batholite panafricain du cercle de Tafrouste (boutonnière de Kerdous, Anti-Atlas occidental, Maroc). Université Ibnou Zohor, Agadir, p. 465. Thèse d'Etat.
- Oliveira D.C. 2001. *Geologia, geoquímica e petrologia magnética do granito paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, 202p
- Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Barros C.E.M., Figueiredo M.A.B.M. 2002. Petrologia magnética do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. In: Klein E.L., Vasquez M.L., ROSA-COSTA L.T. (Ed.) *Contribuições à Geologia da Amazônia*, **3**:115-132.
- Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Barros C.E.M, Vale A.G. 2005. Geologia e Petrografia do Granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais*, **2** (1): 155-172.
- Oliveira, D.C. 2006. *Modelos de evolução e colocação dos granitos paleoproterozoicos da Suíte Jamon, SE do Cráton Amazônico*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém, 171 p.
- Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Silva J.B.C., Almeida J.A.C. 2008. Gravimetric, radiometric, and magnetic susceptibility study of the Paleoproterozoic Redenção and Bannach plutons: implications for architecture and zoning of A-type granites. *Journal of South American Earth Sciences*, **25**:100–115.
- Oliveira D.C., Dall'Agnol R., Barros C.E.M., Oliveira M.A. 2009. Geology, geochemistry and magmatic evolution of the Paleoproterozoic, anorogenic oxidized A-type Redenção granite of the Jamon Suíte, eastern Amazon Craton, Brazil. *Canadian Mineralogist*, **47** (6):1441-1468.
- Oliveira D.C., Neves S.P., Trindade R.L.F., Dall'Agnol R., Mariano G., Correia P.B. 2010a. Magnetic anisotropy of the Redenção granite, eastern Amazonian craton (Brazil): Implications for the emplacement of A-type plutons. *Tectonophysics*, **493**:27-41.

Oliveira D.C., Santos P.J.L., Gabriel E.O., Rodrigues D.S., Faresin A.C., Silva M.L.T., Sousa S.D., Santos R.V., Silva A.C., Souza M.C., Santos R.D., Macambira M.J.B. 2010b. Aspectos geológicos e geocronológicos das rochas magmáticas e metamórficas da região entre os municípios de Água Azul do Norte e Canaã dos Carajás – Província Mineral de Carajás, *In: SBG, 45° Congresso Brasileiro de Geologia*. Belém, *Anais*, CD-ROM.

Oliveira D.C., Gabriel E.O., Santos P.J.L., Silva C.R.P., Rodrigues D.S., Santos R.D., Galarza M.A., Marangoanha B., Santos M.S., Souza D.B. 2014. Geologia da região de Água Azul do Norte (PA). Implicações para a compartimentação tectônica do Domínio Carajás, *In: SBG, 47° Congresso Brasileiro de Geologia*. Salvador, *Anais*, CD-ROM.

Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **27**:146-160.

Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Scaillet B. 2010. Petrological constraints on crystallization conditions of Mesoarchean Sanukitoid Rocks, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Petrology*, **51**:2121–2148.

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

Paiva Jr A.L., Lamarão C.N., Lima P.H.A. 2011. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Batólito Seringa, Província Carajás, SSE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **41**(2): 185-202p.

Pearce J.A, Harris N.B.W, Tindle A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**: 956-983.

Pidgeon R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. 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*, **166**:159-171.

Pimentel M.M., Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos Terrenos Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *In: SBG, 38° Congresso Brasileiro de Geologia*. Camboriú, *Boletim de Resumos Expandidos*, p. 390-391.

Putirka K. 2016. Amphibole thermometers and barometers for igneous systems and some implications for eruption mechanisms of felsic magmas at arc volcanoes. *American Mineralogist*, **101**(4): 841–858.

Rämö O.T., Haapala I. 1995. One hundred years of rapakivi granite. *Mineralogy and Petrology*, **52**:129–185.

Ridolfi F., Renzulli A. 2012. Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1130°C and 2.2 GPa. *Contributions Mineralogy Petrology*, **163**:877-895.

Ridolfi F., Renzulli A., Puerini M. 2010. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes. *Contributions Mineralogy Petrology*, **160**:45-66.

Rieder M. 1998. Nomenclature of the micas. *Mineralogical Magazine*, **63**:267-279.

Rivalenti G., Mazzuchelli M., Girardi V.A.V., Cavazzini G., Finatti C., Barbieri M.A., Teixeira W. 1998. Petrogenesis of the Paleoproterozoic basaltic andesite- rhyolite dyke association in the Carajás region, Amazonian Craton. *Lithos*, **43**:235-265.

Rocha Jr. G.L.D. 2004. *Caracterização petrográfica do Granito Paleoproterozóico Marajoara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, SE do estado do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Belém. 45p.

Rolando A.P & Macambira M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range area, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based on zircon ages and Nd isotopes. *In: 4° South American Symposium on Isotope Geology*. Salvador, *Expanded Abstracts*, CD-ROM

Santos J.S.O., Hartmann L.A., Faria M.S., Riker S.R., Souza M.M., Almeida M.E., Mcnaughton N.J. 2006. A compartimentação do Cráton Amazonas em províncias: Avanços ocorridos no período 2000-2006. *In: SBG, 9° Simpósio de geologia da Amazônia*. Belém. *Resumos Expandidos*, CD-ROM.

Santos P.A. 2013. *Geologia, petrografia e geoquímica da associação Tonalítico-Trondhjemitico-Granodiorítica (TTG) do extremo leste do Subdomínio de Transição, Província Carajás - Pará*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociencias. 128p

Santos P.J.L., Oliveira D.C., Galarza M.A., Macambira M.J.B. 2010. Geologia, Petrografia e Geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu da região de Nova Canadá, município de Água Azul do Norte – Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 45° Congresso Brasileiro de Geologia*. Belém, *Anais*, CD-ROM.

Santos P.J.L., Oliveira D.C. 2012. Geologia, Petrografia e Geoquímica das Associações Granodioríticas-Graníticas de Nova Canadá, Subdomínio de Transição, Província Carajás, *In: SBG, 46° Congresso Brasileiro de Geologia*. Santos-SP, *Anais*, CD-ROM.

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

Sardinha A.S., Dall’Agnol R., Gomes A.C.B., Macambira M.J.B., Galarza M.A. 2004. Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitoides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. *In: RBG, 42° Congresso Brasileiro de Geologia*, *Anais*, CD-ROM.

Sardinha A.S., Barros C.E.M., Krymsky R. 2006. 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*, **20**:327-339.

- Schmidt M.W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contributions Mineralogy and Petrology*, **110**:304-310.
- Schumacher J.C. 1997. The estimation of ferric iron in electron microprobe analysis of amphiboles. In: Leake, B.E. (Ed.), 1997. Nomenclature of Amphiboles. Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *European Journal of Mineralogy*, **9**: 623-651.
- Silva A.C., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2010. Individualização e geocronologia de granitoides do Complexo Xingu, região de Vila Jussara, Município de Água Azul do Norte-PA, Província Mineral de Carajás. In: SBG, 45° Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, *Anais*, CD-ROM.
- Silva A.C., Dall'agnol R., Guimarães F.V., Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica de Associações Tonalíticas e Trondhjemiticas Arqueanas de Vila Jussara, Província Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, **9**(1):13-46.
- Silva C.R.P., Oliveira D.C. 2013. Geologia, geoquímica e geocronologia do Diopsídio-Norito Pium, Província Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, **8**(3):355-382.
- Silva Jr. R.O., Dall'Agnol R., Oliveira E.P. 1999. Geologia, petrografia e geoquímica dos diques proterozóicos da região de Rio Maria, sudeste do Pará. *Geochimica Brasiliensis*. **13**.
- Silva G.C., Lima M.I.C., Andrade A.R.F., Issler R.S., Guimarães G. 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC-22 Tocantins. Belém, *DNPM*, **4**:1-143.
- Silva M.L.T., Oliveira D.C., Macambira M.J.B. 2010. Geologia, Petrografia e Geocronologia do magmatismo de alto K da região de Vila Jussara, Água Azul do Norte – Província Carajás. In: SBG, 45° Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, *Anais*, CD-ROM.
- Soares C.M.1996. *Estudo das relações de contato do granodiorito Rio Maria com os granitos Jamon e Musa e com diques do proterozóico*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Pós-Graduação em Geoquímica e Petrologia. Belém. 165p.
- Sousa S.D., Oliveira D.C., Gabriel E.O., Macambira M.J.B. 2010. Geologia, Petrografia e Geocronologia das rochas granitoides do Complexo Xingu da porção a leste da cidade de Água Azul do Norte (PA) - PMC. In: SBG, 45° Congresso Brasileiro de Geologia. Belém *Anais*, Belém, CD-ROM.
- Sousa S.D., Monteiro L.V.S., Oliveira D.C., Delinardo M.A.S., Moreto C.P.N., Juliani C. 2013. O greenstone belts Sapucaia na região de Água Azul do Norte, Província Mineral de Carajás: Contexto geológico e caracterização petrográfica. In: SBG, 47° Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, *Anais*, CD-ROM.

Sousa S.D., Monteiro L.V.S., Oliveira D.C., Juliani C., Delinardo M.A.S., Moreto C.P.N. 2014. O greenstone belts Sapucaia, Província Carajás: Evidência de platôs oceânicos vinculados a plumas mantélicas. *In: SBG, 13° Simpósio de Geologia da Amazônia*. Belém, *Anais*, CD-ROM.

Souza M.C., Oliveira D.C., Macambira M.J.B., Galarza M.A. 2010. Geologia, Petrografia e Geocronologia do granito de alto K da região de Velha Canadá, município de Água Azul do Norte. Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 45° Congresso Brasileiro de Geologia*. Belém, *Anais*, CD-ROM.

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

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

Tassinari C.C.G., Macambira M. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In: MANTESSO-NETO V., Bartorelli, A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B. (EDS.). Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques Almeida*. São Paulo. p. 471-486.

Teixeira M.F.B., Dall'agnol R., Silva, A.C., Santos P.A. 2013. Geologia, petrografia e geoquímica do Leucogranodiorito Pantanal e dos leucogranitos arqueanos da área a norte de Sapucaia, Província Carajás, Pará: implicações petrogenéticas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, **8** (3):291-324.

Teruiya R.K., Paradella W.R., Santos A.R., Dall'agnol R., Veneziani P. 2008. Integrating airborne SAR, Landsat TM and airborne geophysics data for improving geological mapping in the Amazon region: the Cigano Granite, Carajás Province, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, **29**:3957-3974.

Vale A.G., Neves P.N. 1994. O Granito Redenção: Estado do Pará. *In: 38° Congresso Brasileiro De Geologia, Balneário Camboriú-SC, 1994. Anais*. Camboriú, SBG **1**:149 - 150.

Vasquez L.V., Rosa-Costa L.R., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008. 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, 328p .

Vignerresse J.L. 2005. The specific case of the Mid-Proterozoic rapakivi granites and associated suite within the context of Columbia supercontinent. *Precambrian Research*, **137**: 1-34.

Watson E.B., Harrison T.M. 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, **64**: 295-304.

Whalen J.W., Currie K.L., Chappel B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **95**: 407-419.

Wones D.R. 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *American Mineralogist*, **74**:744-749.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - RELAÇÃO DE AMOSTRAS UTILIZADAS NO TRABALHO COM LOCALIZAÇÃO E INDICAÇÃO DE ESTUDOS EFETUADOS

Tabela A.1 - Relação das amostras utilizadas e dos estudos efetuados neste trabalho

Amostras	Long	Lat	Fácies	Macroscopia	Microscopia	Análise modal	MEV	Microsonda
ADR-136i*	571545	9180410	GC	x	x	x	x	x
ADR-136C*	571545	9180410	BAMzG	x	x	x	x	x
ADR-26**	562346	9177782	BAMzG	x	x	x		
ADR-67**	567545	9169422	BAMzG	x	x	x		
ADR-55A*	569671	9176973	ABMzG	x	x	x	x	x
ADR-100A*	572265	9169906	ABMzG	x	x	x		
ADR-35B*	561023	9173577	BMzP	x	x	x		
ADR-35B-1**	561023	9173577	BMzP	x	x	x		
ADR-19**	563790	9180514	BMzP	x	x	x		
ADR-28**	561732	9177537	LMzG	x	x	x		
ADR-32B*	561054	9174836	LMzG	x	x	x	x	x
ADR-32B-1**	561054	9174836	LMzG	x	x	x	x	x
ADR-27C*	562376	9177413	LMzMp	x	x	x		
ADR-140*	567770	9176454	LMzMt	x	x	x		x
ADR-141-1**	567770	9176454	LMzMt	x	x	x		x
ADR-52*	566883	9178482	LMzMt	x	x	x		
ADR-37**	561694	9171211	LMzF	x	x	x		
ADR-35A**	561023	9173577	LMzF	x	x	x		

Acervo do GPPG*; Coletadas pelo autor**

Tabela A.2.1.1: Análises em microsonda eletrônica de anfibólios cálcicos da fácies GC (Cont.).

Fácies Amostra Análise Tipo	GC																						
	ADR-136i																						
	C4_1-1	C4_1-2	C4_1-3	C4_1-4	C4_1-5	C4_1-6	C4_1-7	C4_1-9	C4_2-1	C4_2-2	C4_2-3	C4_2-4	C4_2-5	C5_1-1	C5_1-2	C5_1-3	C5_1-4	C5_1-5	C5_1-6	C5_1-7	C5_1-8	C5_1-9	C5_1-10
Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb	Fe-Hb
SiO ₂ (%peso)	43,52	43,36	43,71	42,98	43,30	43,19	43,48	43,33	43,58	43,64	43,96	43,92	43,85	43,00	43,46	43,55	43,31	43,72	43,46	43,52	43,80	44,04	43,87
TiO ₂	1,69	1,73	1,71	1,84	1,85	1,82	1,81	1,64	1,82	1,82	1,83	1,83	1,74	1,88	1,90	1,75	1,61	1,85	1,72	1,47	1,78	1,59	1,64
Al ₂ O ₃	7,42	7,36	7,24	7,55	7,55	7,58	7,51	7,45	7,37	7,52	7,38	7,55	7,42	7,24	7,38	7,38	7,34	7,40	7,43	7,22	7,26	7,18	7,16
FeO	24,32	24,10	24,23	24,29	23,27	24,45	24,34	23,97	22,77	23,19	22,60	22,50	22,86	24,36	23,18	22,76	23,91	22,58	23,11	23,63	22,28	23,08	23,01
MnO	0,78	0,84	0,82	0,81	0,81	0,86	0,84	0,87	0,84	0,78	0,83	0,76	0,79	0,86	0,77	0,80	0,82	0,71	0,82	0,79	0,79	0,81	0,77
MgO	6,79	6,88	6,74	6,37	7,06	6,63	6,64	6,76	7,71	7,64	7,92	8,03	8,01	6,95	7,38	7,68	6,90	7,70	7,41	6,84	7,93	7,79	7,70
CaO	10,18	10,09	10,12	10,05	10,15	10,01	10,00	10,07	10,29	10,08	10,09	10,10	10,06	9,97	10,20	10,17	10,18	10,13	9,99	10,32	10,26	10,21	10,44
Na ₂ O	1,87	1,99	1,93	1,94	1,92	1,96	1,98	1,95	1,91	1,94	1,98	1,94	1,93	1,94	1,90	1,92	1,95	1,91	1,95	1,91	1,95	1,90	1,87
K ₂ O	0,99	1,03	1,00	1,04	1,06	1,04	1,02	1,00	1,04	1,06	1,02	1,03	0,95	0,98	1,03	1,02	0,99	1,05	1,04	1,01	1,01	1,00	0,99
F	0,40	0,44	0,41	0,43	0,34	0,37	0,42	0,37	0,40	0,47	0,50	0,44	0,50	0,47	0,47	0,45	0,42	0,48	0,51	0,44	0,57	0,58	0,48
Cl	0,17	0,15	0,14	0,16	0,17	0,17	0,18	0,17	0,15	0,14	0,18	0,16	0,17	0,17	0,16	0,15	0,16	0,14	0,16	0,18	0,14	0,14	0,14
(OH)	1,87	1,98	2,08	2,38	2,67	1,99	1,97	2,39	2,18	1,70	1,78	1,86	1,58	2,31	2,17	2,17	2,42	1,93	2,54	2,86	2,12	1,88	2,06
Subtotal:	99,99	99,94	100,12	99,83	100,15	100,06	100,19	99,97	100,05	99,98	100,07	100,10	99,84	100,14	100,00	99,81	100,00	99,59	100,13	100,17	99,89	100,19	100,12
O-F-Cl	0,21	0,22	0,20	0,22	0,18	0,19	0,22	0,19	0,20	0,23	0,25	0,22	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,23	0,25	0,23	0,27	0,28	0,23
Total	99,78	99,72	99,92	99,61	99,96	99,87	99,97	99,78	99,85	99,75	99,82	99,88	99,59	99,90	99,76	99,59	99,79	99,36	99,88	99,94	99,61	99,92	99,89
Fórmula estrutural com base em 23 átomos de oxigênio																							
Si	6,685	6,674	6,722	6,672	6,681	6,641	6,677	6,689	6,676	6,649	6,688	6,669	6,658	6,623	6,677	6,681	6,692	6,702	6,680	6,756	6,713	6,712	6,717
Al ^{IV}	1,315	1,326	1,278	1,328	1,319	1,359	1,323	1,311	1,324	1,350	1,312	1,331	1,327	1,314	1,323	1,319	1,308	1,298	1,320	1,244	1,287	1,288	1,283
Ti ^{IV}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,027	0,009	0,035	0,052	0,053	0,014	0,036	0,044	0,005	0,000	0,012	0,019	0,000	0,012	0,016	0,028	0,040	0,025	0,076	0,024	0,003	0,008	0,008
Ti ^{IV}	0,195	0,200	0,197	0,214	0,214	0,210	0,209	0,191	0,210	0,208	0,209	0,209	0,183	0,155	0,219	0,202	0,187	0,214	0,198	0,172	0,205	0,182	0,188
Fe ³⁺	0,799	0,792	0,745	0,717	0,700	0,837	0,788	0,775	0,750	0,862	0,813	0,841	0,937	0,940	0,750	0,784	0,756	0,732	0,823	0,619	0,707	0,829	0,725
Fe ²⁺	2,324	2,310	2,370	2,435	2,303	2,307	2,337	2,319	2,166	2,093	2,062	2,016	1,965	2,197	2,228	2,136	2,334	2,162	2,148	2,448	2,149	2,113	2,221
Mn	0,101	0,109	0,107	0,107	0,106	0,112	0,110	0,114	0,108	0,101	0,107	0,098	0,101	0,112	0,100	0,104	0,107	0,092	0,107	0,103	0,102	0,104	0,099
Mg	1,554	1,579	1,545	1,474	1,623	1,519	1,520	1,557	1,760	1,737	1,797	1,818	1,813	1,596	1,691	1,757	1,589	1,760	1,699	1,582	1,813	1,770	1,758
Soma C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ca	1,674	1,664	1,667	1,671	1,678	1,649	1,645	1,665	1,689	1,646	1,644	1,643	1,636	1,645	1,678	1,672	1,686	1,663	1,645	1,716	1,685	1,668	1,712
Na	0,326	0,336	0,333	0,329	0,322	0,351	0,355	0,335	0,311	0,354	0,356	0,357	0,364	0,355	0,322	0,328	0,314	0,337	0,355	0,284	0,315	0,332	0,288
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,231	0,258	0,242	0,253	0,252	0,235	0,236	0,249	0,257	0,220	0,228	0,212	0,203	0,225	0,243	0,244	0,270	0,231	0,227	0,290	0,264	0,230	0,268
K	0,194	0,203	0,195	0,206	0,208	0,203	0,199	0,197	0,202	0,205	0,198	0,199	0,183	0,193	0,201	0,199	0,196	0,204	0,204	0,200	0,197	0,195	0,193
Soma A	0,425	0,461	0,437	0,460	0,459	0,438	0,435	0,446	0,460	0,426	0,425	0,411	0,387	0,418	0,444	0,444	0,466	0,435	0,430	0,490	0,461	0,425	0,461
Al ^{total}	1,342	1,335	1,313	1,380	1,372	1,374	1,359	1,355	1,330	1,350	1,324	1,350	1,327	1,314	1,335	1,335	1,336	1,337	1,345	1,320	1,311	1,290	1,291
Fe/(Fe+Mg)	0,599	0,594	0,605	0,623	0,587	0,603	0,606	0,598	0,552	0,547	0,534	0,526	0,520	0,579	0,568	0,549	0,595	0,551	0,558	0,607	0,542	0,544	0,558
Mg/(Mg+Fe)	0,401	0,406	0,395	0,377	0,413	0,397	0,394	0,402	0,448	0,453	0,466	0,474	0,480	0,421	0,432	0,451	0,405	0,449	0,442	0,393	0,458	0,456	0,442

GC = granito cumulático; Fe-Hb = ferro-hornblenda.

