



Universidade Federal da Pará



Instituto de Geociências



Faculdade de Geologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

INGRID ROBERTA VIANA DA CUNHA

PETROLOGIA MAGNÉTICA E QUÍMICA MINERAL DOS GRANITOS
DA SUÍTE PLANALTO DE CANAÃ DOS CARAJÁS, PROVÍNCIA
CARAJÁS

BELÉM-PARÁ
ABRIL - 2013

INGRID ROBERTA VIANA DA CUNHA

PETROLOGIA MAGNÉTICA E QUÍMICA MINERAL DOS GRANITOS
DA SUÍTE PLANALTO DE CANAÃ DOS CARAJÁS, PROVÍNCIA
CARAJÁS

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

Orientador: Prof. Dr. Roberto Dall’Agnol.

Coorientadora: Profa. Dra. Gilmara Regina
Lima Feio

BELÉM
2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFPA

C972p Cunha, Ingrid Roberta Viana da

Petrologia magnética e química mineral dos granitos da Suíte Planalto de Canaã dos Carajás, Província Carajás / Ingrid Roberta Viana da Cunha; Orientador: Roberto Dall'Agnol; Coorientadora: Gilmara Regina Lima Feio – 2013

108 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2013.

1. Petrologia – Carajás, Província (PA). 2. Química mineral semiquantitativa. 3. Suíte Planalto. 4. Granitos Tipo-A. 5. Arqueano I. Dall'Agnol, Roberto, *orient.* II. Feio, Gilmara Regina Lima, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22^a ed.: 552.098115

INGRID ROBERTA VIANA DA CUNHA

PETROLOGIA MAGNÉTICA E QUÍMICA MINERAL DOS GRANITOS
DA SUÍTE PLANALTO DE CANAÃ DOS CARAJÁS, PROVÍNCIA
CARAJÁS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia
do Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Pará (UFPA),
como requisito de cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Geólogo – Bacharel em Geologia.

Data de Aprovação: ___/___/___

Conceito: _____

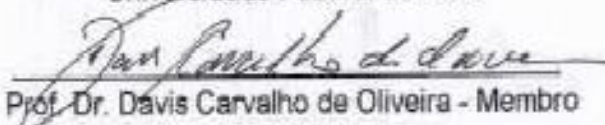
Banca Examinadora:



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



Prof. Dr. Jean Michel Lafon – Membro
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira - Membro
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

A minha família e amigos, pelo apoio. Em especial, a minha mãe por todo amor, esforço e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Neste espaço a autora expressa seus agradecimentos a todos que, direta ou indiretamente, prestaram sua contribuição para que este trabalho fosse concluído, em especial.

- A Deus, pela vida e bênçãos concedidas;
- Aos meus pais por toda dedicação, amor, carinho, confiança e paciência;
- Ao meu irmão Ivson, por nossos momentos únicos de “carinho”;
- Ao meu amigo Edvaldo, pela confiança, incentivo e pelos investimentos constantes nos meus estudos;
- Aos membros da minha família que sempre torceram por mim;
- Ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica e ao INCT de Geociências da Amazônia pelo suporte financeiro para a pesquisa;
- Ao Grupo de Pesquisa de Petrologia de Granitóides (GPPG) do Instituto de Geociências (IG) da UFPA, pelo suporte técnico-científico;
- A professora Gilmara pela orientação na elaboração deste trabalho. E por todos os ensinamentos, além do apoio e confiança ao longo desses anos de trabalho;
- Ao professor Roberto Dall’Agnol, pela orientação, incentivo e fundamental colaboração neste trabalho;
- Ao Prof. Claudio Nery Lamarão por toda ajuda prestada no LABMEV e por sempre incentivar meu trabalho;
- Aos amigos do GPPG que sempre estiveram dispostos a ajudar: Fabriciana, Patrick e Mayara.
- Ao meu grande amigo Juvenal Neto (Ju), pela nossa amizade indescritível. E pela confiança, parceria e cumplicidade ao longo desses cinco anos de estudos, trabalhos e relatórios geológicos.
- As minhas amigas/maridas, Bruna Nogueira e Haline Vasconcellos, pela amizade, companheirismo e confiança.
- Aos meus amigos da turma de geologia 2008 por todos os momentos maravilhosos que vivemos dentro e fora da universidade. Sem dúvida a amizade de vocês foi a melhor conquista geológica que obtive e esta será mantida por toda vida. Em especial: Bruna (marida), Haline (marida), Carla Braga (praguinha), Luisa (cheirosa), Rachel (xuxu), Iara, Rafael Estumano (paragopreto), Carlos (cora), Lucas (chelsea), Maurício, José (zé), Paulo Roberto (pop), Paulo Victor

(papi), Renato (socé), Raphael Neto (raphinha), Tiago, Luiz Fernando (Luizinho), Aldemir (Chris) e Chafic (árabe).