Tabela A.2.1.2: Análises em microsonda eletrônica de anfibólios cálcicos da fácies BAMzG.

Fácies Amostra Análise Tipo	BAMzG ADR-136C																				
	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C1_1-6	C1_1-7	C2_1-1	C2_1-2	C2_1-3	C2_1-4	C2_1-5	C2_1-6	C2_1-7	C2_1-8	C2_1-9	C2_2-1	C2_2-2	C2_2-3	C2_2-4	C2_2-5
	Fe-Edn	Hs	Fe-Edn	Hs	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Hbl	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Hbl	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn
SiO ₂ (%peso)	41,99	41,31	41,96	41,19	42,44	41,48	42,18	41,32	41,93	42,26	42,41	42,38	42,32	42,69	42,58	42,31	42,19	42,53	42,74	42,83	40,89
TiO ₂	1,76	1,56	1,68	1,58	1,65	1,35	1,58	1,72	1,88	1,93	1,98	2,11	2,00	2,05	1,92	1,91	2,07	1,86	1,93	2,04	1,49
Al ₂ O ₃	8,20	8,49	8,32	8,71	7,84	8,55	7,87	8,52	8,07	7,95	7,95	7,89	7,91	7,84	7,79	8,02	7,87	7,76	7,61	7,67	8,58
FeO	26,89	27,31	26,35	27,15	26,52	26,71	26,91	26,72	27,10	26,53	26,55	26,37	25,82	25,05	26,12	25,94	26,09	25,78	25,41	24,78	28,42
MnO	0,74	0,64	0,65	0,58	0,62	0,56	0,68	0,63	0,67	0,66	0,69	0,67	0,71	0,68	0,66	0,67	0,70	0,68	0,70	0,66	0,68
MgO	4,49	4,55	5,02	4,66	4,80	4,92	5,02	4,68	4,89	4,96	5,05	5,18	5,39	6,15	5,45	5,02	5,05	5,53	5,73	6,26	3,85
CaO	10,39	10,59	10,43	10,65	10,43	10,51	10,54	10,62	10,18	10,17	10,09	10,10	10,15	10,18	10,37	10,33	10,22	10,22	10,26	10,32	10,32
Na ₂ O	1,94	1,84	1,87	1,82	1,84	1,90	1,88	1,89	1,92	1,93	1,89	1,96	1,95	1,87	1,86	1,85	1,90	1,89	1,86	1,88	1,82
K ₂ O	1,19	1,23	1,22	1,28	1,12	1,28	1,14	1,27	1,16	1,15	1,16	1,18	1,23	1,21	1,18	1,18	1,19	1,18	1,19	1,18	1,24
F	0,44	0,51	0,54	0,47	0,48	0,48	0,48	0,40	0,46	0,51	0,49	0,49	0,46	0,62	0,50	0,49	0,46	0,51	0,53	0,65	0,46
Cl	0,19	0,19	0,19	0,18	0,21	0,22	0,19	0,27	0,22	0,21	0,20	0,19	0,21	0,18	0,17	0,20	0,20	0,16	0,16	0,16	0,17
(OH)	2,03	1,83	1,95	1,54	2,22	2,09	1,77	2,12	1,74	2,00	1,41	1,73	1,89	1,62	1,54	2,20	2,15	1,83	2,02	1,56	2,18
Subtotal:	100,23	100,04	100,17	99,82	100,17	100,05	100,24	100,15	100,20	100,26	99,86	100,24	100,02	100,13	100,11	100,12	100,09	99,92	100,12	99,99	100,10
O-F-Cl	0,23	0,26	0,27	0,24	0,25	0,25	0,24	0,23	0,24	0,26	0,25	0,25	0,24	0,30	0,25	0,25	0,24	0,25	0,26	0,31	0,23
Total	100,00	99,78	99,90	99,58	99,92	99,80	99,99	99,92	99,96	100,00	99,61	99,99	99,79	99,83	99,87	99,87	99,85	99,67	99,87	99,68	99,87
Fórmula estrutural com base em 23 átomos de oxigênio																					
Si	6,596	6,498	6,565	6,469	6,665	6,519	6,591	6,510	6,539	6,602	6,597	6,590	6,599	6,595	6,612	6,632	6,612	6,625	6,652	6,627	6,466
Al ^{IV}	1,404	1,502	1,435	1,531	1,335	1,481	1,409	1,490	1,461	1,398	1,403	1,410	1,401	1,405	1,388	1,368	1,388	1,375	1,348	1,373	1,534
Ti ⁺⁴	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,113	0,071	0,099	0,081	0,115	0,102	0,040	0,092	0,022	0,066	0,054	0,036	0,052	0,021	0,037	0,114	0,065	0,049	0,047	0,026	0,065
Ti ⁺³	0,208	0,185	0,198	0,187	0,195	0,160	0,186	0,203	0,220	0,226	0,231	0,247	0,234	0,238	0,224	0,225	0,244	0,218	0,226	0,237	0,178
Fe ⁺³	0,552	0,687	0,634	0,681	0,537	0,682	0,673	0,575	0,788	0,660	0,721	0,693	0,656	0,739	0,662	0,537	0,588	0,675	0,632	0,656	0,807
Fe ⁺²	2,980	2,905	2,813	2,884	2,946	2,828	2,842	2,946	2,746	2,805	2,732	2,736	2,711	2,496	2,729	2,862	2,831	2,682	2,675	2,551	2,951
Mn	0,098	0,085	0,086	0,077	0,082	0,074	0,090	0,084	0,088	0,087	0,091	0,088	0,094	0,089	0,087	0,089	0,093	0,090	0,092	0,086	0,091
Mg	1,051	1,066	1,170	1,090	1,124	1,153	1,169	1,100	1,136	1,155	1,171	1,201	1,253	1,416	1,261	1,174	1,179	1,285	1,329	1,444	0,908
Soma C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ca	1,748	1,784	1,748	1,792	1,754	1,770	1,764	1,792	1,701	1,702	1,682	1,682	1,695	1,685	1,725	1,735	1,716	1,705	1,710	1,710	1,749
Na	0,252	0,216	0,252	0,208	0,246	0,230	0,236	0,208	0,299	0,298	0,318	0,318	0,305	0,315	0,275	0,265	0,284	0,295	0,290	0,290	0,251
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,338	0,344	0,316	0,347	0,315	0,349	0,332	0,369	0,280	0,288	0,253	0,274	0,284	0,245	0,283	0,298	0,294	0,275	0,271	0,275	0,307
K	0,239	0,246	0,244	0,256	0,224	0,257	0,228	0,255	0,230	0,230	0,230	0,233	0,245	0,238	0,234	0,236	0,238	0,233	0,236	0,233	0,251
Soma A	0,577	0,590	0,559	0,604	0,538	0,606	0,560	0,624	0,510	0,517	0,483	0,507	0,529	0,484	0,517	0,533	0,531	0,509	0,507	0,507	0,557
Al ^{total}	1,517	1,573	1,534	1,613	1,450	1,583	1,449	1,582	1,483	1,464	1,457	1,446	1,453	1,427	1,425	1,482	1,453	1,424	1,395	1,399	1,598
Fe/(Fe+Mg)	0,739	0,731	0,706	0,726	0,724	0,710	0,709	0,728	0,707	0,708	0,700	0,695	0,684	0,638	0,684	0,709	0,706	0,676	0,668	0,638	0,765
Mg/(Mg+Fe)	0,261	0,269	0,294	0,274	0,276	0,290	0,291	0,272	0,293	0,292	0,300	0,305	0,316	0,362	0,316	0,291	0,294	0,324	0,332	0,362	0,235

BAMzG = biotita-anfibólio monzogranito grosso; Fe-Hb = ferro-hornblenda; Fe-Edn = ferro-edenita; Hs = hastingsita.

Tabela A.2.1.2: Análises em microsonda eletrônica de anfibólios cálcicos da fácies BAMzG (Cont.)

Fácies Amostra Análise Tipo	BAMzG																			
	ADR-136C																			
	C3_1-1	C3_1-2	C3_1-3	C3_1-4	C3_1-5	C3_1-6	C3_1-7	C5_2-1	C5_2-2	C5_2-3	C5_2-4	C5_2-5	C6_1-1	C6_1-2	C6_1-3	C6_1-4	C6_1-5	C6_1-6	C6_1-7	C6_1-8
	Fe-Edn	Fe-Hbl	Fe-Edn	Fe-Hbl	Fe-Edn	Fe-Hbl	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Hbl	Fe-Hbl	Fe-Edn	Fe-Hbl	Fe-Edn	Fe-Hbl	Fe-Hbl
SiO ₂ (%peso)	42,02	42,77	42,73	42,81	42,04	42,21	42,04	42,19	42,61	42,65	41,99	42,43	41,65	42,42	42,52	42,47	42,57	41,76	42,27	42,46
TiO ₂	2,02	2,01	2,00	2,17	1,75	1,78	1,98	1,76	2,15	1,97	1,61	2,05	1,64	1,95	1,98	2,05	1,93	1,30	1,74	1,72
Al ₂ O ₃	7,93	7,87	7,80	7,90	7,99	7,97	7,90	7,89	7,84	7,81	8,14	7,83	8,36	7,85	7,88	7,91	7,85	8,46	7,93	7,50
FeO	26,23	24,46	24,34	24,34	26,78	26,46	25,77	26,45	24,42	25,30	26,45	25,09	27,05	26,52	25,66	25,06	25,00	26,23	27,12	27,11
MnO	0,68	0,62	0,58	0,50	0,68	0,71	0,68	0,72	0,61	0,62	0,61	0,66	0,66	0,75	0,68	0,63	0,58	0,60	0,71	0,75
MgO	5,16	6,50	6,93	6,88	4,81	5,56	5,39	4,91	6,32	5,94	5,07	6,00	4,68	5,23	5,78	6,23	6,47	4,79	4,96	5,30
CaO	10,30	10,31	10,30	10,19	10,38	10,09	10,19	10,33	10,14	10,25	10,59	10,28	10,27	10,15	10,04	10,20	10,06	10,49	10,02	10,25
Na ₂ O	1,96	1,88	2,01	1,88	1,86	1,98	1,88	1,88	1,94	1,92	1,88	1,91	1,89	1,91	1,96	1,95	2,01	1,84	1,91	1,81
K ₂ O	1,15	1,18	1,17	1,22	1,13	1,10	1,16	1,13	1,19	1,18	1,16	1,20	1,20	1,11	1,11	1,17	1,12	1,25	1,09	1,10
F	0,48	0,61	0,62	0,65	0,41	0,47	0,55	0,51	0,59	0,51	0,45	0,64	0,47	0,47	0,45	0,63	0,62	0,47	0,44	0,57
Cl	0,21	0,19	0,26	0,19	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,18	0,18	0,18	0,26	0,21	0,21	0,21	0,21	0,25	0,21	0,19
(OH)	2,11	1,78	1,41	1,31	1,88	1,56	2,14	2,21	2,17	1,77	2,00	1,91	2,08	1,42	1,80	1,68	1,77	2,64	1,69	1,32
Subtotal:	100,24	100,18	100,14	100,05	99,91	100,08	99,88	100,18	100,17	100,11	100,13	100,19	100,21	100,00	100,07	100,17	100,19	100,08	100,09	100,07
O-F-Cl	0,25	0,30	0,32	0,32	0,22	0,24	0,28	0,26	0,29	0,26	0,31	0,26	0,25	0,25	0,24	0,31	0,31	0,26	0,23	0,28
Total	99,99	99,88	99,82	99,73	99,69	99,84	99,61	99,92	99,88	99,85	99,90	99,87	99,96	99,76	99,83	99,86	99,88	99,82	99,86	99,79
Fórmula estrutural com base em 23 átomos de oxigênio																				
Si	6,575	6,601	6,567	6,564	6,592	6,536	6,585	6,619	6,609	6,611	6,578	6,591	6,532	6,585	6,585	6,565	6,564	6,598	6,574	6,587
Al ^{IV}	1,425	1,399	1,412	1,427	1,408	1,455	1,415	1,381	1,391	1,389	1,422	1,409	1,468	1,415	1,415	1,435	1,427	1,402	1,426	1,372
Ti ⁴⁺	0,000	0,000	0,021	0,009	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,041
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,037	0,033	0,000	0,000	0,069	0,000	0,044	0,078	0,042	0,038	0,081	0,025	0,077	0,021	0,024	0,005	0,000	0,172	0,028	0,000
Ti ⁺³	0,238	0,233	0,210	0,241	0,207	0,197	0,233	0,208	0,251	0,230	0,190	0,239	0,194	0,227	0,230	0,238	0,215	0,154	0,203	0,159
Fe ⁺³	0,637	0,696	0,770	0,799	0,646	0,902	0,682	0,617	0,661	0,678	0,603	0,671	0,738	0,768	0,790	0,760	0,852	0,558	0,860	0,883
Fe ⁺²	2,794	2,461	2,357	2,322	2,865	2,524	2,694	2,853	2,506	2,601	2,861	2,589	2,809	2,675	2,533	2,479	2,370	2,907	2,666	2,634
Mn	0,090	0,081	0,075	0,065	0,090	0,093	0,090	0,096	0,080	0,081	0,080	0,087	0,087	0,099	0,089	0,083	0,076	0,081	0,093	0,098
Mg	1,204	1,496	1,587	1,573	1,123	1,284	1,258	1,149	1,461	1,372	1,185	1,389	1,095	1,210	1,334	1,435	1,487	1,128	1,149	1,225
Soma C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ca	1,726	1,704	1,696	1,673	1,744	1,674	1,711	1,736	1,684	1,702	1,777	1,711	1,725	1,688	1,666	1,690	1,661	1,775	1,670	1,703
Na	0,274	0,296	0,304	0,327	0,256	0,326	0,289	0,264	0,316	0,298	0,223	0,289	0,275	0,312	0,334	0,310	0,339	0,225	0,330	0,297
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,320	0,268	0,296	0,234	0,310	0,268	0,281	0,309	0,267	0,279	0,348	0,287	0,301	0,263	0,255	0,275	0,263	0,337	0,246	0,248
K	0,230	0,231	0,230	0,239	0,226	0,216	0,232	0,225	0,235	0,233	0,232	0,238	0,240	0,220	0,220	0,230	0,221	0,252	0,216	0,218
Soma A	0,549	0,499	0,526	0,472	0,536	0,484	0,514	0,534	0,502	0,512	0,580	0,524	0,541	0,483	0,475	0,505	0,484	0,589	0,461	0,466
Al ^{total}	1,462	1,431	1,412	1,427	1,477	1,455	1,459	1,458	1,433	1,427	1,503	1,434	1,545	1,436	1,439	1,440	1,427	1,574	1,454	1,372
Fe/(Fe+Mg)	0,699	0,622	0,598	0,596	0,718	0,663	0,682	0,713	0,632	0,655	0,707	0,651	0,719	0,689	0,655	0,633	0,615	0,720	0,699	0,682
Mg/(Mg+Fe)	0,301	0,378	0,402	0,404	0,282	0,337	0,318	0,287	0,368	0,345	0,293	0,349	0,281	0,311	0,345	0,367	0,385	0,280	0,301	0,318

BAMzG = biotita-anfibólio monzogranito grosso; Fe-Hb = ferro-hornblenda; Fe-Edn = ferro-edenita.

Tabela A.2.1.3: Análises em microsonda eletrônica de anfibólios cálcicos da fácies ABMzG.