- Aos amigos da turma de 2010; Ramon Carvalho, Leandro Melo, Thadeu Oliveira, Rafael Guimarães, Paulo Aviz (Together) e Vanessa Pinheiro, pelos bons momentos de descontração que tivemos.

OBRIGADA!

RESUMO

A Suíte Planalto é composta por diversos plutons graníticos de idade neoarqueana (~2.73 Ga) e caráter ferroso e afinidade tipo-A, que ocorrem no Domínio Carajás da Província Carajás. Estudos de suscetibilidade magnética (SM) realizados em 78 amostras representativas de seis diferentes plutons e de um *stock*, localizados na área de Canaã dos Carajás forneceram valores de SM variáveis, os quais permitiram distinguir três populações reunidas em dois grupos com base em suas características petrológicas: (1) Grupo que engloba as populações A e B que apresentam valores de SM no intervalo de $0,0102 \times 10^{-3}$ a $0,6247 \times 10^{-3}$ SI (Sistema Internacional); (2) Grupo formado pela população C que se distingue do anterior por apresentar os mais altos valores de SM, variando entre $0,8036 \times 10^{-3}$ e $15,700 \times 10^{-3}$ SI, indicativos de conteúdo significativo de magnetita em sua composição modal. Nas populações A e B, de mais baixa SM, o mineral opaco presente é ilmenita, enquanto que nas amostras da população C além da ilmenita tem-se efetivamente a ocorrência de magnetita como fase expressiva, enquanto que pirita, calcopirita e hematita (produto de martitização da magnetita) são subordinadas. Análises semiquantitativas (EDS) realizadas em anfibólios e biotitas de amostras dos dois grupos permitiram a classificação preliminar desses minerais e uma estimativa dos parâmetros de fugacidade de oxigênio atuantes durante a cristalização da Suíte Planalto. As amostras do grupo 1 se formaram em condições reduzidas, por outro lado o comportamento magnético da população C é aparentemente contraditório com a alta razão $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO}) > 0,9$ em rocha total típica de granitos reduzidos. Entretanto, isso pode ser explicado se for admitido que as rochas do grupo 2 se formaram em condições de fugacidade de oxigênio equivalentes às do tampão FMQ ou ligeiramente acima do mesmo, enquanto que às do grupo 1 teriam formado em fugacidade inferior à do tampão FMQ. Análises por EDS em zircões nas diferentes variedades revelam altas razões Zr/Hf (~30), típicas de granitos não-especializados. Estudo comparativo entre o Complexo Granítico Estrela e a Suíte Planalto em termos de petrografia, petrologia magnética e química mineral revela que tais granitos são muito similares tendo evoluído em condições análogas.

Palavras-chave: Petrologia – Carajás, Província (PA). Química mineral semiquantitativa. Suíte Planalto. Granitos Tipo-A. Arqueano.

ABSTRACT

The Planalto Suite comprises several Neoproterozoic granites plutons (~2,73 Ga), ferrous character and A-type affinity, which occur in the Carajás Domain of Carajás Province. The Magnetic Susceptibility (MS) studies conducted on 78 representative samples of six different plutons and one stock, located on Canaã dos Carajás area, provide variable MS values, which allowed to distinguish three populations divided into two groups based on their distinct geological characteristics: (1) The group which includes A and B populations and it has MS values between $0,0102 \times 10^{-3}$ and $0,6247 \times 10^{-3}$ IS (International System); (2) The group formed by the C population which differs from first by contain the highest MS values, ranging between $0,8036 \times 10^{-3}$ and $15,700 \times 10^{-3}$ IS, indicative of significant magnetite content in modal composition. In populations A and B, the lowest MS values, the mineral opaque is ilmenite, while in the samples of the highest MS values population beyond ilmenite, there is occurrence of magnetite as expressive phase, whereas pyrite, chalcopyrite and hematite (as product of magnetite) are subordinate. Semiquantitative analyzes (EDS) conducted in amphibole and biotite of samples of two groups allowed to define the preliminary classification of these minerals and estimate the parameters of oxygen fugacity which acted during Planalto Suite crystallization. The samples of group 1 were formed in reduced conditions, on the other hand, the magnetic behavior of the population C is apparently contradictory to the high $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t + \text{MgO}_t) > 0,9$ ratio in whole rock presented, typical of reduced granites. However, this can be explained if it is admitted that the rocks of the group 2 were formed in oxygen fugacity conditions equivalent to the buffer FMQ or slightly above it, whereas those of group 1 have been formed in fugacity conditions below the buffer FMQ. EDS analysis in zircon crystals in different varieties show high Zr/Hf ratios (~30), typical in unspecialized granites. Besides that, a comparative study between Complexo Granítico Estrela and Planalto Suite in petrography terms, magnetic petrology and mineral chemistry shows that these granites are very similar, which evolved under similar conditions.

Key-words: Petrology, semiquantitative mineral chemistry, Planalto Suite, Carajás Province.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Mapa de localização da área de Canaã dos Carajás com destaque para a área do mapa geológico da figura 2c. 18
- Figura 2 - Mapa geológico da Província Carajás, mostrando a localização da área de Canaã dos Carajás e o limite aproximado entre o Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria e o Domínio Carajás (linha tracejada), e entre a Bacia Carajás e o subdomínio de Transição (linha contínua); destaque para a área estudada. Mapa 21
- Figura 3 - Diagrama Q-A-P, mostrando a distribuição dos vários litotipos da Suíte Planalto. 28
- Figura 4 – (A) Aspecto mesocópico do Granito Planalto; (B) Agregado de minerais máficos e ferromagnesianos; (C) Porfiroclasto de microclínio (Mc) com maclamento xadrez envolto por matriz fina formada por feldspatos potássicos recristalizados; (D) Fenocristal de microclínio com desenvolvimento incipiente de pertitas em manchas e albita *chess board*; (E) Microclínio envolto por plagioclásio; (F) cristal de granulação média de quartzo totalmente recristalizado e estirado, mas com contornos originais preservados. (Fotomicrografias em luz transmitida e nicóis cruzados). 32
- Figura 5 - (A) agregados de quartzo estirados e recristalizados; B) Porfiroclasto de plagioclásio com microgranulação ao longo de fraturas; (C) Alternância de níveis orientados félsicos e máficos, estes dominados por anfibólio com magnetita associada; (D) Cristais subédricos de magnetita associados com anfibólio. (Fotomicrografias em luz transmitida; a, b em nicóis cruzados; c, d em nicóis paralelos); (E) e (F) Intercrescimento mimerquítico na borda do álcali-feldspato. 33
- Figura 6 - Diagrama Ternário do sistema TiO_2 -FeO- Fe_2O_3 , mostrando os minerais óxidos de Fe e Ti mais comuns. As setas em vermelho indicam a direção do aumento da oxidação com razão Fe e Ti constante e as linhas pretas as soluções sólidas entre: 1) magnetita- ulvoespínélio (série titanomagnetita); 2) hematita-ilmenita (série ilmeno-hematita; 3) ilmeno-rutilo-pseudobrookita. 35
- Figura 7 - a) Gráfico de probabilidade normal, referente aos dados de suscetibilidade magnética da Suíte Planalto; b) Histograma de frequência. 42

Figura 8-Cristais de ilmenita com formato de gotas associadas ao anfibólio e cristais de zircão associado a ilmenita. Fotomicrografia: (A) luz transmitida em nicóis paralelos; (B) luz refletida; e (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas..... 46

Figura 9-Cristais de ilmenita alongada com coroa de titanita associada aos ferromagnesianos. Fotomicrografia: (A) luz transmitida e nicóis paralelos; (B) luz refletida (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectro EDS da ilmenita..... 47

Figura 10-Cristais agregados de magnetita apresentando ilmenita composite, inclusos no anfibólio. Fotomicrografias: (A) luz transmitida e nicóis paralelos; (B) luz refletida (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS de vários cristais de magnetita..... 48

Figura 11-Cristais corroídos de magnetita com ilmenita composta externa, associados aos ferromagnesianos. Fotomicrografias: (A) luz transmitida e nicóis paralelos; (B) luz refletida (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas. 49

Figura 12-Cristais de magnetita algo martitizados com ilmenita composta externa associada. Fotomicrografias: (A) luz transmitida em nicóis paralelos; (B) luz refletida; (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS da magnetita e da ilmenita..... 50