Fácies Amostra Análise Tipo	ABMzG ADR-55A																						
	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C2_1-1	C2_1-2	C2_1-3	C2_1-4	C2_1-5	C4_1-1	C4_1-5	C4_1-6	C4_1-7	C4_1-8	C4_1-9	C6_1-1	C6_1-2	C6_1-3	C6_1-5	C6_1-7	C6_1-8	C6_1-9
	Hs	Hs	Fe-Edn	Hs	Hs	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Hs	Fe-Edn	Hs	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn
SiO ₂ (%peso)	40,60	40,38	41,90	40,42	40,35	42,12	41,75	41,85	41,80	41,45	40,99	41,88	42,44	41,71	41,06	42,17	40,37	41,06	41,22	40,93	42,25	41,60	40,56
TiO ₂	1,24	1,62	1,46	1,33	1,35	1,86	1,04	1,89	1,98	1,79	1,42	1,60	1,34	1,23	1,28	1,95	1,33	1,48	1,28	1,15	1,39	1,39	1,35
Al ₂ O ₃	8,80	8,69	7,74	8,67	8,72	7,85	7,62	7,78	7,69	7,72	8,39	7,92	7,48	7,96	8,58	7,80	8,40	8,28	8,27	8,37	7,39	7,74	8,67
FeO	29,24	29,18	28,60	29,35	29,28	26,39	27,80	26,74	27,76	28,53	27,88	27,31	27,23	27,65	27,72	26,97	29,01	28,68	28,77	28,48	28,04	28,59	28,62
MnO	0,81	0,82	0,83	0,82	0,84	0,74	0,72	0,80	0,82	0,91	0,71	0,79	0,72	0,72	0,66	0,68	0,75	0,82	0,72	0,79	0,92	0,76	0,85
MgO	3,39	3,11	3,82	3,21	3,16	5,17	4,45	4,91	4,03	3,60	4,10	4,49	4,80	4,30	4,29	4,93	3,28	3,45	3,51	3,69	4,34	3,68	3,54
CaO	10,34	10,29	10,22	10,23	10,28	9,88	10,44	9,90	10,02	10,10	10,25	10,15	10,07	10,49	10,33	10,03	10,58	10,44	10,45	10,50	10,01	10,31	10,36
Na ₂ O	1,92	1,99	1,95	1,96	1,96	2,14	1,81	2,13	2,07	1,96	2,00	2,15	2,09	1,97	2,08	2,10	1,84	1,87	1,85	1,94	1,92	1,89	1,98
K ₂ O	1,46	1,42	1,19	1,42	1,38	1,23	1,30	1,16	1,17	1,19	1,28	1,15	1,12	1,18	1,31	1,16	1,38	1,30	1,32	1,39	1,16	1,19	1,38
F	0,65	0,51	0,60	0,63	0,65	0,87	0,66	0,76	0,64	0,60	0,72	0,77	0,80	0,73	0,82	0,82	0,59	0,54	0,62	0,70	0,64	0,59	0,64
Cl	0,26	0,29	0,24	0,33	0,35	0,23	0,23	0,24	0,22	0,22	0,31	0,25	0,22	0,25	0,33	0,22	0,26	0,29	0,25	0,20	0,20	0,24	0,25
(OH)	1,60	1,76	1,72	1,90	1,96	1,95	2,25	1,81	1,92	2,11	2,24	1,66	2,06	1,89	1,94	1,25	2,45	1,96	2,02	2,01	1,93	2,22	2,07
Subtotal:	100,30	100,05	100,27	100,27	100,28	100,42	100,08	99,96	100,10	100,19	100,30	100,11	100,38	100,09	100,40	100,07	100,24	100,17	100,29	100,15	100,18	100,21	100,30
O-F-Cl	0,33	0,28	0,31	0,34	0,35	0,42	0,33	0,37	0,32	0,30	0,37	0,38	0,39	0,37	0,42	0,40	0,31	0,29	0,32	0,34	0,31	0,30	0,33
Total	99,96	99,77	99,96	99,93	99,93	100,00	99,75	99,59	99,78	99,89	99,93	99,73	100,00	99,72	99,98	99,68	99,93	99,88	99,97	99,81	99,87	99,90	99,97
	Fórmula estrutural com base em 23 átomos de oxigênio																						
Si	6,431	6,436	6,607	6,435	6,434	6,585	6,619	6,571	6,606	6,580	6,500	6,589	6,663	6,601	6,488	6,581	6,476	6,529	6,549	6,517	6,641	6,611	6,452
Al ^{IV}	1,569	1,564	1,393	1,565	1,566	1,415	1,381	1,429	1,394	1,420	1,500	1,411	1,337	1,399	1,512	1,419	1,524	1,471	1,451	1,483	1,359	1,389	1,548
Ti ⁴⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,072	0,069	0,046	0,061	0,072	0,031	0,043	0,010	0,037	0,024	0,069	0,058	0,048	0,084	0,086	0,015	0,063	0,081	0,097	0,089	0,010	0,060	0,078
Ti ³⁺	0,148	0,194	0,174	0,159	0,162	0,218	0,124	0,223	0,235	0,214	0,169	0,190	0,158	0,146	0,152	0,229	0,160	0,177	0,153	0,137	0,164	0,166	0,162
Fe ⁺³	0,809	0,691	0,713	0,803	0,770	0,747	0,725	0,765	0,623	0,689	0,735	0,666	0,725	0,620	0,724	0,726	0,651	0,637	0,652	0,656	0,831	0,662	0,723
Fe ⁺²	3,062	3,198	3,059	3,105	3,133	2,702	2,960	2,746	3,045	3,098	2,962	2,927	2,850	3,039	2,938	2,793	3,240	3,177	3,170	3,136	2,855	3,137	3,084
Mn	0,108	0,110	0,111	0,111	0,113	0,097	0,097	0,106	0,110	0,122	0,095	0,106	0,096	0,096	0,088	0,090	0,102	0,111	0,097	0,106	0,122	0,103	0,115
Mg	0,800	0,738	0,898	0,761	0,750	1,204	1,051	1,150	0,950	0,853	0,970	1,054	1,123	1,014	1,011	1,146	0,784	0,817	0,831	0,876	1,018	0,872	0,839
Soma C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ca	1,754	1,757	1,726	1,745	1,756	1,654	1,773	1,665	1,697	1,717	1,742	1,712	1,694	1,779	1,749	1,677	1,818	1,779	1,779	1,791	1,686	1,756	1,766
Na	0,246	0,243	0,274	0,255	0,244	0,346	0,227	0,335	0,303	0,283	0,258	0,288	0,306	0,221	0,251	0,323	0,182	0,221	0,229	0,209	0,314	0,244	0,234
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,343	0,370	0,323	0,350	0,362	0,302	0,329	0,312	0,331	0,321	0,357	0,366	0,330	0,385	0,386	0,312	0,390	0,356	0,350	0,390	0,271	0,337	0,377
K	0,295	0,289	0,238	0,287	0,281	0,245	0,263	0,232	0,236	0,240	0,259	0,230	0,224	0,239	0,263	0,230	0,283	0,264	0,267	0,283	0,233	0,242	0,280
Soma A	0,638	0,659	0,561	0,637	0,643	0,547	0,591	0,544	0,566	0,562	0,616	0,597	0,554	0,623	0,650	0,542	0,673	0,620	0,617	0,673	0,505	0,579	0,657
Al ^{total}	1,642	1,633	1,439	1,626	1,638	1,446	1,424	1,439	1,432	1,444	1,569	1,469	1,385	1,484	1,599	1,434	1,588	1,552	1,548	1,571	1,369	1,449	1,626
Fe/(Fe+Mg)	0,793	0,812	0,773	0,803	0,807	0,692	0,738	0,705	0,762	0,784	0,753	0,735	0,717	0,750	0,744	0,709	0,805	0,795	0,792	0,782	0,737	0,782	0,786
Mg/(Mg+Fe)	0,207	0,188	0,227	0,197	0,193	0,308	0,262	0,295	0,238	0,216	0,247	0,265	0,283	0,250	0,256	0,291	0,195	0,205	0,208	0,218	0,263	0,218	0,214

ABMzG = anfibólio-biotita monzogranito grosso; Fe-Edn = ferro-edenita; Hs = hastingsita.

Tabela A.2.1.4: Análises em microsonda eletrônica de anfibólios cálcicos da fácies LMzG.

Fácies Amostra Análise Tipo	LMzG							
	ADR-32B-1							
	C2_1-1	C2_1-2	C2_1-3	C2_1-4	C2_1-5	C2_1-6	C2_1-7	C2_1-8
	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn	Fe-Edn
SiO ₂ (%peso)	42,58	42,72	42,63	43,00	43,04	42,92	42,22	42,69
TiO ₂	1,99	2,02	1,85	2,03	1,97	1,94	1,81	1,87
Al ₂ O ₃	7,65	7,58	7,53	7,56	7,54	7,58	7,72	7,57
FeO	25,36	25,00	26,19	25,14	24,11	24,00	26,58	26,12
MnO	0,83	0,78	0,87	0,69	0,72	0,76	0,96	0,87
MgO	5,92	6,34	5,39	6,43	6,91	7,06	5,09	5,58
CaO	10,14	10,09	10,13	10,29	10,16	10,24	10,06	10,23
Na ₂ O	2,05	2,11	2,02	2,05	2,04	2,14	2,07	2,04
K ₂ O	1,21	1,21	1,18	1,20	1,15	1,16	1,15	1,16
F	0,93	0,98	0,83	0,83	0,98	1,03	0,78	0,97
Cl	0,16	0,16	0,17	0,14	0,13	0,15	0,19	0,16
(OH)	1,55	1,27	1,33	0,89	1,36	1,02	1,54	1,15
Subtotal:	100,38	100,25	100,10	100,26	100,11	100,00	100,18	100,39
O-F-Cl	0,43	0,45	0,39	0,38	0,44	0,47	0,37	0,44
Total	99,95	99,80	99,71	99,88	99,67	99,53	99,81	99,95
Fórmula estrutural com base em 23 átomos de oxigênio								
Si	6,603	6,596	6,633	6,606	6,623	6,599	6,588	6,615
Al ^{IV}	1,397	1,379	1,367	1,369	1,366	1,374	1,412	1,382
Ti ⁺⁴	0,000	0,025	0,000	0,025	0,010	0,027	0,000	0,003
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000
Ti ⁺³	0,232	0,209	0,216	0,209	0,218	0,198	0,213	0,215
Fe ⁺³	0,705	0,752	0,700	0,718	0,749	0,741	0,761	0,713
Fe ⁺²	2,583	2,477	2,708	2,512	2,353	2,344	2,707	2,670
Mn	0,109	0,102	0,114	0,089	0,093	0,099	0,127	0,114
Mg	1,369	1,460	1,249	1,473	1,586	1,617	1,184	1,288
Soma C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Ca	1,685	1,669	1,689	1,693	1,674	1,686	1,681	1,698
Na	0,315	0,331	0,311	0,307	0,326	0,314	0,319	0,302
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,302	0,302	0,299	0,304	0,282	0,323	0,308	0,312
K	0,240	0,238	0,234	0,236	0,225	0,227	0,228	0,229
Soma A	0,542	0,539	0,533	0,540	0,507	0,550	0,536	0,541
Al _{total}	1,398	1,379	1,380	1,369	1,366	1,374	1,420	1,382
Fe/(Fe+Mg)	0,654	0,629	0,684	0,630	0,597	0,592	0,696	0,675
Mg/(Mg+Fe)	0,346	0,371	0,316	0,370	0,403	0,408	0,304	0,325

LMzG = leucomonzogranito grosso; Fe-Edn = ferro-edenita.

Tabela A.2.1.5: Análises em microsonda eletrônica de anfibólios ferromagnesianos do Granito Bannach

Fácies Amostra Análise Tipo	GC ADR-136i						BAMzG ADR-136C			ABMzG ADR-55A	
	C4_3-1	C4_3-2	C4_3-3	C4_3-4	C4_3-5	C4_3-6	C5_1-1	C5_1-2	C5_1-3	C6_2-2	C6_2-3
	Cmm	Cmm	Cmm	Cmm	Cmm	Grn	Grn	Grn	Grn	Grn	Grn
SiO ₂ (%peso)	51,69	51,83	52,02	51,82	51,53	51,22	51,05	51,22	51,44	50,81	50,72
TiO ₂	0,14	0,13	0,21	0,13	0,04	0,04	0,07	0,10	0,06	0,12	0,05
Al ₂ O ₃	0,52	0,44	0,47	0,45	0,27	0,37	0,61	0,69	0,54	0,50	0,77
FeO	30,80	30,75	30,45	30,80	31,63	32,43	32,70	31,86	32,42	33,85	32,66
MnO	2,03	1,87	1,56	1,81	1,95	2,09	1,69	1,68	1,71	2,16	1,99
MgO	11,21	11,47	11,47	11,29	10,58	9,78	9,78	9,89	10,20	8,53	8,47
CaO	1,26	1,26	1,55	1,12	1,07	1,07	1,73	2,13	1,37	1,37	2,77
Na ₂ O	0,21	0,21	0,19	0,18	0,12	0,16	0,26	0,24	0,24	0,25	0,31
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,02	0,00	0,04
F	0,18	0,19	0,18	0,21	0,18	0,11	0,21	0,20	0,27	0,45	0,36
Cl	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	0,03
(OH)	1,90	1,90	1,91	2,18	2,55	2,23	1,89	1,86	1,73	1,90	1,75
Subtotal:	99,96	100,07	100,00	100,01	99,93	99,52	100,03	99,93	100,03	99,96	99,92
O-F-Cl	0,08	0,08	0,07	0,09	0,08	0,05	0,09	0,09	0,12	0,20	0,16
Total	99,88	99,98	99,93	99,92	99,86	99,48	99,94	99,84	99,91	99,76	99,76
Fórmula estrutural com base em 23 átomos de oxigênio											
Si	7,917	7,917	7,940	7,949	7,977	7,978	7,891	7,905	7,925	7,916	7,854
Al ^{IV}	0,083	0,079	0,060	0,051	0,023	0,022	0,109	0,095	0,075	0,084	0,141
Ti ⁺⁴	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
Soma T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al ^{VI}	0,010	0,000	0,025	0,031	0,026	0,045	0,003	0,031	0,023	0,008	0,000
Ti ⁺³	0,016	0,011	0,024	0,015	0,005	0,005	0,008	0,011	0,007	0,014	0,001
Fe ⁺³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,121	0,224
Fe ⁺²	2,152	2,134	2,139	2,135	2,271	2,403	2,507	2,464	2,403	2,591	2,558
Mn	0,263	0,242	0,201	0,235	0,256	0,276	0,221	0,219	0,224	0,285	0,261
Mg	2,559	2,613	2,611	2,582	2,443	2,272	2,255	2,275	2,343	1,981	1,956
Soma C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Fe ⁺²	1,793	1,794	1,747	1,816	1,823	1,821	1,713	1,648	1,773	1,697	1,447
Ca	0,207	0,206	0,253	0,184	0,177	0,179	0,287	0,352	0,227	0,229	0,460
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,074	0,093
Soma B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Na	0,064	0,061	0,056	0,052	0,036	0,049	0,079	0,071	0,071	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,004	0,010	0,005	0,000	0,008
Soma A	0,064	0,061	0,056	0,052	0,036	0,051	0,083	0,081	0,076	0,000	0,008
Al ^{total}	0,093	0,079	0,085	0,082	0,049	0,068	0,111	0,126	0,098	0,092	0,141
Fe/(Fe+Mg)	0,457	0,450	0,450	0,453	0,482	0,514	0,526	0,520	0,506	0,567	0,567
Mg/(Mg+Fe)	0,543	0,550	0,550	0,547	0,518	0,486	0,474	0,480	0,494	0,433	0,433

GC = granito cumulático; BAMzG = biotita-anfibólio monzogranito grosso;

Apêndice 2.2 - Biotita

Tabela A.2.2.1: Análises em microsonda eletrônica de biotitas da fácies GC.

Fácies Amostra Análise	GC																			
	ADR-136i																			
	C3_1-1	C3_1-2	C3_1-3	C3_1-4	C3_1-5	C3_1-6	C3_1-7	C4_1-1	C4_1-2	C4_1-3	C4_1-4	C4_1-5	C4_1-6	C4_2-1	C4_2-2	C4_2-3	C4_2-4	C4_2-5	C4_2-6	C4_2-7
SiO ₂ (%peso)	36,36	36,11	36,21	36,05	36,04	36,52	36,33	36,32	36,09	36,20	36,08	36,50	36,84	36,30	36,23	36,02	36,12	36,28	36,11	36,35
TiO ₂	3,47	3,48	3,61	4,41	4,23	4,67	3,35	4,06	4,00	3,75	4,01	2,61	3,38	3,67	4,32	4,04	4,28	4,45	4,43	4,36
Al ₂ O ₃	12,45	12,28	12,30	12,12	12,13	12,24	12,23	12,03	12,00	11,94	12,05	12,23	12,35	12,21	12,16	12,16	12,09	12,09	12,15	11,93
FeO	26,13	25,98	26,49	26,16	26,00	25,76	26,30	25,40	26,16	25,86	25,49	26,01	25,45	26,44	26,39	26,38	26,23	26,34	26,13	25,82
MnO	0,35	0,42	0,44	0,29	0,32	0,28	0,35	0,26	0,32	0,37	0,32	0,32	0,36	0,28	0,39	0,37	0,38	0,37	0,32	0,37
MgO	8,05	7,88	7,81	7,46	7,59	7,54	8,17	8,18	8,07	8,32	8,09	8,38	8,54	7,19	7,34	7,43	7,26	7,35	7,45	7,68
CaO	0,00	0,01	0,03	0,01	0,02	0,08	0,04	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,00	0,03	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04
Na ₂ O	0,03	0,06	0,08	0,06	0,06	0,05	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,07	0,05	0,03	0,10	0,08	0,10	0,10	0,09	0,10
K ₂ O	9,26	9,28	9,12	9,26	9,32	9,31	9,12	9,16	9,24	9,09	9,19	9,11	9,16	9,17	9,05	9,22	9,10	9,13	9,07	9,09
F	0,64	0,62	0,65	0,52	0,53	0,51	0,61	0,67	0,53	0,67	0,65	0,63	0,69	0,57	0,46	0,56	0,50	0,59	0,55	0,54
Cl	0,22	0,21	0,20	0,19	0,19	0,19	0,21	0,18	0,20	0,19	0,21	0,22	0,21	0,23	0,22	0,22	0,23	0,20	0,20	0,21
(OH)	3,20	3,72	3,23	3,55	3,65	2,97	3,31	3,90	3,43	3,73	4,01	4,11	3,09	3,96	3,29	3,59	3,68	3,21	3,60	3,67
Subtotal:	100,17	100,03	100,17	100,06	100,06	100,12	100,09	100,25	100,14	100,19	100,19	100,22	100,12	100,07	99,98	100,08	99,97	100,12	100,13	100,15
O-F-Cl	0,32	0,31	0,32	0,26	0,26	0,26	0,31	0,32	0,27	0,32	0,32	0,31	0,34	0,29	0,24	0,28	0,26	0,29	0,28	0,27
Total	99,85	99,73	99,85	99,80	99,80	99,86	99,79	99,93	99,88	99,86	99,87	99,90	99,78	99,78	99,74	99,79	99,71	99,83	99,86	99,87
Fórmula estrutural com base em 22 átomos de oxigênio																				
Si	5,709	5,710	5,699	5,684	5,691	5,702	5,715	5,720	5,685	5,711	5,703	5,775	5,750	5,753	5,699	5,694	5,711	5,705	5,692	5,653
Al ^{IV}	2,291	2,288	2,282	2,253	2,259	2,253	2,268	2,233	2,228	2,220	2,246	2,225	2,250	2,247	2,254	2,265	2,254	2,241	2,258	2,187
Al ^{VI}	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056	0,023	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,410	0,413	0,427	0,523	0,502	0,548	0,396	0,481	0,473	0,444	0,476	0,311	0,396	0,438	0,511	0,480	0,509	0,526	0,525	0,510
Fe	3,431	3,435	3,486	3,450	3,434	3,364	3,461	3,346	3,447	3,412	3,370	3,442	3,323	3,504	3,472	3,487	3,469	3,465	3,445	3,358
Mn	0,047	0,056	0,059	0,038	0,043	0,037	0,046	0,035	0,043	0,049	0,042	0,043	0,047	0,038	0,052	0,049	0,051	0,049	0,043	0,049
Mg	1,884	1,858	1,831	1,752	1,787	1,755	1,915	1,921	1,895	1,957	1,906	1,976	1,986	1,698	1,721	1,752	1,711	1,722	1,750	1,780
Ca	0,000	0,001	0,004	0,002	0,003	0,013	0,006	0,003	0,005	0,000	0,004	0,004	0,000	0,005	0,007	0,004	0,002	0,004	0,005	0,006
Na	0,010	0,018	0,023	0,019	0,017	0,015	0,026	0,024	0,023	0,027	0,025	0,021	0,016	0,010	0,031	0,026	0,029	0,031	0,028	0,031
K	1,854	1,872	1,830	1,861	1,877	1,854	1,829	1,840	1,857	1,829	1,852	1,839	1,825	1,854	1,816	1,859	1,835	1,831	1,823	1,803
OH*	3,621	3,633	3,621	3,690	3,687	3,699	3,638	3,620	3,684	3,616	3,619	3,627	3,604	3,656	3,716	3,664	3,690	3,656	3,672	3,682
F	0,320	0,310	0,325	0,261	0,263	0,252	0,305	0,331	0,263	0,333	0,325	0,315	0,340	0,283	0,226	0,278	0,250	0,291	0,274	0,263
Cl	0,059	0,057	0,054	0,049	0,050	0,049	0,057	0,049	0,053	0,051	0,055	0,058	0,056	0,060	0,058	0,058	0,061	0,053	0,054	0,055
Al _{Total}	2,304	2,288	2,282	2,253	2,259	2,253	2,268	2,233	2,228	2,220	2,246	2,281	2,273	2,281	2,254	2,265	2,254	2,241	2,258	2,187
Fe/Fe+Mg	0,646	0,649	0,656	0,663	0,658	0,657	0,644	0,635	0,645	0,635	0,639	0,635	0,626	0,674	0,669	0,666	0,670	0,668	0,663	0,654

GC= granito cumulático

Tabela A.2.2.1: Análises em microsonda eletrônica de biotitas da fácies GC (Cont.).