Figura 13-Cristais de magnetita algo martitizados, associado com ilmenita composta externa, parcialmente oxidada, e anfibólio corroído. Fotomicrografia: (A) luz transmitida; e nicóis paralelos; (B) luz refletida (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas..... 51

Figura 14-Cristais secundários de magnetita martitizados formados em veios. Fotomicrografia: (A) luz transmitida e nicóis paralelos; (B) e (C) luz refletida 52

Figura 15-Cristais secundários de magnetita martitizados formados em veios. Fotomicrografia: (A) luz transmitida e nicóis paralelos; (B) e (C) luz refletida. 53

Figura 16-Diagramas mostrando as relações entre os valores de suscetibilidade magnética (SM) e os conteúdos modais de: a) opacos; b) máficos; c) anfibólio; d) biotita; e) quartzo e feldspato potássico. 56

Figura 17 - Diagramas mostrando a relação entre a razão $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ em rocha total e: a) suscetibilidade magnética; b) minerais máficos; c) total opacos; d) anfibólio; e) biotita..... 59

Figura 18 - Diagrama de classificação de anfibólios dos granitos da Suíte Planalto. 61

Figura 19 - Variações composicionais das biotitas dos granitos da Suíte Planalto: (a) Diagrama $(FeO+MnO)-(10*TiO_2)-MgO$ mostrando a distribuição das composições químicas das biotitas analisadas. A: campo das biotitas magmáticas primárias; B: campo das biotitas magmáticas reequilibradas; (b) Diagrama $FeO-MgO-Al_2O_3$ mostrando as composições de biotitas em diferentes associações minerais. Campos: I - biotita associada a muscovita, topázio, fluorita etc; II – biotitas que não acompanha outras fases máficas; III - biotita associada a hornblenda, piroxênio e/ou olivina..... 62

Figura 20 - a) Diagrama $Al_t \times Mg$ para as biotitas; b) Diagrama $MgO-FeO-Al_2O_3$ de classificação de biotitas; c) Diagrama comparativo entre razões $Fe/(Fe+Mg)$ de anfibólios e biotitas da Suíte Planalto..... 63

Figura 21 - Cristais de zircão de quatro amostras da Suíte Planalto, exibindo similaridade em hábito. Os pontos em vermelho são os locais analisados por EDS..... 65

Figura 22 - Diagrama $Hf-Y-Nb$ (% em peso) mostrando os campos de variações composicionais dos zircões dos granitos estudados, comparados com os granitos estudados por Lamarão et al. (2007). 66

Figura 23 - Diagrama Zr/Hf vs $Hf+Y+Th+U$ mostrando os campos de variações composicionais dos zircões dos granitos deste estudo, comparados com os granitos estudados por Lamarão et al. (2007)..... 67

Figura 24- Diagrama de classificação de anfibólios, baseado na razão $Fe/(Fe+Mg)$ vs Al^{IV} mostrando as possíveis condições de fugacidade de oxigênio durante a cristalização dos Granitos da Suíte Planalto. 69

Figura 25 - Diagrama exibindo a curvas dos principais tampões estabilidade das diferentes fases de Fe, em função de seus vários estados de oxidação no sistema Fe-Si-O. Em vermelho possível intervalo de temperatura de formação dos granitos da Suíte Planalto.em condições em torno do tampão FMQ. 69

Figura 26 - Diagrama com a trajetória seguida por gnaisses quartzo-feldspáticos durante o metamorfismo. Áreas tracejadas, rochas contendo magnetita; área pontilhada não contém magnetita (mas provavelmente contém ilmenita). Destaque para o possível campo de formação dos granitos da Suíte Planalto. 71

Figura 27 - Diagrama Q-A-P comparando as distribuições das variedades petrográficas da Suíte Planalto e do Complexo Granítico Estrela. 73

Figura 28 - Diagrama de classificação de anfibólios, para os granitos da Suíte Planalto e Complexo Granítico Estrela (campo laranja). 75

Figura 29 - Diagrama de classificação de anfibólios, baseado na razão $Fe/(Fe+Mg)$ vs Al^{IV} mostrando as possíveis condições de fugacidade de oxigênio durante a cristalização dos Granitos da Suíte Planalto. 76