Fácies Amostra Análise	GC													
	ADR-136i													
	C5_1-1	C5_1-2	C5_1-3	C5_1-4	C5_1-5	C5_1-6	C5_1-7	C6_1-1	C6_1-2	C6_1-3	C6_1-4	C6_1-5	C6_1-6	C6_1-7
SiO ₂ (%peso)	36,74	36,91	36,48	36,59	36,69	36,51	36,43	36,28	36,50	36,40	36,38	36,46	36,52	36,56
TiO ₂	3,67	3,75	3,71	3,82	3,70	3,89	3,65	3,94	3,63	3,92	4,40	4,11	3,64	4,04
Al ₂ O ₃	12,16	12,08	11,91	12,08	12,04	12,01	12,12	12,19	12,35	12,14	12,02	12,09	12,22	12,12
FeO	25,38	25,45	25,39	25,17	25,30	25,52	25,56	26,71	26,24	26,65	26,40	26,54	26,75	26,10
MnO	0,31	0,34	0,36	0,36	0,36	0,39	0,20	0,36	0,36	0,40	0,39	0,36	0,26	0,37
MgO	8,53	8,61	8,62	8,57	8,60	8,42	8,16	7,51	7,73	7,57	7,36	7,42	7,55	7,68
CaO	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,05	0,00	0,03	0,03	0,02	0,02
Na ₂ O	0,07	0,09	0,08	0,11	0,07	0,09	0,03	0,10	0,10	0,12	0,14	0,09	0,07	0,11
K ₂ O	9,27	9,28	9,21	9,19	9,24	9,17	9,32	8,93	8,98	8,96	8,98	9,11	9,08	9,06
F	0,68	0,63	0,69	0,66	0,60	0,62	0,54	0,58	0,71	0,58	0,54	0,56	0,54	0,67
Cl	0,21	0,21	0,22	0,22	0,21	0,22	0,20	0,22	0,22	0,22	0,21	0,22	0,22	0,22
(OH)	3,19	2,69	3,34	3,43	3,27	3,32	3,96	3,32	3,27	3,16	3,18	3,15	3,23	3,13
Subtotal:	100,22	100,04	100,02	100,20	100,08	100,18	100,18	100,16	100,15	100,11	100,02	100,15	100,10	100,08
O-F-Cl	0,34	0,31	0,34	0,33	0,30	0,31	0,27	0,29	0,35	0,29	0,27	0,28	0,28	0,33
Total	99,89	99,72	99,68	99,88	99,78	99,87	99,91	99,86	99,80	99,81	99,75	99,86	99,83	99,75
	Fórmula estrutural com base em 22 átomos de oxigênio													
Si	5,742	5,744	5,730	5,730	5,740	5,723	5,671	5,712	5,734	5,720	5,720	5,728	5,741	5,736
Al ^{IV}	2,240	2,216	2,206	2,229	2,221	2,220	2,223	2,263	2,266	2,248	2,227	2,239	2,259	2,242
Al ^{VI}	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000
Ti	0,431	0,439	0,438	0,450	0,436	0,458	0,428	0,466	0,429	0,464	0,520	0,486	0,431	0,477
Fe	3,318	3,313	3,335	3,296	3,311	3,345	3,327	3,517	3,447	3,503	3,472	3,486	3,517	3,426
Mn	0,041	0,044	0,047	0,047	0,048	0,052	0,027	0,048	0,048	0,053	0,051	0,048	0,035	0,049
Mg	1,987	1,997	2,019	2,001	2,005	1,968	1,894	1,762	1,811	1,774	1,725	1,738	1,770	1,797
Ca	0,000	0,001	0,003	0,003	0,002	0,001	0,002	0,004	0,008	0,000	0,005	0,006	0,003	0,004
Na	0,020	0,026	0,024	0,034	0,021	0,029	0,009	0,031	0,030	0,036	0,042	0,028	0,023	0,034
K	1,848	1,842	1,845	1,835	1,843	1,833	1,849	1,793	1,800	1,796	1,801	1,826	1,821	1,814
OH*	3,606	3,635	3,602	3,617	3,646	3,633	3,679	3,653	3,591	3,654	3,675	3,664	3,675	3,610
F	0,338	0,309	0,340	0,326	0,298	0,309	0,268	0,288	0,350	0,287	0,268	0,278	0,267	0,331
Cl	0,057	0,056	0,058	0,057	0,056	0,058	0,053	0,059	0,058	0,059	0,057	0,058	0,058	0,059
Al _{Total}	2,240	2,216	2,206	2,229	2,221	2,220	2,223	2,263	2,287	2,248	2,227	2,239	2,265	2,242
Fe/Fe+Mg	0,625	0,624	0,623	0,622	0,623	0,630	0,637	0,666	0,656	0,664	0,668	0,667	0,665	0,656

GC= granito cumulático

Tabela A.2.2.2: Análises em microsonda eletrônica de biotitas da fácies BAMzG.

Fácies Amostra Análise	BAMzG													
	ADR-136C													
	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C1_1-6	C1_1-7	C5_1-1	C5_1-2	C5_1-3	C5_1-4	C5_1-5	C5_1-6	
SiO ₂ (%peso)	35,52	35,39	35,29	35,38	35,37	35,61	35,52	35,48	35,75	35,73	35,83	35,57	35,57	
TiO ₂	4,33	4,20	4,27	4,51	4,11	4,40	4,05	4,52	4,43	4,04	4,06	4,45	4,23	
Al ₂ O ₃	12,40	12,47	12,40	12,37	12,39	12,37	12,38	12,55	12,41	12,54	12,31	12,52	12,46	
FeO	29,20	29,88	29,49	29,54	29,59	29,46	29,48	29,04	28,82	28,81	28,34	28,22	29,00	
MnO	0,29	0,35	0,34	0,28	0,33	0,38	0,32	0,36	0,32	0,25	0,31	0,30	0,36	
MgO	5,03	4,70	4,86	4,94	4,99	5,05	5,37	5,17	5,50	5,84	6,07	5,89	5,58	
CaO	0,03	0,04	0,06	0,02	0,04	0,04	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	
Na ₂ O	0,05	0,05	0,08	0,06	0,08	0,08	0,05	0,05	0,06	0,05	0,08	0,09	0,07	
K ₂ O	8,98	9,01	9,03	9,04	8,92	8,96	9,07	9,23	9,21	9,30	9,25	9,18	9,18	
F	0,28	0,29	0,20	0,19	0,26	0,26	0,28	0,45	0,52	0,58	0,69	0,60	0,49	
Cl	0,23	0,19	0,26	0,26	0,26	0,26	0,21	0,19	0,21	0,19	0,21	0,21	0,26	
(OH)	3,46	3,48	3,64	3,37	3,53	3,04	3,28	2,98	2,75	2,61	2,75	2,86	2,93	
Subtotal:	99,80	100,06	99,91	99,94	99,87	99,90	100,02	100,02	100,00	99,94	99,89	99,90	100,12	
O-F-Cl	0,17	0,16	0,14	0,14	0,17	0,17	0,17	0,23	0,27	0,28	0,34	0,30	0,26	
Total	99,62	99,89	99,77	99,80	99,70	99,73	99,85	99,78	99,73	99,66	99,55	99,60	99,86	
	Fórmula estrutural com base em 22 átomos de oxigênio													
Si	5,682	5,620	5,663	5,655	5,674	5,671	5,668	5,643	5,667	5,659	5,684	5,641	5,653	
Al ^{IV}	2,318	2,335	2,337	2,331	2,326	2,323	2,329	2,352	2,319	2,341	2,302	2,340	2,334	
Al ^{VI}	0,021	0,000	0,007	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	
Ti	0,521	0,502	0,515	0,542	0,496	0,527	0,486	0,541	0,528	0,482	0,485	0,531	0,506	
Fe	3,907	3,968	3,957	3,949	3,970	3,925	3,935	3,863	3,820	3,817	3,760	3,743	3,854	
Mn	0,039	0,047	0,046	0,038	0,045	0,052	0,043	0,048	0,043	0,033	0,042	0,041	0,049	
Mg	1,198	1,113	1,162	1,176	1,193	1,199	1,277	1,227	1,300	1,380	1,436	1,393	1,322	
Ca	0,005	0,006	0,010	0,003	0,007	0,007	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	
Na	0,016	0,017	0,026	0,017	0,025	0,024	0,015	0,015	0,019	0,015	0,024	0,027	0,021	
K	1,832	1,824	1,848	1,842	1,825	1,820	1,847	1,872	1,862	1,880	1,871	1,857	1,860	
OH*	3,794	3,805	3,827	3,835	3,798	3,798	3,800	3,723	3,682	3,661	3,600	3,641	3,684	
F	0,143	0,143	0,104	0,094	0,130	0,132	0,143	0,227	0,262	0,288	0,345	0,301	0,246	
Cl	0,063	0,052	0,069	0,072	0,071	0,069	0,057	0,050	0,056	0,050	0,055	0,057	0,071	
Al _{Total}	2,339	2,335	2,344	2,331	2,344	2,323	2,329	2,352	2,319	2,341	2,302	2,340	2,334	
Fe/Fe+Mg	0,765	0,781	0,773	0,770	0,769	0,766	0,755	0,759	0,746	0,734	0,724	0,729	0,745	

BAMzG = biotita-anfibólio monzogranito grosso

Tabela A.2.2.3: Análises em microsonda eletrônica de biotitas da fácies ABMzG.

Fácies Amostra Análise	ABMzG ADR-55A																				
	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C1_1-6	C1_1-7	C1_1-8	C1_2-1	C1_2-2	C1_2-3	C1_2-4	C1_2-5	C1_2-6	C1_2-7	C1_2-8	C2_1-1	C2_1-2	C2_1-3	C2_1-4	C2_1-5
SiO ₂ (%peso)	35,32	35,38	35,57	35,30	35,61	35,74	35,47	35,53	35,24	35,28	35,29	35,32	35,29	35,25	35,49	35,39	35,27	35,17	35,28	35,29	35,40
TiO ₂	3,88	4,23	4,20	3,89	4,79	4,32	4,26	4,21	4,15	4,09	4,01	4,41	4,20	4,43	4,39	3,94	4,05	3,77	4,09	4,08	4,18
Al ₂ O ₃	12,32	12,30	12,14	12,21	12,26	12,30	12,18	12,14	12,23	12,21	12,21	12,24	12,20	12,33	12,29	12,26	12,36	12,23	12,16	12,14	12,20
FeO	30,85	30,53	30,97	31,12	29,52	29,94	30,75	30,39	30,41	31,12	31,05	30,78	30,54	30,43	29,99	30,49	30,62	31,01	30,65	30,40	30,55
MnO	0,30	0,43	0,35	0,24	0,41	0,39	0,37	0,43	0,47	0,45	0,45	0,45	0,46	0,43	0,47	0,43	0,24	0,41	0,39	0,45	0,40
MgO	4,10	4,29	4,24	4,24	4,38	4,40	4,36	4,45	4,36	4,32	4,16	4,41	4,49	4,30	4,50	4,56	4,41	4,30	4,28	4,36	4,32
CaO	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Na ₂ O	0,08	0,05	0,08	0,04	0,20	0,07	0,11	0,10	0,08	0,12	0,06	0,10	0,06	0,11	0,07	0,06	0,04	0,08	0,09	0,08	0,09
K ₂ O	9,10	9,20	9,07	9,25	9,00	9,06	9,13	9,12	9,16	9,11	9,15	9,10	9,12	9,06	9,14	9,13	9,07	8,97	9,02	9,09	9,13
F	0,95	0,93	0,86	0,84	0,92	0,86	0,94	0,96	0,79	0,85	0,69	0,88	0,86	0,94	0,81	0,99	0,62	0,75	0,80	0,75	0,83
Cl	0,30	0,28	0,30	0,25	0,31	0,27	0,30	0,29	0,28	0,28	0,27	0,27	0,24	0,27	0,24	0,24	0,25	0,29	0,31	0,28	0,27
(OH)	3,02	2,61	2,29	2,92	2,58	2,85	2,39	2,52	3,04	2,41	2,88	2,32	2,64	2,75	2,75	2,96	3,24	3,12	3,08	3,16	2,79
Subtotal:	100,24	100,24	100,07	100,30	99,99	100,22	100,27	100,14	100,23	100,24	100,26	100,28	100,12	100,29	100,15	100,42	100,17	100,09	100,14	100,10	100,16
O-F-Cl	0,47	0,45	0,43	0,41	0,46	0,42	0,46	0,47	0,40	0,42	0,35	0,43	0,42	0,46	0,39	0,47	0,32	0,38	0,40	0,38	0,41
Total	99,77	99,78	99,63	99,89	99,53	99,80	99,81	99,67	99,83	99,82	99,91	99,85	99,70	99,84	99,76	99,95	99,85	99,71	99,73	99,72	99,75
Fórmula estrutural com base em 22 átomos de oxigênio																					
Si	5,695	5,673	5,693	5,687	5,684	5,714	5,677	5,689	5,671	5,611	5,678	5,647	5,663	5,654	5,677	5,686	5,673	5,681	5,685	5,687	5,684
Al ^{IV}	2,305	2,325	2,291	2,313	2,307	2,286	2,299	2,291	2,320	2,290	2,315	2,306	2,307	2,332	2,317	2,314	2,327	2,319	2,310	2,307	2,309
Al ^{VI}	0,037	0,000	0,000	0,005	0,000	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,017	0,010	0,000	0,000	0,000
Ti	0,470	0,510	0,505	0,471	0,575	0,519	0,513	0,507	0,503	0,489	0,485	0,530	0,506	0,535	0,529	0,476	0,489	0,457	0,495	0,495	0,505
Fe	4,160	4,094	4,146	4,192	3,941	4,003	4,117	4,070	4,093	4,139	4,178	4,116	4,099	4,082	4,013	4,097	4,119	4,188	4,130	4,098	4,101
Mn	0,042	0,058	0,047	0,032	0,055	0,053	0,049	0,058	0,063	0,060	0,061	0,061	0,062	0,059	0,064	0,059	0,033	0,056	0,054	0,061	0,055
Mg	0,985	1,026	1,011	1,018	1,043	1,049	1,041	1,063	1,045	1,025	0,998	1,050	1,073	1,028	1,074	1,091	1,059	1,035	1,028	1,047	1,034
Ca	0,004	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,003	0,002	0,006	0,001	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Na	0,024	0,017	0,023	0,013	0,061	0,020	0,034	0,032	0,025	0,035	0,020	0,032	0,020	0,033	0,021	0,017	0,013	0,024	0,027	0,024	0,028
K	1,871	1,882	1,851	1,900	1,833	1,848	1,865	1,862	1,880	1,848	1,878	1,855	1,867	1,853	1,865	1,870	1,861	1,849	1,854	1,869	1,869
OH*	3,435	3,454	3,482	3,503	3,452	3,492	3,443	3,433	3,520	3,498	3,578	3,483	3,499	3,450	3,527	3,434	3,614	3,539	3,511	3,538	3,508
F	0,483	0,470	0,437	0,428	0,465	0,435	0,477	0,488	0,404	0,426	0,349	0,445	0,436	0,476	0,409	0,502	0,317	0,381	0,406	0,384	0,419
Cl	0,082	0,076	0,081	0,069	0,083	0,073	0,080	0,078	0,076	0,076	0,073	0,072	0,065	0,073	0,065	0,064	0,069	0,080	0,084	0,078	0,073
Al ^{Total}	2,342	2,325	2,291	2,318	2,307	2,318	2,299	2,291	2,320	2,290	2,315	2,306	2,307	2,332	2,317	2,321	2,343	2,329	2,310	2,307	2,309
Fe/Fe+Mg	0,808	0,800	0,804	0,805	0,791	0,792	0,798	0,793	0,797	0,802	0,807	0,797	0,793	0,799	0,789	0,790	0,796	0,802	0,801	0,796	0,799

ABMzG = anfíbólio-biotita monzogranito grosso

Tabela A.2.2.4: Análises em microsonda eletrônica de biotitas da fácies LMzG.

Fácies Amostra Análise	LMzG													
	ADR-32B-1													
	C2_1-1	C2_1-2	C2_1-3	C2_1-4	C2_1-5	C2_1-6	C2_1-7	C2_2-1	C2_2-2	C2_2-3	C2_2-4	C2_2-5	C2_2-6	C2_3-1
SiO ₂ (%peso)	35,62	35,62	35,20	35,81	35,68	35,58	34,71	35,49	36,03	34,67	35,82	35,98	35,55	34,60
TiO ₂	3,14	3,50	3,52	3,35	3,09	3,30	3,91	3,86	3,47	3,53	3,10	3,17	3,20	3,96
Al ₂ O ₃	12,08	12,21	12,17	12,20	12,11	12,11	12,33	12,52	12,29	12,53	12,37	12,05	12,53	12,95
FeO	30,20	30,30	31,58	30,28	30,05	30,65	30,86	29,75	29,16	30,76	29,01	29,68	29,99	29,97
MnO	0,45	0,54	0,36	0,50	0,48	0,44	0,43	0,33	0,56	0,47	0,47	0,48	0,55	0,31
MgO	5,02	4,98	4,25	4,88	5,26	4,43	4,94	5,11	5,48	5,74	5,70	5,86	5,64	5,87
CaO	0,04	0,07	0,01	0,00	0,03	0,02	0,18	0,02	0,01	0,06	0,02	0,04	0,02	0,09
Na ₂ O	0,03	0,08	0,04	0,06	0,05	0,05	0,02	0,05	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,06
K ₂ O	8,84	8,91	8,82	9,10	8,89	9,04	8,17	8,95	9,27	7,62	9,10	8,99	8,29	7,50
F	0,37	0,31	0,16	0,37	0,40	0,35	0,15	0,32	0,52	0,09	0,48	0,43	0,30	0,20
Cl	0,32	0,27	0,48	0,29	0,27	0,30	0,26	0,25	0,26	0,24	0,29	0,25	0,25	0,23
(OH)	3,84	3,18	3,29	3,09	3,84	3,67	4,08	3,35	3,10	4,21	3,68	2,99	3,71	4,27
Subtotal:	99,94	99,98	99,86	99,93	100,15	99,94	100,03	99,98	100,20	99,95	100,07	99,94	100,07	100,00
O-F-Cl	0,23	0,19	0,17	0,22	0,23	0,22	0,12	0,19	0,28	0,09	0,27	0,24	0,18	0,14
Total	99,71	99,79	99,69	99,71	99,92	99,72	99,91	99,79	99,93	99,86	99,81	99,71	99,88	99,87
Fórmula estrutural com base em 22 átomos de oxigênio														
Si	5,750	5,656	5,690	5,740	5,747	5,749	5,610	5,677	5,740	5,585	5,739	5,740	5,693	5,553
Al ^{IV}	2,250	2,286	2,310	2,260	2,253	2,251	2,349	2,323	2,260	2,380	2,261	2,260	2,307	2,447
Al ^{VI}	0,048	0,000	0,009	0,046	0,045	0,056	0,000	0,037	0,048	0,000	0,075	0,006	0,058	0,003
Ti	0,381	0,418	0,428	0,404	0,374	0,401	0,475	0,464	0,415	0,428	0,374	0,380	0,385	0,478
Fe	4,077	4,023	4,270	4,059	4,048	4,141	4,171	3,979	3,886	4,144	3,888	3,960	4,016	4,023
Mn	0,062	0,072	0,049	0,067	0,066	0,061	0,058	0,044	0,076	0,064	0,064	0,065	0,074	0,042
Mg	1,208	1,180	1,023	1,165	1,262	1,066	1,190	1,217	1,302	1,377	1,361	1,393	1,346	1,405
Ca	0,006	0,012	0,002	0,000	0,005	0,003	0,031	0,004	0,002	0,010	0,003	0,007	0,003	0,016
Na	0,009	0,023	0,013	0,019	0,015	0,014	0,007	0,015	0,015	0,011	0,015	0,012	0,016	0,020
K	1,819	1,805	1,818	1,861	1,827	1,862	1,684	1,826	1,884	1,566	1,860	1,830	1,692	1,535
OH*	3,722	3,769	3,790	3,736	3,724	3,738	3,852	3,772	3,668	3,889	3,681	3,716	3,781	3,837
F	0,190	0,157	0,079	0,186	0,202	0,178	0,078	0,160	0,262	0,046	0,241	0,217	0,152	0,102
Cl	0,088	0,074	0,131	0,078	0,073	0,083	0,070	0,068	0,070	0,066	0,078	0,067	0,067	0,062
Al _{Total}	2,298	2,286	2,319	2,306	2,299	2,307	2,349	2,360	2,308	2,380	2,336	2,266	2,365	2,450
Fe/Fe+Mg	0,771	0,773	0,807	0,777	0,762	0,795	0,778	0,766	0,749	0,751	0,741	0,740	0,749	0,741

LMzG = leucomonzogranito grosso

Tabela A.2.2.4: Análises em microsonda eletrônica de biotitas da fácies LMzG (Cont.)

Fácies Amostra Análise	LMzG ADR-32B-1										LMzG ADR-32B					
	C2_3-2	C2_3-3	C2_3-4	C2_3-5	C2_3-6	C2_4-1	C2_4-2	C2_4-3	C2_4-4	C2_4-5	C2_1-1	C2_1-2	C2_1-3	C2_1-4	C2_1-5	C2_1-6
	SiO ₂ (%peso)	35,51	35,75	36,27	36,00	36,16	35,71	35,75	35,44	35,65	35,32	35,48	36,12	36,09	36,07	36,04
TiO ₂	3,78	4,43	4,59	4,53	4,45	3,52	3,69	3,64	3,76	3,57	3,56	4,09	4,02	3,93	3,90	4,06
Al ₂ O ₃	12,61	12,53	12,56	12,39	12,63	12,56	12,66	12,66	12,74	12,99	12,66	12,31	12,25	12,24	12,15	12,14
FeO	29,44	27,99	28,35	27,94	28,34	30,07	29,79	29,91	29,68	29,63	29,60	28,96	29,12	29,11	29,33	29,03
MnO	0,32	0,32	0,41	0,36	0,35	0,29	0,20	0,30	0,30	0,26	0,52	0,48	0,54	0,50	0,58	0,60
MgO	5,56	5,94	5,54	6,06	5,56	5,22	5,13	5,17	5,00	5,26	5,71	5,20	5,20	5,16	5,26	5,37
CaO	0,18	0,56	0,05	0,17	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01
Na ₂ O	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,06	0,12	0,11
K ₂ O	8,51	8,70	9,12	8,83	9,12	8,77	9,04	8,90	9,08	8,68	8,43	9,06	9,00	9,03	8,87	8,98
F	0,25	0,37	0,49	0,47	0,32	0,28	0,26	0,29	0,26	0,21	0,28	0,24	0,26	0,27	0,30	0,31
Cl	0,24	0,22	0,26	0,24	0,28	0,29	0,30	0,29	0,32	0,27	0,31	0,31	0,28	0,30	0,30	0,27
(OH)	3,60	3,08	2,51	3,22	2,78	3,26	3,19	3,32	3,06	3,87	3,56	3,24	3,15	3,29	3,10	3,07
Subtotal:	100,04	99,93	100,19	100,24	100,04	100,02	100,05	100,00	99,89	100,09	100,16	100,08	99,96	99,97	99,95	100,00
O-F-Cl	0,16	0,20	0,26	0,25	0,20	0,18	0,18	0,19	0,18	0,15	0,18	0,17	0,17	0,18	0,19	0,19
Total	99,88	99,73	99,93	99,99	99,84	99,84	99,88	99,81	99,71	99,94	99,97	99,91	99,79	99,78	99,75	99,80
Fórmula estrutural com base em 22 átomos de oxigênio																
Si	5,665	5,652	5,702	5,686	5,700	5,700	5,697	5,670	5,687	5,655	5,663	5,739	5,739	5,747	5,739	5,732
Al ^{IV}	2,335	2,334	2,298	2,307	2,300	2,300	2,303	2,330	2,313	2,345	2,337	2,261	2,261	2,253	2,261	2,268
Al ^{VI}	0,036	0,000	0,030	0,000	0,046	0,062	0,075	0,057	0,081	0,106	0,044	0,045	0,036	0,045	0,019	0,006
Ti	0,454	0,527	0,543	0,538	0,527	0,422	0,442	0,438	0,451	0,429	0,428	0,489	0,480	0,471	0,467	0,485
Fe	3,927	3,701	3,728	3,691	3,737	4,013	3,970	4,002	3,959	3,967	3,950	3,849	3,873	3,879	3,905	3,860
Mn	0,044	0,042	0,054	0,048	0,046	0,039	0,027	0,041	0,040	0,036	0,070	0,064	0,073	0,068	0,078	0,080
Mg	1,322	1,400	1,298	1,426	1,307	1,241	1,218	1,233	1,188	1,254	1,358	1,232	1,233	1,225	1,247	1,272
Ca	0,031	0,095	0,008	0,028	0,000	0,006	0,000	0,003	0,000	0,000	0,002	0,007	0,002	0,000	0,000	0,002
Na	0,013	0,014	0,016	0,012	0,015	0,010	0,015	0,017	0,013	0,013	0,014	0,015	0,013	0,018	0,037	0,033
K	1,732	1,754	1,828	1,779	1,833	1,785	1,838	1,816	1,848	1,772	1,716	1,837	1,825	1,836	1,802	1,821
OH*	3,811	3,757	3,688	3,704	3,766	3,782	3,788	3,772	3,783	3,822	3,778	3,798	3,795	3,781	3,768	3,770
F	0,126	0,183	0,243	0,233	0,158	0,140	0,132	0,149	0,132	0,104	0,139	0,119	0,130	0,137	0,151	0,158
Cl	0,064	0,060	0,069	0,063	0,076	0,077	0,080	0,079	0,085	0,074	0,083	0,082	0,076	0,082	0,081	0,072
Al _{Total}	2,371	2,334	2,328	2,307	2,346	2,362	2,378	2,387	2,394	2,451	2,382	2,305	2,296	2,298	2,281	2,274
Fe/Fe+Mg	0,748	0,726	0,742	0,721	0,741	0,764	0,765	0,764	0,769	0,760	0,744	0,757	0,758	0,760	0,758	0,752

LMzG = leucomonzogranito grosso

Tabela A.2.2.5: Análises em microsonda eletrônica de biotitas da fácies LMzMt

Fácies Amostra Análise	LMzMt																		
	ADR-140																		
	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C3_1-1	C3_1-2	C3_1-3	C3_1-4	C3_1-5	C3_1-6	C4_1-1	C4_1-2	C4_1-3	C4_1-4	C4_1-5	C4_1-6	C4_1-7	
SiO ₂ (%peso)	35,66	35,84	35,91	35,80	35,84	35,75	35,53	35,97	35,84	35,87	35,81	35,47	35,64	35,87	35,56	35,37	35,57	35,74	
TiO ₂	3,78	3,62	3,55	3,94	3,57	3,65	4,26	2,77	3,96	3,96	3,77	4,67	4,55	3,81	3,90	4,34	3,51	3,27	
Al ₂ O ₃	15,48	15,45	15,42	15,26	15,42	15,40	13,72	16,21	14,04	14,86	15,19	14,52	14,63	15,48	14,36	14,45	15,14	15,55	
FeO	28,72	29,06	29,04	28,79	29,29	29,76	31,08	29,13	30,47	29,78	29,43	29,83	29,79	29,41	30,42	29,96	29,92	29,70	
MnO	0,40	0,35	0,41	0,45	0,43	0,55	0,62	0,62	0,57	0,47	0,55	0,61	0,65	0,49	0,59	0,55	0,51	0,58	
MgO	1,90	1,96	1,88	1,86	1,79	1,73	1,86	1,80	1,94	1,89	1,84	1,74	1,81	1,64	1,96	1,82	1,73	1,70	
CaO	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	
Na ₂ O	0,14	0,15	0,11	0,15	0,14	0,14	0,18	0,08	0,15	0,14	0,14	0,09	0,05	0,11	0,12	0,12	0,08	0,08	
K ₂ O	9,11	9,24	9,27	9,34	9,30	9,19	8,93	9,28	9,14	9,11	9,17	9,34	9,34	9,37	9,31	9,38	9,46	9,31	
F	0,65	0,66	0,70	0,58	0,71	0,67	0,72	0,81	0,72	0,79	0,78	0,68	0,65	0,63	0,67	0,57	0,59	0,68	
Cl	0,22	0,25	0,17	0,22	0,23	0,15	0,42	0,17	0,32	0,35	0,31	0,29	0,24	0,21	0,36	0,29	0,38	0,29	
(OH)	3,60	3,39	3,68	3,76	3,42	3,18	2,96	3,33	2,99	2,99	3,13	2,91	2,70	3,26	2,96	3,20	3,43	3,18	
Subtotal:	99,65	99,99	100,14	100,14	100,13	100,17	100,28	100,18	100,12	100,23	100,10	100,14	100,06	100,28	100,22	100,04	100,33	100,10	
O-F-Cl	0,32	0,33	0,33	0,29	0,35	0,32	0,40	0,38	0,37	0,41	0,40	0,35	0,33	0,31	0,36	0,31	0,34	0,35	
Total	99,33	99,66	99,80	99,85	99,78	99,85	99,88	99,80	99,75	99,82	99,70	99,79	99,73	99,97	99,86	99,73	99,99	99,75	
Fórmula estrutural com base em 22 átomos de oxigênio																			
Si	5,688	5,696	5,724	5,712	5,713	5,690	5,707	5,714	5,737	5,712	5,705	5,661	5,667	5,701	5,693	5,670	5,697	5,702	
Al ^{IV}	2,312	2,304	2,276	2,288	2,287	2,310	2,293	2,286	2,263	2,288	2,295	2,339	2,333	2,299	2,307	2,330	2,303	2,298	
Al ^{VI}	0,599	0,591	0,620	0,581	0,610	0,579	0,305	0,749	0,387	0,501	0,558	0,392	0,409	0,602	0,403	0,400	0,555	0,627	
Ti	0,453	0,433	0,426	0,472	0,427	0,437	0,515	0,331	0,476	0,475	0,452	0,561	0,544	0,456	0,470	0,523	0,423	0,392	
Fe	3,832	3,862	3,871	3,841	3,904	3,962	4,175	3,870	4,079	3,967	3,922	3,981	3,961	3,910	4,073	4,017	4,009	3,962	
Mn	0,054	0,047	0,055	0,060	0,058	0,075	0,084	0,083	0,077	0,064	0,074	0,082	0,088	0,066	0,080	0,075	0,069	0,078	
Mg	0,451	0,464	0,446	0,442	0,425	0,410	0,444	0,426	0,462	0,450	0,436	0,413	0,430	0,389	0,467	0,434	0,414	0,405	
Ca	0,001	0,004	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,003	
Na	0,042	0,045	0,032	0,045	0,042	0,044	0,057	0,024	0,046	0,044	0,042	0,028	0,017	0,032	0,038	0,037	0,024	0,026	
K	1,853	1,874	1,885	1,900	1,891	1,866	1,830	1,881	1,866	1,851	1,863	1,900	1,893	1,900	1,900	1,918	1,933	1,895	
OH*	3,613	3,600	3,601	3,650	3,578	3,621	3,523	3,547	3,550	3,505	3,522	3,580	3,608	3,627	3,565	3,632	3,596	3,582	
F	0,329	0,332	0,354	0,290	0,359	0,339	0,364	0,407	0,365	0,400	0,394	0,342	0,329	0,316	0,338	0,290	0,301	0,341	
Cl	0,058	0,068	0,045	0,060	0,063	0,040	0,113	0,046	0,085	0,096	0,084	0,078	0,064	0,056	0,097	0,078	0,103	0,077	
Al _{Total}	2,910	2,894	2,896	2,869	2,897	2,889	2,598	3,035	2,650	2,789	2,852	2,731	2,742	2,901	2,710	2,730	2,858	2,925	
Fe/Fe+Mg	0,895	0,893	0,897	0,897	0,902	0,906	0,904	0,901	0,898	0,898	0,900	0,906	0,902	0,910	0,897	0,902	0,906	0,907	

LMzMt = leucomonzogranito médio tardio.

Tabela A.2.2.5: Análises em microsonda eletrônica de biotitas da fácies LMzMt (Cont.)

Fácies	LMzMt	LMzMt	LMzMt	LMzMt	LMzMt	LMzMt	LMzMt	LMzMt	LMzMt	LMzMt	LMzMt
Amostra	ADR-140-1	ADR-140-1	ADR-140-1	ADR-140-1	ADR-140-1	ADR-140-1	ADR-140-1	ADR-140-1	ADR-140-1	ADR-140-1	ADR-140-1
Análise	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C3_1-1	C3_1-2	C3_1-3	C3_1-4	C3_1-5	C3_1-6	C3_1-7
SiO ₂ (%peso)	35,30	35,28	35,27	34,74	35,35	35,48	35,09	35,57	35,68	35,84	36,04
TiO ₂	3,71	3,93	4,21	4,03	3,21	2,90	3,29	2,61	2,56	2,50	2,43
Al ₂ O ₃	14,40	13,86	13,45	13,99	15,56	15,31	14,44	15,53	15,10	15,38	15,72
FeO	30,70	31,08	31,32	31,72	29,72	30,23	30,70	30,22	30,25	29,77	28,87
MnO	0,43	0,41	0,42	0,34	0,47	0,53	0,45	0,47	0,48	0,54	0,54
MgO	1,72	1,88	1,86	1,94	1,92	2,02	2,09	2,15	2,21	2,11	2,50
CaO	0,04	0,02	0,01	0,09	0,00	0,01	0,03	0,03	0,02	0,00	0,01
Na ₂ O	0,14	0,14	0,16	0,13	0,06	0,09	0,12	0,06	0,09	0,09	0,09
K ₂ O	9,05	9,01	8,83	8,30	9,27	9,14	9,13	9,38	9,21	9,26	9,32
F	0,39	0,48	0,42	0,31	0,56	0,60	0,58	0,62	0,68	0,65	0,84
Cl	0,46	0,39	0,43	0,44	0,26	0,28	0,38	0,18	0,24	0,20	0,17
(OH)	3,73	3,57	3,83	4,01	3,77	3,63	3,85	3,30	3,69	3,68	3,52
Subtotal:	100,05	100,04	100,20	100,04	100,14	100,21	100,16	100,13	100,19	100,01	100,07
O-F-Cl	0,27	0,29	0,27	0,23	0,29	0,32	0,33	0,30	0,34	0,32	0,39
Total	99,78	99,75	99,93	99,81	99,85	99,90	99,83	99,83	99,85	99,69	99,67
Fórmula estrutural com base em 22 átomos de oxigênio											
Si	5,699	5,700	5,713	5,638	5,667	5,692	5,681	5,689	5,732	5,748	5,741
Al ^{IV}	2,301	2,300	2,287	2,362	2,333	2,308	2,319	2,311	2,268	2,252	2,259
Al ^{VI}	0,439	0,339	0,281	0,313	0,607	0,587	0,435	0,616	0,592	0,655	0,693
Ti	0,451	0,477	0,512	0,491	0,387	0,350	0,401	0,314	0,309	0,302	0,291
Fe	4,145	4,200	4,243	4,304	3,984	4,056	4,157	4,042	4,065	3,993	3,846
Mn	0,058	0,055	0,057	0,047	0,063	0,071	0,062	0,064	0,065	0,073	0,072
Mg	0,413	0,453	0,449	0,469	0,458	0,482	0,505	0,513	0,529	0,505	0,595
Ca	0,006	0,003	0,002	0,016	0,000	0,001	0,004	0,004	0,004	0,000	0,002
Na	0,044	0,044	0,051	0,041	0,019	0,028	0,037	0,020	0,027	0,029	0,028
K	1,864	1,857	1,825	1,718	1,897	1,870	1,885	1,914	1,888	1,893	1,894
OH*	3,677	3,650	3,669	3,717	3,645	3,619	3,598	3,638	3,591	3,615	3,529
F	0,198	0,244	0,214	0,161	0,283	0,306	0,297	0,313	0,344	0,331	0,425
Cl	0,125	0,107	0,117	0,122	0,071	0,075	0,105	0,050	0,065	0,054	0,045
Al _{Total}	2,740	2,639	2,568	2,676	2,940	2,894	2,755	2,927	2,859	2,907	2,952
Fe/Fe+Mg	0,909	0,903	0,904	0,902	0,897	0,894	0,892	0,887	0,885	0,888	0,866

LMzMt = leucomonzogranito médio tardio.

Apêndice 2.3 - **Plagioclásio**

Tabela A.2.3.1: Análises em microsonda eletrônica de plagioclásio da fácies GC.

Fácies Amostra Análise	CG														
	ADR-136i														
	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C1_1-6	C2_1-1	C2_1-2	C2_1-3	C2_1-4	C2_1-5	C2_1-6	C2_1-7	C2_1-8	C2_1-9
SiO ₂ (%peso)	62,93	61,58	61,67	61,26	61,37	63,86	63,28	60,45	61,41	61,63	61,17	64,11	65,03	61,26	64,67
Al ₂ O ₃	22,54	23,18	23,31	23,46	23,52	22,08	22,34	24,24	23,66	23,38	23,58	21,72	21,33	23,66	21,46
FeO	0,14	0,25	0,22	0,23	0,29	0,13	0,13	0,13	0,18	0,17	0,12	0,14	0,08	0,17	0,11
CaO	3,96	4,90	5,04	5,22	5,24	3,48	3,70	5,95	5,21	5,07	5,44	3,02	2,55	5,20	2,73
Na ₂ O	8,98	8,14	8,33	8,17	8,29	9,42	9,14	7,98	8,26	8,28	8,27	9,76	9,94	8,22	9,76
K ₂ O	0,44	0,78	0,65	0,55	0,54	0,48	0,47	0,35	0,45	0,49	0,31	0,32	0,40	0,44	0,51
Total	98,99	98,83	99,21	98,90	99,24	99,44	99,06	99,10	99,16	99,00	98,89	99,07	99,33	98,95	99,24
	Fórmula estrutural com base em 8 átomos de oxigênio														
Si	2,812	2,768	2,762	2,752	2,750	2,838	2,824	2,714	2,750	2,762	2,746	2,855	2,883	2,748	2,873
Al	1,187	1,228	1,230	1,242	1,242	1,156	1,175	1,282	1,249	1,235	1,248	1,140	1,115	1,251	1,124
Fe	0,005	0,009	0,008	0,009	0,011	0,005	0,005	0,005	0,007	0,006	0,005	0,005	0,003	0,006	0,004
Ca	0,189	0,236	0,242	0,251	0,252	0,166	0,177	0,286	0,250	0,243	0,262	0,144	0,121	0,250	0,130
Na	0,777	0,709	0,724	0,712	0,720	0,811	0,790	0,695	0,717	0,719	0,720	0,843	0,854	0,715	0,841
K	0,025	0,044	0,037	0,032	0,031	0,027	0,027	0,020	0,025	0,028	0,018	0,018	0,023	0,025	0,029
Cátions	4,996	4,995	5,003	4,998	5,005	5,003	4,998	5,002	4,997	4,994	4,998	5,005	4,999	4,996	5,000
Ab	78,354	71,655	72,189	71,560	71,831	80,814	79,515	69,426	72,266	72,617	72,006	83,875	85,576	72,214	84,123
An	19,095	23,856	24,130	25,265	25,113	16,492	17,794	28,600	25,167	24,583	26,200	14,333	12,141	25,243	12,974
Or	2,551	4,489	3,682	3,175	3,056	2,694	2,691	1,974	2,567	2,800	1,794	1,792	2,283	2,543	2,903

GC = granito cumulático

Tabela A.2.3.2: Análises em microsonda eletrônica de plagioclásio da fácies BAMzG.

Fácies Amostra Análise	BAMzG														
	ADR-136C														
	C4_1-1	C4_1-2	C4_1-3	C4_1-4	C4_1-5	C4_1-6	C4_1-7	C4_1-8	C4_1-9	C4_1-10	C4_1-11	C4_1-12	C7_1-1	C7_1-2	C7_1-3
SiO ₂ (%peso)	62,88	61,41	61,14	58,23	59,22	60,71	61,64	63,24	62,49	61,01	60,90	64,14	64,88	62,61	63,82
Al ₂ O ₃	22,46	23,59	23,67	25,77	25,02	24,07	23,66	22,54	23,21	24,05	23,81	21,98	21,62	23,07	22,09
FeO	0,13	0,15	0,14	0,16	0,28	0,20	0,20	0,08	0,09	0,18	0,19	0,11	0,10	0,15	0,09
CaO	4,07	5,39	5,57	7,87	7,17	6,06	5,36	4,08	4,84	5,74	5,64	3,40	3,04	4,74	3,47
Na ₂ O	8,83	8,19	8,06	6,76	7,08	7,53	8,25	8,96	8,57	7,90	7,88	9,39	9,61	8,61	9,42
K ₂ O	0,54	0,44	0,52	0,42	0,60	0,71	0,46	0,49	0,31	0,50	0,66	0,57	0,40	0,45	0,43
Total	98,91	99,17	99,10	99,21	99,37	99,28	99,58	99,39	99,51	99,38	99,06	99,58	99,65	99,62	99,32
	Fórmula estrutural com base em 8 átomos de oxigênio														
Si	2,813	2,750	2,742	2,626	2,664	2,723	2,750	2,814	2,781	2,729	2,735	2,845	2,869	2,785	2,838
Al	1,184	1,245	1,252	1,369	1,327	1,272	1,244	1,182	1,217	1,268	1,260	1,149	1,127	1,210	1,158
Fe	0,005	0,006	0,005	0,006	0,011	0,008	0,008	0,003	0,003	0,007	0,007	0,004	0,004	0,006	0,003
Ca	0,195	0,258	0,268	0,380	0,346	0,291	0,256	0,194	0,231	0,275	0,271	0,161	0,144	0,226	0,165
Na	0,766	0,711	0,701	0,591	0,617	0,655	0,714	0,773	0,739	0,685	0,686	0,808	0,824	0,742	0,812
K	0,031	0,025	0,030	0,024	0,034	0,040	0,026	0,028	0,018	0,029	0,038	0,032	0,023	0,026	0,024
Cátions	4,994	4,996	4,997	4,997	4,999	4,989	4,998	4,995	4,989	4,993	4,997	5,000	4,991	4,994	5,001
Ab	77,234	71,472	70,203	59,369	61,882	66,363	71,650	77,675	74,843	69,288	68,957	80,660	83,157	74,711	81,060
An	19,654	25,979	26,799	38,193	34,660	29,536	25,721	19,541	23,370	27,814	27,265	16,129	14,548	22,718	16,505
Or	3,112	2,549	2,998	2,438	3,457	4,101	2,628	2,784	1,787	2,897	3,779	3,211	2,295	2,571	2,435

BAMzG = biotita-anfibólio monzogranito grosso

Tabela A.2.3.2: Análises em microsonda eletrônica de plagioclásio da fácies BAMzG (Cont.)

Fácies Amostra Análise	BAMzG															
	ADR-136C															
	C7_2-1	C7_2-2	C7_2-3	C7_2-4	C7_3-1	C7_3-2	C7_3-3	C7_3-4	C7_3-5	C7_4-1	C7_4-2	C7_4-3	C7_4-4	C7_4-5	C7_4-6	C7_4-7
SiO ₂ (%peso)	63,69	61,85	62,11	62,25	63,93	61,31	61,30	63,83	64,09	61,59	61,41	62,33	62,83	62,84	63,15	63,25
Al ₂ O ₃	22,35	23,46	23,32	23,18	22,14	23,85	24,08	22,34	22,16	23,57	23,68	23,23	23,07	22,95	22,70	22,68
FeO	0,12	0,12	0,12	0,15	0,16	0,17	0,14	0,09	0,14	0,15	0,17	0,25	0,14	0,14	0,10	0,14
CaO	3,83	5,01	4,93	4,74	3,63	5,50	5,74	3,84	3,63	5,21	5,41	4,93	4,69	4,35	4,19	4,16
Na ₂ O	9,28	8,47	8,53	8,69	9,24	8,21	8,07	9,08	9,40	8,29	8,39	8,36	8,67	8,86	8,92	8,92
K ₂ O	0,39	0,34	0,42	0,36	0,40	0,41	0,35	0,43	0,52	0,50	0,31	0,62	0,35	0,47	0,49	0,46
Total	99,66	99,25	99,42	99,36	99,49	99,43	99,68	99,60	99,94	99,31	99,37	99,71	99,76	99,60	99,54	99,62
	Fórmula estrutural com base em 8 átomos de oxigênio															
Si	2,825	2,763	2,770	2,777	2,838	2,740	2,732	2,830	2,836	2,754	2,745	2,775	2,789	2,794	2,807	2,809
Al	1,169	1,235	1,226	1,219	1,158	1,256	1,265	1,167	1,156	1,242	1,248	1,219	1,207	1,203	1,189	1,187
Fe	0,004	0,005	0,004	0,005	0,006	0,006	0,005	0,003	0,005	0,006	0,006	0,009	0,005	0,005	0,004	0,005
Ca	0,182	0,240	0,235	0,226	0,173	0,263	0,274	0,182	0,172	0,249	0,259	0,235	0,223	0,207	0,200	0,198
Na	0,798	0,734	0,738	0,752	0,795	0,711	0,697	0,780	0,807	0,719	0,727	0,721	0,746	0,764	0,769	0,768
K	0,022	0,019	0,024	0,020	0,023	0,023	0,020	0,024	0,029	0,028	0,018	0,035	0,020	0,026	0,028	0,026
Cátions	5,000	4,996	4,998	5,000	4,992	4,999	4,994	4,988	5,004	4,999	5,003	4,994	4,990	5,000	4,996	4,994
Ab	79,677	73,908	73,971	75,280	80,262	71,295	70,337	79,055	80,026	72,136	72,418	72,757	75,412	76,559	77,185	77,403
An	18,149	24,128	23,609	22,679	17,434	26,379	27,673	18,470	17,067	25,019	25,821	23,702	22,561	20,791	20,047	19,948
Or	2,175	1,963	2,420	2,041	2,305	2,326	1,991	2,475	2,906	2,845	1,761	3,541	2,027	2,650	2,768	2,649

BAMzG = biotita-anfibólio monzogranito grosso

Tabela A.2.3.3: Análises em microsonda eletrônica de plagioclásio da fácies ABMzG.

Fácies Amostra Análise	ABMzG																	
	ADR-55A																	
	C3_1-1	C3_1-2	C3_1-3	C3_1-4	C3_1-5	C3_1-6	C3_1-7	C3_1-8	C3_2-1	C3_2-2	C3_2-3	C3_2-4	C3_2-5	C3_2-6	C3_2-7	C3_2-8	C3_2-9	C3_2-10
SiO ₂ (%peso)	65,64	63,26	61,76	61,74	60,44	61,57	62,09	62,19	63,94	61,93	61,33	61,39	62,79	63,94	63,89	61,79	63,86	64,68
Al ₂ O ₃	20,64	22,27	23,25	23,25	24,22	23,65	23,22	23,07	22,12	23,27	23,69	23,50	22,50	22,01	22,08	23,34	22,18	21,52
FeO	0,12	0,15	0,21	0,22	0,14	0,12	0,15	0,18	0,14	0,19	0,18	0,20	0,21	0,14	0,11	0,23	0,06	0,08
CaO	1,89	3,85	4,91	5,01	6,09	5,34	4,93	4,60	3,63	4,99	5,47	5,20	4,07	3,49	3,61	5,08	3,66	2,96
Na ₂ O	10,11	8,94	8,34	8,18	7,82	8,23	8,59	8,60	9,22	8,34	8,11	8,19	8,80	9,15	9,13	8,29	8,92	9,60
K ₂ O	0,65	0,81	0,68	0,76	0,38	0,57	0,45	0,54	0,51	0,62	0,53	0,60	0,71	0,63	0,68	0,54	0,79	0,58
Total	99,05	99,28	99,14	99,15	99,08	99,47	99,44	99,17	99,57	99,33	99,31	99,08	99,09	99,36	99,50	99,26	99,48	99,42
	Fórmula estrutural com base em 8 átomos de oxigênio																	
Si	2,916	2,822	2,767	2,766	2,714	2,750	2,771	2,781	2,838	2,768	2,745	2,753	2,808	2,843	2,838	2,764	2,837	2,869
Al	1,080	1,171	1,228	1,228	1,282	1,245	1,222	1,216	1,157	1,226	1,250	1,242	1,186	1,153	1,156	1,230	1,161	1,125
Fe	0,004	0,006	0,008	0,008	0,005	0,005	0,006	0,007	0,005	0,007	0,007	0,008	0,008	0,005	0,004	0,009	0,002	0,003
Ca	0,090	0,184	0,236	0,240	0,293	0,255	0,236	0,220	0,173	0,239	0,262	0,250	0,195	0,166	0,172	0,243	0,174	0,141
Na	0,870	0,773	0,724	0,710	0,681	0,713	0,743	0,746	0,793	0,723	0,703	0,712	0,763	0,789	0,787	0,719	0,769	0,826
K	0,037	0,046	0,039	0,044	0,022	0,032	0,026	0,031	0,029	0,035	0,030	0,034	0,041	0,036	0,038	0,031	0,045	0,033
Cátions	4,998	5,002	5,001	4,997	4,996	5,000	5,003	5,000	4,995	4,998	4,997	4,999	5,001	4,993	4,996	4,996	4,989	4,997
Ab	87,289	77,062	72,517	71,428	68,388	71,241	73,982	74,818	79,721	72,493	70,610	71,490	76,401	79,622	78,901	72,400	77,806	82,642
An	9,034	18,364	23,602	24,180	29,418	25,525	23,463	22,114	17,366	23,977	26,335	25,093	19,527	16,772	17,239	24,508	17,639	14,084
Or	3,677	4,574	3,881	4,392	2,193	3,234	2,555	3,068	2,913	3,530	3,055	3,417	4,072	3,606	3,860	3,092	4,555	3,274

ABMzG = anfibólio-biotita monzogranito grosso

Tabela A.2.3.4: Análises em microsonda eletrônica de plagioclásio da fácies LMzG

Fácies	LMzG							
Amostra	ADR-32B-1							
Análise	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C1_1-6	C1_1-7	C1_1-8
SiO ₂ (%peso)	65,08	65,12	65,84	64,90	64,42	64,56	65,04	64,09
Al ₂ O ₃	21,00	21,25	20,88	21,42	21,63	21,63	21,36	22,03
FeO	0,15	0,13	0,08	0,15	0,11	0,12	0,10	0,15
CaO	2,37	2,66	2,07	2,85	2,97	2,93	2,58	3,57
Na ₂ O	10,11	9,41	10,17	9,27	9,29	9,40	9,90	9,19
K ₂ O	0,55	1,00	0,53	1,08	1,05	0,88	0,46	0,72
Total	99,27	99,56	99,57	99,66	99,45	99,51	99,44	99,75
	Fórmula estrutural com base em 8 átomos de oxigênio							
Si	2,891	2,886	2,909	2,876	2,863	2,865	2,881	2,841
Al	1,099	1,110	1,087	1,119	1,133	1,132	1,115	1,151
Fe	0,006	0,005	0,003	0,005	0,004	0,004	0,004	0,006
Ca	0,113	0,126	0,098	0,135	0,141	0,139	0,122	0,169
Na	0,871	0,809	0,871	0,796	0,800	0,808	0,851	0,790
K	0,031	0,056	0,030	0,061	0,060	0,050	0,026	0,041
Cátions	5,011	4,992	4,998	4,993	5,001	4,998	4,999	4,998
Ab	85,783	81,581	87,180	80,209	79,942	81,046	85,170	78,993
An	11,124	12,727	9,818	13,646	14,112	13,953	12,249	16,951
Or	3,092	5,692	3,002	6,145	5,946	5,001	2,581	4,056

LMzG = leucomonzogranito grosso

Tabela A.2.3.4: Análises em microsonda eletrônica de plagioclásio da fácies LMzG (Cont.1)

Fácies																							
Amostra																							
Análise	C1_2-1	C1_2-2	C1_2-3	C1_2-4	C1_2-5	C1_2-6	C1_2-7	C1_2-8	C1_2-9	C2_1-1	C2_1-2	C2_1-3	C2_1-4	C2_1-5	C2_1-6	C2_1-7	C2_1-8	C2_1-9	C2_1-10	C2_1-11	C2_1-12	C2_1-13	C2_1-14
SiO ₂ (%peso)	63,11	63,74	64,49	64,81	65,66	62,29	64,22	64,76	64,73	65,49	63,72	63,74	62,06	61,97	62,41	63,28	63,98	64,69	65,50	64,96	63,71	62,24	61,88
Al ₂ O ₃	22,61	22,29	21,92	21,67	20,96	22,93	21,99	21,54	21,41	21,37	22,16	22,46	23,25	23,29	23,06	22,67	22,06	21,81	21,15	21,76	22,38	23,31	23,59
FeO	0,19	0,10	0,13	0,14	0,10	0,22	0,17	0,10	0,10	0,12	0,16	0,11	0,23	0,20	0,16	0,15	0,17	0,10	0,11	0,12	0,10	0,17	0,19
CaO	4,23	3,68	3,19	3,00	2,25	4,69	3,40	2,87	2,59	2,59	3,62	3,91	4,89	4,85	4,66	4,16	3,48	2,95	2,29	3,02	3,74	4,71	5,18
Na ₂ O	9,06	9,13	9,23	9,69	10,27	8,60	9,19	9,47	9,67	9,94	8,97	8,87	8,28	8,21	8,33	8,77	9,41	9,79	10,20	9,69	9,43	8,62	8,46
K ₂ O	0,43	0,86	1,08	0,56	0,30	0,65	0,93	0,94	0,80	0,53	0,92	0,99	0,83	0,97	0,93	0,80	0,49	0,40	0,36	0,55	0,33	0,43	0,43
Total	99,63	99,79	100,03	99,87	99,55	99,37	99,88	99,67	99,30	100,04	99,56	100,08	99,54	99,49	99,55	99,83	99,58	99,73	99,61	100,10	99,68	99,48	99,73
Fórmula estrutural com base em 8 átomos de oxigênio																							
Si	2,806	2,828	2,852	2,864	2,902	2,783	2,845	2,870	2,876	2,885	2,833	2,822	2,770	2,769	2,783	2,809	2,840	2,860	2,894	2,864	2,825	2,774	2,756
Al	1,185	1,166	1,142	1,129	1,092	1,207	1,148	1,125	1,121	1,109	1,161	1,172	1,223	1,226	1,212	1,186	1,154	1,137	1,101	1,131	1,170	1,224	1,238
Fe	0,007	0,004	0,005	0,005	0,004	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004	0,006	0,004	0,009	0,008	0,006	0,005	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,006	0,007
Ca	0,202	0,175	0,151	0,142	0,106	0,224	0,161	0,136	0,123	0,122	0,173	0,185	0,234	0,232	0,223	0,198	0,165	0,140	0,108	0,143	0,178	0,225	0,247
Na	0,781	0,785	0,792	0,831	0,880	0,745	0,789	0,814	0,833	0,849	0,774	0,761	0,717	0,711	0,720	0,755	0,809	0,839	0,874	0,829	0,810	0,744	0,731
K	0,024	0,049	0,061	0,031	0,017	0,037	0,052	0,053	0,045	0,030	0,052	0,056	0,047	0,055	0,053	0,046	0,028	0,022	0,021	0,031	0,018	0,025	0,024
Cátions	5,004	5,006	5,003	5,002	5,001	5,005	5,002	5,001	5,003	5,000	4,999	5,001	5,000	5,001	4,997	4,998	5,002	5,002	5,002	5,001	5,005	4,999	5,003
Ab	77,556	77,866	78,868	82,723	87,689	74,023	78,694	81,128	83,176	84,785	77,489	75,908	71,835	71,245	72,313	75,640	80,729	83,817	87,153	82,702	80,522	74,892	72,916
An	20,038	17,324	15,067	14,144	10,609	22,279	16,087	13,592	12,326	12,219	17,278	18,492	23,412	23,230	22,369	19,799	16,481	13,941	10,801	14,233	17,651	22,631	24,658
Or	2,406	4,810	6,065	3,133	1,702	3,697	5,219	5,280	4,498	2,996	5,233	5,600	4,754	5,525	5,318	4,561	2,790	2,242	2,047	3,065	1,827	2,477	2,426

LMzG = leucomonzogranito grosso

Tabela A.2.3.4: Análises em microsonda eletrônica de plagioclásio da fácies LMzG (Cont.2)

Fácies Amostra Análise	LMzG														
	ADR-32B														
	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C1_1-6	C1_1-7	C4_1-1	C4_1-2	C4_1-3	C4_1-4	C4_1-5	C4_1-6	C4_1-7	C4_1-8
SiO ₂ (%peso)	67,64	64,16	63,63	64,42	63,83	64,60	68,10	64,19	63,85	63,55	63,55	63,97	64,36	65,27	64,51
Al ₂ O ₃	20,06	22,22	22,37	22,06	22,29	21,72	19,66	22,18	22,38	22,41	22,51	22,33	22,23	21,72	22,19
FeO	0,07	0,15	0,16	0,10	0,10	0,12	0,18	0,11	0,12	0,16	0,19	0,16	0,16	0,11	0,13
CaO	0,76	3,59	3,63	3,29	3,63	2,86	0,42	3,54	3,80	3,91	3,94	3,73	3,64	2,92	3,49
Na ₂ O	11,24	9,42	9,29	9,61	9,39	9,80	11,43	9,59	9,19	9,04	8,95	9,34	9,30	9,84	9,47
K ₂ O	0,21	0,33	0,41	0,34	0,37	0,49	0,10	0,44	0,69	0,73	0,71	0,49	0,62	0,44	0,49
Total	100,10	100,08	100,00	100,00	100,00	100,00	100,09	100,21	100,07	100,00	100,00	100,07	100,51	100,50	100,60
	Fórmula estrutural com base em 8 átomos de oxigênio														
Si	2,963	2,837	2,826	2,848	2,831	2,862	2,982	2,836	2,826	2,820	2,818	2,829	2,837	2,869	2,842
Al	1,035	1,158	1,171	1,150	1,165	1,134	1,015	1,155	1,167	1,172	1,176	1,164	1,155	1,125	1,152
Fe	0,003	0,005	0,006	0,004	0,004	0,005	0,007	0,004	0,005	0,006	0,007	0,006	0,006	0,004	0,005
Ca	0,036	0,170	0,173	0,156	0,173	0,136	0,020	0,168	0,180	0,186	0,187	0,176	0,172	0,138	0,165
Na	0,954	0,807	0,800	0,823	0,808	0,842	0,970	0,821	0,788	0,778	0,770	0,801	0,795	0,838	0,809
K	0,012	0,019	0,023	0,019	0,021	0,027	0,006	0,025	0,039	0,041	0,040	0,028	0,035	0,025	0,028
Cátions	5,003	4,997	5,000	4,999	5,001	5,006	4,999	5,009	5,005	5,003	4,998	5,004	5,000	4,999	5,000
Ab	95,242	81,069	80,352	82,507	80,679	83,762	97,463	81,039	78,255	77,430	77,211	79,701	79,400	83,776	80,772
An	3,570	17,073	17,338	15,589	17,240	13,510	1,970	16,542	17,866	18,480	18,765	17,560	17,146	13,753	16,462
Or	1,188	1,858	2,310	1,904	2,080	2,727	0,567	2,419	3,878	4,090	4,024	2,739	3,454	2,471	2,766

LMzG = leucomonzogranito grosso

Tabela A.2.3.5: Análises em microsonda eletrônica de plagioclásio da fácies LMzMt.

Fácies Amostra Análise	LMzMt ADR-140							LMzMt ADR-140-1																
	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C1_1-6	C1_1-7	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C1_1-6	C2_1-1	C2_1-2	C2_1-3	C2_1-4	C2_1-5	C2_1-6	C2_1-7	C4_1-1	C4_1-2	C4_1-3	C4_1-4
SiO ₂ (%peso)	67,81	67,23	66,66	65,57	66,06	65,41	64,48	66,51	65,43	65,09	66,61	68,18	65,79	66,69	65,93	65,75	65,32	67,53	65,49	64,93	68,19	66,96	65,51	64,85
Al ₂ O ₃	20,02	20,19	20,50	21,06	20,90	21,34	22,07	20,63	21,29	21,49	20,57	19,37	20,91	20,42	20,68	20,88	21,25	19,84	20,83	21,31	19,46	20,14	21,11	21,36
FeO	0,00	0,03	0,06	0,09	0,08	0,10	0,14	0,10	0,08	0,11	0,01	0,02	0,08	0,04	0,09	0,11	0,09	0,02	0,09	0,14	0,02	0,04	0,08	0,10
CaO	0,89	1,20	1,69	2,40	2,14	2,61	3,04	1,60	2,35	2,64	1,37	0,16	1,92	1,29	1,83	2,08	2,40	0,58	2,11	2,55	0,16	0,97	2,25	2,50
Na ₂ O	11,18	10,80	10,35	9,78	9,81	9,65	9,63	10,38	9,96	9,97	10,88	11,44	10,01	10,51	9,84	9,66	9,76	11,29	9,76	9,46	11,44	10,93	10,05	9,76
K ₂ O	0,23	0,47	0,55	1,00	0,97	0,73	0,53	0,59	0,56	0,25	0,13	0,26	0,75	0,47	1,11	1,02	0,72	0,24	1,03	0,99	0,25	0,31	0,60	0,64
Total	100,12	99,92	99,82	99,89	99,97	99,83	99,90	99,81	99,67	99,54	99,56	99,43	99,45	99,43	99,49	99,50	99,53	99,50	99,31	99,36	99,52	99,34	99,59	99,22
	Fórmula estrutural com base em 8 átomos de oxigênio																							
Si	2,965	2,951	2,933	2,896	2,911	2,887	2,849	2,928	2,890	2,878	2,933	2,996	2,910	2,941	2,919	2,910	2,891	2,970	2,907	2,883	2,994	2,953	2,897	2,881
Al	1,032	1,044	1,063	1,096	1,085	1,110	1,150	1,070	1,109	1,120	1,067	1,003	1,090	1,062	1,079	1,089	1,108	1,029	1,089	1,115	1,007	1,047	1,100	1,118
Fe	0,000	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005	0,004	0,003	0,004	0,000	0,001	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	0,001	0,003	0,005	0,001	0,001	0,003	0,004
Ca	0,042	0,056	0,080	0,113	0,101	0,123	0,144	0,075	0,111	0,125	0,064	0,008	0,091	0,061	0,087	0,098	0,114	0,028	0,101	0,121	0,007	0,046	0,107	0,119
Na	0,948	0,919	0,883	0,838	0,838	0,825	0,825	0,886	0,853	0,854	0,929	0,975	0,858	0,899	0,845	0,829	0,838	0,963	0,840	0,814	0,974	0,935	0,861	0,840
K	0,013	0,027	0,031	0,056	0,055	0,041	0,030	0,033	0,032	0,014	0,007	0,015	0,042	0,027	0,063	0,058	0,040	0,013	0,058	0,056	0,014	0,017	0,034	0,036
Cátions	4,999	4,999	4,992	5,003	4,993	4,991	5,003	4,996	4,998	4,996	5,001	4,997	4,995	4,990	4,995	4,988	4,994	5,003	4,998	4,994	4,996	5,000	5,001	4,999
Ab	94,566	91,723	88,882	83,174	84,319	83,375	82,618	89,069	85,648	85,985	92,840	97,761	86,571	91,141	84,974	84,151	84,441	95,943	84,109	82,109	97,851	93,669	85,988	84,381
An	4,142	5,628	8,017	11,259	10,175	12,473	14,419	7,588	11,183	12,573	6,447	0,760	9,188	6,159	8,726	9,990	11,478	2,743	10,067	12,228	0,742	4,583	10,656	11,966
Or	1,292	2,649	3,101	5,567	5,506	4,152	2,963	3,343	3,169	1,442	0,713	1,478	4,241	2,699	6,300	5,859	4,081	1,314	5,824	5,663	1,407	1,748	3,356	3,653

LMzMt = leucomonzogranito médio tardio

Apêndice 2.4 – Titanita

Tabela A.2.4.1: Análises em microsonda eletrônica de titanita das fácies ABMzG e LMzG.

Fácies	ABMzG							LMzG							
Amostra	ADR-55A							ADR-32B1							
Análise	C1_1.1	C1_1.2	C1_1.3	C1_1.4	C1_1.5	C1_1.6	C1_1.7	C2_1.1	C2_1.2	C2_1.3	C2_1.4	C2_1.5	C2_1.6	C2_1.7	C2_1.8
SiO ₂	30,43	30,51	30,52	30,35	30,35	30,43	30,47	30,79	30,02	29,97	29,94	30,09	29,65	29,54	30,02
TiO ₂	31,16	30,89	30,98	30,77	30,83	30,94	31,11	28,34	29,41	29,48	29,05	29,47	29,60	29,43	29,06
Al ₂ O ₃	4,06	4,30	4,18	3,98	3,98	4,21	3,95	4,86	4,33	4,40	4,51	4,49	3,86	4,07	4,14
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
FeO	3,27	3,10	3,05	3,02	3,17	2,89	3,23	3,78	3,77	3,41	3,68	3,58	3,84	4,29	3,98
MnO	0,21	0,16	0,16	0,17	0,20	0,16	0,17	0,20	0,21	0,20	0,21	0,21	0,20	0,17	0,20
MgO	0,12	0,15	0,13	0,13	0,14	0,12	0,17	0,37	0,33	0,28	0,34	0,30	0,27	0,33	0,32
CaO	26,38	26,70	26,88	26,26	26,25	27,16	26,98	24,14	24,95	25,46	25,19	25,25	24,21	23,74	24,75
Na ₂ O	0,06	0,03	0,05	0,06	0,05	0,05	0,08	0,40	0,08	0,08	0,06	0,08	0,12	0,13	0,10
K ₂ O	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,05	0,04	0,04	0,01	0,03	0,02	0,04	0,04	0,02
Total	95,73	95,87	95,98	94,75	95,00	95,96	96,20	92,90	93,13	93,27	93,02	93,49	91,80	91,75	92,58
Fórmula estrutural com base em 5 átomos de oxigênio															
Si	1,040	1,040	1,040	1,046	1,044	1,037	1,038	1,077	1,053	1,049	1,051	1,051	1,055	1,052	1,060
Ti	0,801	0,792	0,794	0,798	0,798	0,793	0,797	0,745	0,776	0,776	0,767	0,774	0,792	0,788	0,771
Al	0,163	0,173	0,168	0,162	0,162	0,169	0,159	0,200	0,179	0,181	0,187	0,185	0,162	0,171	0,172
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	0,093	0,088	0,087	0,087	0,091	0,082	0,092	0,110	0,111	0,100	0,108	0,104	0,114	0,128	0,117
Mn	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006
Mg	0,006	0,008	0,006	0,006	0,007	0,006	0,009	0,019	0,017	0,015	0,018	0,016	0,014	0,017	0,017
Ca	0,966	0,975	0,981	0,970	0,968	0,991	0,984	0,905	0,938	0,955	0,948	0,944	0,923	0,906	0,936
Na	0,004	0,002	0,003	0,004	0,003	0,003	0,005	0,027	0,005	0,005	0,004	0,005	0,008	0,009	0,007
K	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002	0,002	0,002	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001
Fe/Al	0,571	0,511	0,517	0,538	0,565	0,488	0,579	0,552	0,619	0,549	0,579	0,565	0,705	0,747	0,682

Apêndice 2.5 – Ilmenita

Tabela A.2.5.1: Análises em microsonda eletrônica de ilmenita da fácies GC.

Fácies Amostra Análise	GC																	
	ADR-136i																	
	C3_1-9	C3_1-11	C3_1-12	C3_1-13	C3_2-5	C3_2-6	C3_2-7	C3_2-8	C3_2-9	C4_1-8	C4_1-9	C4_1-10	C4_1-11	C4_1-12	C4_2-1	C4_2-2	C4_2-3	C4_2-4
SiO ₂	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,03
TiO ₂	52,67	51,90	51,93	51,72	51,09	51,46	50,69	51,24	51,71	51,12	50,76	51,25	51,83	51,29	51,18	50,15	50,90	51,17
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Fe ₂ O ₃	0,65	0,90	1,72	1,34	1,99	1,87	2,61	2,04	0,13	2,31	3,24	2,66	2,24	2,21	1,77	3,12	2,91	2,35
FeO	43,56	42,98	42,52	42,63	41,69	42,29	41,41	41,97	42,85	42,56	42,07	42,33	42,87	42,39	42,11	41,33	41,93	42,22
MnO	3,74	3,57	4,12	3,83	4,05	3,84	4,10	4,09	3,55	3,37	3,55	3,70	3,70	3,68	3,84	3,73	3,79	3,77
MgO	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
CaO	0,02	0,08	0,03	0,01	0,13	0,07	0,03	0,01	0,07	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Total	100,65	99,45	100,36	99,55	98,97	99,58	98,87	99,37	98,34	99,38	99,63	99,97	100,67	99,62	98,92	98,36	99,57	99,56
Fórmula estrutural com base em 3 átomos de oxigênio																		
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
Ti	0,994	0,991	0,983	0,987	0,981	0,982	0,974	0,980	0,998	0,978	0,969	0,975	0,979	0,978	0,983	0,969	0,972	0,977
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ⁺³	0,012	0,017	0,033	0,026	0,038	0,036	0,050	0,039	0,003	0,044	0,062	0,051	0,042	0,042	0,034	0,060	0,056	0,045
Fe ⁺²	0,914	0,912	0,895	0,904	0,890	0,897	0,885	0,892	0,920	0,905	0,893	0,895	0,900	0,899	0,899	0,888	0,890	0,896
Mn	0,079	0,077	0,088	0,082	0,088	0,082	0,089	0,088	0,077	0,073	0,076	0,079	0,079	0,079	0,083	0,081	0,081	0,081
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,002	0,001	0,000	0,004	0,002	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Total	2,00	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

GC = granito cumulático

Tabela A.2.5.2: Análises em microsonda eletrônica de ilmenita da fácies BAMzG.

Fácies Amostra Análise	BAMzG																		
	ADR-136C																		
	C1_1-8	C1_1-9	C1_1-10	C1_1-11	C1_1-12	C1_1-13	C1_2-1	C1_2-2	C1_2-3	C1_2-4	C1_2-5	C1_2-6	C3_1-5	C3_1-6	C5_1-4	C5_1-5	C5_1-6	C5_1-7	C5_1-8
SiO ₂	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01
TiO ₂	51,25	51,07	50,86	50,95	50,97	50,91	50,58	50,52	50,75	50,84	50,70	50,87	51,53	51,37	52,22	51,80	51,61	51,17	51,77
Al ₂ O ₃	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00
Fe ₂ O ₃	2,85	3,10	2,41	2,47	2,65	3,08	3,36	3,82	3,17	3,77	3,25	3,60	1,97	2,51	1,31	1,94	2,63	3,13	2,60
FeO	41,79	41,98	41,82	42,13	41,94	41,64	43,10	42,98	43,29	43,27	43,08	43,22	43,59	43,18	44,18	43,82	43,48	43,32	43,71
MnO	4,24	3,91	3,88	3,67	3,81	4,04	2,35	2,36	2,27	2,40	2,49	2,52	2,70	2,98	2,78	2,73	2,88	2,67	2,83
MgO	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
CaO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,05	0,03	0,07	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
Total	100,16	100,12	99,01	99,24	99,45	99,76	99,46	99,76	99,52	100,30	99,58	100,26	99,85	100,09	100,58	100,35	100,66	100,34	100,91
	Fórmula estrutural com base em 3 átomos de oxigênio																		
Si	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Ti	0,973	0,970	0,976	0,976	0,974	0,970	0,967	0,963	0,970	0,964	0,968	0,965	0,981	0,976	0,986	0,981	0,975	0,970	0,975
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ⁺³	0,054	0,059	0,046	0,047	0,051	0,059	0,064	0,073	0,060	0,072	0,062	0,068	0,038	0,048	0,025	0,037	0,050	0,059	0,049
Fe ⁺²	0,882	0,886	0,893	0,897	0,891	0,882	0,916	0,911	0,920	0,912	0,915	0,911	0,922	0,912	0,927	0,923	0,913	0,913	0,915
Mn	0,091	0,084	0,084	0,079	0,082	0,087	0,051	0,051	0,049	0,051	0,054	0,054	0,058	0,064	0,059	0,058	0,061	0,057	0,060
Mg	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

BAMzG = biotita-anfibólio monzogranito grosso

Tabela A.2.5.3: Análises em microsonda eletrônica de ilmenita da fácies ABMzG.

Fácies Amostra Análise	ABMzG																			
	ADR-55A																			
	C1_ 1-8	C1_ 1-9	C1_ 1-10	C1_ 1-11	C1_ 1-12	C1_ 2-11	C1_ 2-12	C1_ 2-13	C1_ 2-14	C1_ 2-15	C1_ 2-16	C1_ 2-17	C2_ 1-8	C2_ 1-9	C2_ 1-10	C2_ 1-11	C6_ 2-8	C6_ 2-9	C6_ 2-10	C6_ 2-11
SiO ₂	0,04	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,04
TiO ₂	51,84	51,01	50,77	50,26	50,99	51,07	52,08	50,65	50,74	51,65	51,16	51,52	49,93	51,63	50,97	51,09	50,79	50,78	49,78	50,90
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
Fe ₂ O ₃	2,44	3,27	4,04	4,13	2,96	3,68	1,89	3,45	2,80	2,35	3,18	2,03	4,75	2,72	3,52	3,30	3,79	2,90	4,36	2,70
FeO	43,32	42,65	42,57	42,01	42,69	42,14	43,08	41,87	42,10	42,07	41,76	41,96	41,35	42,95	42,62	42,41	42,53	42,51	41,80	42,77
MnO	3,31	3,19	3,09	3,13	3,15	3,73	3,69	3,62	3,52	4,35	4,22	4,34	3,52	3,47	3,22	3,51	3,09	3,12	2,95	3,02
MgO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,01
CaO	0,01	0,02	0,00	0,03	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
Total	100,96	100,15	100,51	99,57	99,82	100,66	100,77	99,60	99,21	100,44	100,36	99,87	99,58	100,78	100,35	100,33	100,29	99,36	98,94	99,44
	Fórmula estrutural com base em 3 átomos de oxigênio																			
Si	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
Ti	0,976	0,969	0,961	0,960	0,971	0,965	0,982	0,967	0,972	0,977	0,969	0,980	0,954	0,974	0,966	0,968	0,963	0,972	0,957	0,973
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ⁺³	0,046	0,062	0,077	0,079	0,056	0,070	0,036	0,066	0,054	0,044	0,060	0,039	0,091	0,051	0,067	0,062	0,072	0,055	0,084	0,052
Fe ⁺²	0,906	0,900	0,896	0,892	0,904	0,885	0,903	0,889	0,897	0,885	0,880	0,888	0,879	0,901	0,898	0,894	0,897	0,904	0,894	0,909
Mn	0,070	0,068	0,066	0,067	0,067	0,079	0,078	0,078	0,076	0,093	0,090	0,093	0,076	0,074	0,069	0,075	0,066	0,067	0,064	0,065
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

ABMzG =anfíbólio-biotita monzogranito grosso

Tabela A.2.5.4: Análises em microsonda eletrônica de ilmenita da fácies LMzG.

Fácies Amostra Análise	LMzG																	
	ADR-32B						ADR-32B-1											
	C3_ 1-7	C3_ 1-8	C3_ 1-9	C3_ 1-10	C3_ 1-11	C3_ 1-12	C2_ 1-2	C2_ 1-4	C2_ 1-5	C2_ 2-6	C2_ 2-7	C2_ 2-8	C2_ 3-7	C2_ 3-9	C2_ 3-10	C2_ 3-11	C2_ 3-12	C2_ 4-7
SiO ₂	0,02	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02
TiO ₂	51,49	51,61	51,37	51,00	51,16	51,43	52,38	51,58	51,88	52,14	51,75	52,06	52,12	52,87	52,87	52,38	52,19	52,23
Al ₂ O ₃	0,01	0,01	0,00	0,07	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01
Fe ₂ O ₃	3,59	3,69	3,59	4,43	3,55	3,26	1,02	2,87	2,62	2,35	2,25	2,01	3,54	2,07	1,88	2,37	1,82	2,07
FeO	40,49	40,88	39,76	40,16	40,32	40,15	43,00	41,70	41,02	40,16	43,61	40,22	39,72	41,64	40,95	39,98	39,29	40,95
MnO	5,76	5,49	6,37	5,60	5,68	5,96	4,09	4,66	5,54	6,63	4,94	6,53	7,01	5,85	6,44	7,04	7,46	5,97
MgO	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,02	0,00	0,01	0,05	0,01	0,09	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,02	0,06	0,01	0,08	0,04	0,13	0,01
Total	101,38	101,73	101,14	101,33	100,77	100,92	100,52	100,84	101,12	101,34	102,59	100,87	102,47	102,46	102,24	101,86	100,95	101,26
	Fórmula estrutural com base em 3 átomos de oxigênio																	
Si	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Ti	0,966	0,965	0,965	0,957	0,965	0,968	0,990	0,972	0,975	0,977	0,964	0,980	0,967	0,980	0,982	0,977	0,981	0,980
Al	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Fe ⁺³	0,067	0,069	0,067	0,083	0,067	0,061	0,019	0,054	0,049	0,044	0,042	0,038	0,066	0,038	0,035	0,044	0,034	0,039
Fe ⁺²	0,844	0,849	0,831	0,838	0,846	0,840	0,903	0,874	0,857	0,837	0,903	0,842	0,819	0,858	0,846	0,829	0,821	0,854
Mn	0,122	0,115	0,135	0,118	0,121	0,126	0,087	0,099	0,117	0,140	0,104	0,139	0,146	0,122	0,135	0,148	0,158	0,126
Mg	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001	0,003	0,000
Total	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,014	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

LMzG = leucomonzogranito grosso

Tabela A.2.5.5: Análises em microsonda eletrônica de ilmenita da fácies LMzMt.

Fácies Amostra Análise	LMzMt			
	ADR-140			
	C3_ 1-5	C3_ 1-6	C5_ 1-8	C5_ 1-9
SiO ₂	0,01	0,02	0,04	0,05
TiO ₂	50,38	50,44	50,72	50,84
Al ₂ O ₃	0,00	0,01	0,00	0,02
Fe ₂ O ₃	5,25	4,66	5,34	5,47
FeO	38,51	38,57	33,06	32,82
MnO	6,72	6,74	12,43	12,79
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,01	0,00	0,01	0,01
Total	100,89	100,45	101,61	101,99
Fórmula estrutural com base em 3 átomos de oxigênio				
Si	0,000	0,001	0,001	0,001
Ti	0,950	0,955	0,949	0,948
Al	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ⁺³	0,099	0,088	0,100	0,102
Fe ⁺²	0,807	0,812	0,688	0,680
Mn	0,143	0,144	0,262	0,268
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	2,000	2,000	2,000	2,000

LMzMt = leucomonzogranito médio tardio

Apêndice 2.6 – Magnetita

Tabela A.2.6.1: Análises em microsonda eletrônica de magnetita da fácies GC.

Fácies Amostra Análise	GC																				
	ADR-136i																				
	C3_1-1	C3_1-2	C3_1-3	C3_1-4	C3_1-5	C3_1-6	C3_1-7	C3_1-8	C3_2-2	C3_2-3	C3_2-4	C3_3-3	C3_3-4	C3_4-1	C3_4-2	C3_4-3	C4_1-1	C4_1-4	C4_1-7	C4_2-5	C4_2-6
SiO ₂	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0,06	0,07	0,06	0,06	0,06	0,10	0,17	0,05	0,05	0,04	0,07	0,10	0,07	0,08	0,08
TiO ₂	0,75	1,06	1,15	1,41	1,74	2,04	0,80	1,00	2,28	1,98	1,04	0,08	0,04	0,57	0,34	0,16	1,01	1,72	1,44	1,21	0,75
Al ₂ O ₃	0,22	0,33	0,24	0,27	0,32	0,21	0,29	0,18	0,11	0,14	0,06	0,00	0,02	0,08	0,05	0,04	0,20	0,26	0,27	0,03	0,04
Fe ₂ O ₃	66,36	65,78	65,84	65,73	64,69	64,14	66,36	65,96	63,12	64,01	66,06	67,02	67,49	67,37	66,85	67,87	65,10	64,89	65,18	66,47	66,77
FeO	31,42	31,73	31,91	32,39	32,48	32,54	31,61	31,70	32,61	32,46	31,69	30,38	30,62	31,65	31,03	31,16	31,54	32,69	32,29	32,17	31,53
MnO	0,04	0,12	0,05	0,05	0,13	0,19	0,03	0,05	0,19	0,14	0,04	0,09	0,08	0,05	0,00	0,02	0,10	0,10	0,13	0,09	0,06
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
CaO	0,07	0,01	0,03	0,01	0,00	0,08	0,00	0,06	0,02	0,06	0,03	0,04	0,12	0,01	0,05	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02
Cr ₂ O ₃	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,45	0,34	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
V ₂ O ₃	0,04	0,00	0,04	0,00	0,13	0,12	0,00	0,13	0,27	0,18	0,00	0,00	0,00	0,02	0,11	0,17	0,46	0,21	0,29	0,00	0,05
Total	99,02	99,08	99,30	99,92	99,54	99,37	99,15	99,14	98,67	99,03	98,98	97,70	98,53	100,20	98,95	99,81	98,48	99,97	99,68	100,11	99,29
	Fórmula estrutural com base em 4 átomos de oxigênio																				
Si	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,004	0,007	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003
Ti	0,022	0,031	0,033	0,041	0,051	0,059	0,023	0,029	0,067	0,058	0,030	0,002	0,001	0,017	0,010	0,005	0,030	0,050	0,042	0,035	0,022
Al	0,010	0,015	0,011	0,012	0,014	0,009	0,013	0,008	0,005	0,007	0,003	0,000	0,001	0,003	0,002	0,002	0,009	0,012	0,012	0,002	0,002
Fe ⁺³	1,939	1,919	1,917	1,901	1,877	1,865	1,935	1,924	1,849	1,868	1,932	1,988	1,984	1,953	1,963	1,975	1,912	1,875	1,890	1,922	1,947
Fe ⁺²	1,020	1,029	1,033	1,041	1,048	1,052	1,025	1,028	1,061	1,053	1,030	1,001	1,000	1,020	1,013	1,008	1,029	1,050	1,040	1,034	1,022
Mn	0,001	0,004	0,002	0,001	0,004	0,006	0,001	0,002	0,006	0,005	0,001	0,003	0,002	0,002	0,000	0,001	0,003	0,003	0,004	0,003	0,002
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Ca	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000	0,003	0,000	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,005	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Cr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,005	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004	0,004	0,000	0,004	0,008	0,006	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,005	0,014	0,006	0,009	0,000	0,001
Ulvospinélio (%)	2,211	3,114	3,367	4,100	5,095	5,982	2,355	2,926	6,715	5,815	3,036	0,223	0,103	1,669	0,994	0,462	3,000	5,003	4,225	3,508	2,190

GC = granito cumulático

Tabela A.2.6.2: Análises em microsonda eletrônica de magnetita da fácies BAMzG.

Fácies Amostra Análise	BAMzG																		
	ADR-136C																		
	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C1_1-6	C1_1-7	C1_2-7	C1_2-8	C1_2-9	C1_2-10	C3_1-1	C3_1-2	C3_1-3	C3_1-4	C5_1-1	C5_1-2	C5_1-3	C5_1-9
SiO ₂	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,08	0,06	0,07	0,05	0,09	0,08	0,08	0,08	0,06	0,08	0,06	0,07	0,09
TiO ₂	1,35	0,44	2,49	0,48	1,29	1,77	1,05	1,13	1,69	2,01	0,88	1,04	1,54	1,68	2,27	1,63	2,18	2,44	2,59
Al ₂ O ₃	0,22	0,09	0,14	0,10	0,17	0,25	0,20	0,18	0,21	0,12	0,01	0,36	0,41	0,40	0,24	0,41	0,35	0,57	0,27
Fe ₂ O ₃	64,47	66,41	63,45	66,48	65,46	64,50	64,59	65,51	64,01	63,79	65,83	65,79	64,75	64,27	63,29	64,94	63,86	62,36	62,97
FeO	31,84	30,96	33,24	30,97	31,94	32,38	31,29	31,88	32,19	32,59	31,52	31,97	32,40	32,43	32,83	32,66	33,11	32,87	33,35
MnO	0,02	0,00	0,17	0,07	0,08	0,23	0,01	0,01	0,06	0,03	0,02	0,04	0,10	0,15	0,17	0,02	0,12	0,19	0,11
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
CaO	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,01	0,05	0,02	0,05	0,06	0,00	0,03	0,01	0,03	0,03	0,01	0,07	0,01
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
V ₂ O ₃	0,23	0,14	0,24	0,13	0,00	0,31	0,06	0,31	0,25	0,34	0,44	0,27	0,25	0,41	0,36	0,25	0,41	0,30	0,22
Total	98,23	98,12	99,80	98,31	99,01	99,53	97,28	99,17	98,55	98,99	98,85	99,55	99,60	99,42	99,27	100,02	100,12	98,87	99,62
Fórmula estrutural com base em 4 átomos de oxigênio																			
Si	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,003	0,004
Ti	0,040	0,013	0,072	0,014	0,038	0,051	0,031	0,033	0,050	0,059	0,026	0,030	0,045	0,049	0,066	0,047	0,063	0,071	0,075
Al	0,010	0,004	0,006	0,005	0,008	0,012	0,009	0,008	0,010	0,006	0,000	0,016	0,019	0,018	0,011	0,018	0,016	0,026	0,012
Fe ⁺³	1,897	1,960	1,837	1,958	1,912	1,872	1,920	1,911	1,877	1,862	1,928	1,909	1,877	1,866	1,841	1,874	1,841	1,817	1,824
Fe ⁺²	1,041	1,016	1,069	1,014	1,037	1,044	1,034	1,033	1,049	1,058	1,026	1,031	1,044	1,046	1,061	1,048	1,061	1,064	1,074
Mn	0,001	0,000	0,006	0,002	0,003	0,007	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,003	0,005	0,006	0,001	0,004	0,006	0,004
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
Ca	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,002	0,001	0,002	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,003	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V	0,007	0,004	0,007	0,004	0,000	0,009	0,002	0,010	0,008	0,010	0,014	0,008	0,008	0,013	0,011	0,008	0,013	0,009	0,007
Ulvospinério (%)	4,013	1,291	7,261	1,429	3,786	5,203	3,124	3,332	4,995	5,915	2,588	3,050	4,524	4,934	6,682	4,741	6,350	7,207	7,553

BAMzG = biotita-anfibólio monzogranito grosso

Tabela A.2.6.3: Análises em microsonda eletrônica de magnetita da fácies ABMzG.

Fácies Amostra Análise	ABMzG													
	ADR-55A													
	C1_1-1	C1_1-2	C1_1-3	C1_1-4	C1_1-5	C1_1-7	C1_2-1	C1_2-2	C1_2-3	C1_2-5	C1_2-7	C1_2-8	C1_2-9	C1_2-10
SiO ₂	0,08	0,08	0,06	0,08	0,10	0,08	0,07	0,40	0,07	0,09	0,08	0,07	0,05	0,06
TiO ₂	0,80	1,11	1,02	3,26	2,31	0,59	2,56	1,36	1,98	2,35	3,55	2,04	1,63	3,58
Al ₂ O ₃	0,18	0,29	0,23	0,65	0,59	0,09	0,56	0,55	0,42	0,36	0,42	0,30	0,22	0,46
Fe ₂ O ₃	66,74	65,49	66,06	61,16	63,14	68,20	62,74	64,36	64,06	62,65	60,91	63,58	64,92	60,89
FeO	31,74	31,85	31,90	33,87	33,07	32,12	33,07	32,60	32,64	32,66	34,00	32,52	32,44	33,92
MnO	0,06	0,04	0,03	0,23	0,17	0,00	0,26	0,13	0,22	0,23	0,35	0,22	0,10	0,42
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,04	0,02	0,05	0,02	0,00	0,00	0,05	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01
V ₂ O ₃	0,18	0,15	0,28	0,23	0,04	0,24	0,00	0,03	0,04	0,00	0,20	0,24	0,32	0,11
Total	99,82	99,05	99,64	99,48	99,42	101,33	99,31	99,45	99,44	98,37	99,52	98,98	99,68	99,46
	Fórmula estrutural com base em 4 átomos de oxigênio													
Si	0,003	0,003	0,002	0,003	0,004	0,003	0,003	0,016	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002
Ti	0,023	0,032	0,030	0,094	0,067	0,017	0,074	0,039	0,057	0,069	0,103	0,060	0,047	0,104
Al	0,008	0,013	0,011	0,029	0,027	0,004	0,025	0,025	0,019	0,016	0,019	0,014	0,010	0,021
Fe ⁺³	1,934	1,911	1,917	1,769	1,830	1,949	1,821	1,865	1,859	1,838	1,763	1,855	1,882	1,764
Fe ⁺²	1,022	1,033	1,029	1,089	1,065	1,020	1,067	1,049	1,053	1,065	1,094	1,054	1,045	1,092
Mn	0,002	0,001	0,001	0,007	0,005	0,000	0,008	0,004	0,007	0,007	0,011	0,007	0,003	0,014
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,002	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V	0,006	0,005	0,009	0,007	0,001	0,007	0,000	0,001	0,001	0,000	0,006	0,007	0,010	0,003
Ulvospinélio (%)	2,328	3,264	2,984	9,574	6,770	1,705	7,532	3,991	5,801	6,960	10,413	6,017	4,753	10,503

ABMzG =anfíbólio-biotita monzogranito grosso

Tabela A.2.6.3: Análises em microsonda eletrônica de magnetita da fácies ABMzG (Cont.).

Fácies Amostra Análise	ABMzG														
	ADR-55A														
	C2_1-1	C2_1-2	C2_1-3	C2_1-5	C2_1-6	C4_1-1	C4_1-2	C4_1-4	C4_1-5	C4_1-6	C6_1-2	C6_1-3	C6_2-1	C6_2-4	C6_2-7
SiO ₂	0,08	0,07	0,09	0,07	0,10	0,16	0,26	0,12	0,12	0,18	0,10	0,14	0,10	0,10	0,08
TiO ₂	1,43	2,04	2,21	2,36	1,88	1,12	0,07	0,06	0,04	0,08	1,12	1,11	2,49	2,06	2,34
Al ₂ O ₃	0,22	0,35	0,34	0,32	0,19	0,03	0,11	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,28	0,27	0,36
Fe ₂ O ₃	65,08	64,14	62,61	63,09	64,15	65,19	67,07	67,49	67,24	67,30	65,01	65,34	62,88	63,72	62,90
FeO	32,16	32,79	32,36	32,78	32,44	31,52	30,86	30,75	30,57	30,80	31,35	31,54	33,11	32,59	32,85
MnO	0,09	0,18	0,24	0,22	0,17	0,12	0,04	0,00	0,01	0,02	0,12	0,16	0,18	0,19	0,16
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
CaO	0,01	0,00	0,00	0,08	0,00	0,07	0,07	0,03	0,04	0,08	0,06	0,04	0,00	0,02	0,01
Cr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
V ₂ O ₃	0,15	0,04	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,03	0,00	0,18	0,00	0,13
Total	99,22	99,61	97,86	99,08	98,92	98,21	98,49	98,49	98,04	98,59	97,82	98,40	99,23	98,95	98,85
	Fórmula estrutural com base em 4 átomos de oxigênio														
Si	0,003	0,003	0,004	0,003	0,004	0,006	0,010	0,005	0,005	0,007	0,004	0,006	0,004	0,004	0,003
Ti	0,042	0,059	0,065	0,069	0,055	0,033	0,002	0,002	0,001	0,002	0,033	0,033	0,072	0,060	0,068
Al	0,010	0,016	0,016	0,015	0,009	0,001	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,013	0,012	0,017
Fe ⁺³	1,896	1,859	1,847	1,838	1,874	1,921	1,970	1,985	1,987	1,977	1,923	1,921	1,829	1,860	1,836
Fe ⁺²	1,041	1,056	1,061	1,061	1,053	1,032	1,007	1,005	1,004	1,005	1,031	1,031	1,070	1,057	1,066
Mn	0,003	0,006	0,008	0,007	0,006	0,004	0,001	0,000	0,000	0,001	0,004	0,005	0,006	0,006	0,005
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,003	0,003	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,000	0,001	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V	0,005	0,001	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,005	0,000	0,004
Ulvospinelio (%)	4,200	5,968	6,562	6,956	5,533	3,300	0,213	0,186	0,118	0,227	3,338	3,291	7,315	6,066	6,909

ABMzG =anfóbio-biotita monzogranito grosso

Tabela A.2.6.4: Análises em microsonda eletrônica de magnetita da fácies LMzG.

Fácies Amostra Análise	LMzG									
	ADR-32B				ADR-32B1					
	C3_1-1	C3_1-2	C3_1-5	C3_1-6	C2_4-1	C2_4-2	C2_4-3	C2_4-4	C2_4-5	C2_4-6
SiO ₂	0,08	0,08	0,09	0,11	0,07	0,09	0,08	0,08	0,09	0,28
TiO ₂	3,42	1,48	1,10	0,93	1,00	1,44	2,52	4,33	1,65	0,67
Al ₂ O ₃	0,60	0,10	0,18	0,19	0,14	0,26	0,35	0,23	0,33	0,09
Fe ₂ O ₃	60,61	65,53	67,05	66,44	67,16	66,59	64,68	60,54	65,15	66,89
FeO	33,64	32,39	32,40	31,91	32,26	32,83	33,88	34,94	32,56	31,92
MnO	0,47	0,08	0,04	0,07	0,09	0,19	0,26	0,42	0,16	0,08
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,01	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03	0,00	0,03
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V ₂ O ₃	0,16	0,14	0,01	0,17	0,16	0,22	0,17	0,03	0,00	0,06
Total	98,98	99,81	100,90	99,85	100,88	101,62	101,95	100,60	99,94	100,02
Fórmula estrutural com base em 4 átomos de oxigênio										
Si	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,011
Ti	0,099	0,043	0,032	0,027	0,029	0,041	0,071	0,124	0,048	0,019
Al	0,027	0,004	0,008	0,009	0,006	0,012	0,016	0,010	0,015	0,004
Fe ⁺³	1,763	1,899	1,922	1,924	1,926	1,894	1,831	1,734	1,883	1,934
Fe ⁺²	1,087	1,043	1,032	1,027	1,028	1,037	1,066	1,113	1,046	1,026
Mn	0,015	0,003	0,001	0,002	0,003	0,006	0,008	0,013	0,005	0,003
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V	0,005	0,004	0,000	0,005	0,005	0,007	0,005	0,001	0,000	0,002
Ulvospinélio (%)	10,103	4,312	3,173	2,701	2,889	4,130	7,205	12,531	4,794	1,939

LMzG = leucomonzogranito grosso

Tabela A.2.6.5: Análises em microsonda eletrônica de magnetita da fácies LMzMt.

Fácies Amostra Análise	LMzMt															
	ADR-140															
	C2_1-1	C2_1-2	C2_1-3	C2_1-4	C2_1-5	C2_1-6	C2_1-7	C3_1-1	C3_1-2	C3_1-3	C3_1-4	C5_1-1	C5_1-2	C5_1-4	C5_1-5	C5_1-6
SiO ₂	0,07	0,08	0,07	0,06	0,08	0,06	0,10	0,08	0,08	0,08	0,09	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08
TiO ₂	0,59	0,56	0,49	0,53	0,46	0,33	0,59	0,13	0,44	0,89	0,65	0,36	0,45	0,59	0,65	0,55
Al ₂ O ₃	4,40	0,07	0,20	0,15	0,24	0,18	0,27	0,05	0,10	0,14	0,39	0,21	0,36	0,25	0,14	0,18
Fe ₂ O ₃	63,08	67,72	67,64	67,86	67,91	68,18	67,60	68,40	68,00	66,65	68,12	68,45	67,95	67,03	67,65	67,46
FeO	32,76	31,66	31,54	31,74	31,85	31,57	31,89	31,22	31,64	31,96	32,28	31,79	31,74	31,60	31,83	31,63
MnO	0,00	0,05	0,04	0,02	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,02	0,07	0,01	0,05	0,00	0,04	0,03
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01	0,02
V ₂ O ₃	0,14	0,00	0,00	0,16	0,29	0,15	0,01	0,00	0,00	0,19	0,08	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	101,04	100,13	99,99	100,55	100,83	100,51	100,45	99,89	100,27	99,94	101,68	100,99	100,61	99,61	100,39	99,95
Fórmula estrutural com base em 4 átomos de oxigênio																
Si	0,002	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003
Ti	0,016	0,016	0,014	0,015	0,013	0,009	0,017	0,004	0,013	0,026	0,018	0,010	0,013	0,017	0,019	0,016
Al	0,193	0,003	0,009	0,007	0,011	0,008	0,012	0,002	0,005	0,007	0,018	0,009	0,016	0,011	0,006	0,008
Fe ⁺³	1,765	1,958	1,958	1,953	1,948	1,964	1,947	1,984	1,964	1,930	1,936	1,962	1,953	1,948	1,951	1,953
Fe ⁺²	1,019	1,018	1,014	1,015	1,016	1,011	1,021	1,006	1,015	1,028	1,020	1,012	1,014	1,020	1,020	1,018
Mn	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
V	0,004	0,000	0,000	0,005	0,009	0,004	0,000	0,000	0,000	0,006	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Ulvospinelio (%)	1,762	1,632	1,416	1,539	1,327	0,947	1,693	0,386	1,262	2,587	1,860	1,037	1,287	1,728	1,872	1,585

LMzMt = leucomonzogranito médio tardio

Tabela A.2.6.5: Análises em microsonda eletrônica de magnetita da fácies LMzMt (Cont.).

Fácies Amostra Análise	LMzMt								
	ADR-140-1								
	C3_1-1	C3_1-2	C3_1-3	C3_1-4	C3_1-5	C3_1-6	C3_1-7	C3_1-8	C3_1-9
SiO ₂	0,06	0,07	0,05	0,05	0,07	0,06	0,04	0,06	0,04
TiO ₂	0,36	0,38	0,50	0,45	0,52	0,41	0,36	0,54	0,77
Al ₂ O ₃	0,22	0,24	0,16	0,16	0,20	0,24	0,12	1,25	0,08
Fe ₂ O ₃	68,35	67,96	67,75	68,51	67,79	67,92	68,97	66,43	67,77
FeO	31,72	31,62	31,66	31,82	31,72	31,57	31,86	31,81	31,86
MnO	0,00	0,03	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01	0,07	0,16
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00
V ₂ O ₃	0,03	0,14	0,19	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00
Total	100,77	100,44	100,34	101,05	100,32	100,31	101,41	100,19	100,69
	Fórmula estrutural com base em 4 átomos de oxigênio								
Si	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001
Ti	0,010	0,011	0,014	0,013	0,015	0,012	0,010	0,016	0,022
Al	0,010	0,011	0,007	0,007	0,009	0,011	0,005	0,056	0,004
Fe ⁺³	1,964	1,958	1,954	1,963	1,955	1,959	1,970	1,908	1,949
Fe ⁺²	1,013	1,012	1,015	1,013	1,017	1,012	1,012	1,015	1,018
Mn	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002	0,005
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V	0,001	0,004	0,006	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Ulvospinélio (%)	1,044	1,101	1,441	1,288	1,506	1,189	1,034	1,592	2,227

LMzMt = leucomonzogranito médio tardio