Figura 30 - Comparação entre as biotitas, da Suíte Planalto (vermelho) e do Complexo Granítico Estrela (verde). (a) Diagrama $(FeO+MnO)-(10*TiO_2)-MgO$. A: campo das biotitas magmáticas primárias; B: campo das biotitas magmáticas reequilibradas; (b) Diagrama $FeO-MgO-Al_2O_3$ mostrando as composições das biotitas em diferentes associações minerais. Campos: I - biotita associada à muscovita, topázio, fluorita etc; II – biotitas que não acompanha outras fases máficas; III -biotita associada à hornblenda, piroxênio e/ou olivina; (c) Al_t x Mg; (d) Diagrama $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ vs Al_2O_3 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Composições modais das amostras pertencentes às populações magnéticas A e B da Suíte Planalto.	30
Tabela 2-Composições modais das amostras pertencentes à população magnética C da Suíte Planalto	31
Tabela 3-Dados de suscetibilidade magnética (SM) do grupo A e B da Suíte Planalto.	38
Tabela 4-Parâmetros estatísticos dos dados de SM da Suíte Planalto.	41
Tabela 5-Parâmetros estatísticos dos dados de SM das três populações da Suíte Planalto.	41
Tabela 6-Valores de suscetibilidade magnética, proporções modais de minerais selecionados e razão $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ em rocha total de amostras representativas das populações da Suíte Planalto.....	58
Tabela 7-Composições elementares médias de zircões dos granitos da Suíte Planalto estudados obtidos por EDS (% em peso).....	65
Tabela 8-Dados de suscetibilidade magnética dos Granitos da Suíte Planalto, Vila Jussara, Estrela e Serra do Rabo.	72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 APRESENTAÇÃO	17
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	17
1.3 GEOLOGIA REGIONAL	19
1.4 GEOLOGIA LOCAL.....	21
2 JUSTIFICATIVA	23
3 OBJETIVO	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	25
4.2 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA	25
4.3 ESTUDO PETROGRÁFICO.....	25
4.4 ESTUDO MINERALÓGICO.....	26
5 PETROGRAFIA	27
5.1 COMPOSIÇÕES MODAIS E CLASSIFICAÇÃO PETROGRÁFICA	27
5.2 ASPECTOS TEXTURAIS.....	28
6 PETROLOGIA MAGNÉTICA	34
6.1 PRINCÍPIOS DA PETROLOGIA MAGNÉTICA	34
6.2 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (SM).....	37
6.3 ESTUDO DOS MINERAIS OPACOS	43
6.4. RELAÇÃO ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E COMPOSIÇÕES MODAIS	54
6.5. RELAÇÃO ENTRE SM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM ROCHA TOTAL.....	56
7 QUÍMICA MINERAL	60
7.1 ANFIBÓLIO	60
7.2 BIOTITA	61
7.3 ZIRCÃO.....	63
7.3.1 Razões Zr/Hf em cristais de zircão da Suíte Planalto.....	63
8 ESTIMATIVA DAS CONDIÇÕES DE FUGACIDADE DE OXIGÊNIO DURANTE A CRISTALIZAÇÃO DA SUÍTE PLANALTO	68
9 COMPARAÇÃO ENTRE A SUÍTE PLANALTO E O COMPLEXO GRANÍTICO ESTRELA	72
9.1 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA	72

9.2 PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL DE ANFIBÓLIO	73
9.3 FUGACIDADE DE OXIGÊNIO	76
9.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE BIOTITA.....	76
10 CONCLUSÕES	78
REFERÊNCIAS	80
APÊNDICES E ANEXOS	87
APÊNDICE I - ANFIBÓLIOS	88
APÊNDICE II - BIOTITAS	95
APÊNDICE III – ZIRCÃO	100
ANEXO I – COMPLEXO ESTRELA	106

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A Suíte Planalto é formada por diversos plutons que ocorrem ao longo da porção norte do Subdomínio de Transição, localizado entre a bacia Carajás e o Domínio Rio Maria na Província Carajás (DALL'AGNOL et al. 2006; VASQUEZ et al. 2008). Uma série de estudos petrográficos, geoquímicos, geocronológicos e estruturais vêm sendo realizados em granitos correlacionados à Suíte Planalto (FEIO, 2009; FEIO et al., 2012; GOMES, 2003; HUNH et al., 1999; OLIVEIRA, 2003, 2010; SARDINHA et al., 2004; SILVA et al., 2010). Apesar do volume expressivo de informações obtidas sobre esta suíte, ainda são limitadas aquelas referentes à suscetibilidade magnética (SM) das suas rochas e não há dados disponíveis sobre a composição química dos principais minerais que a constituem.

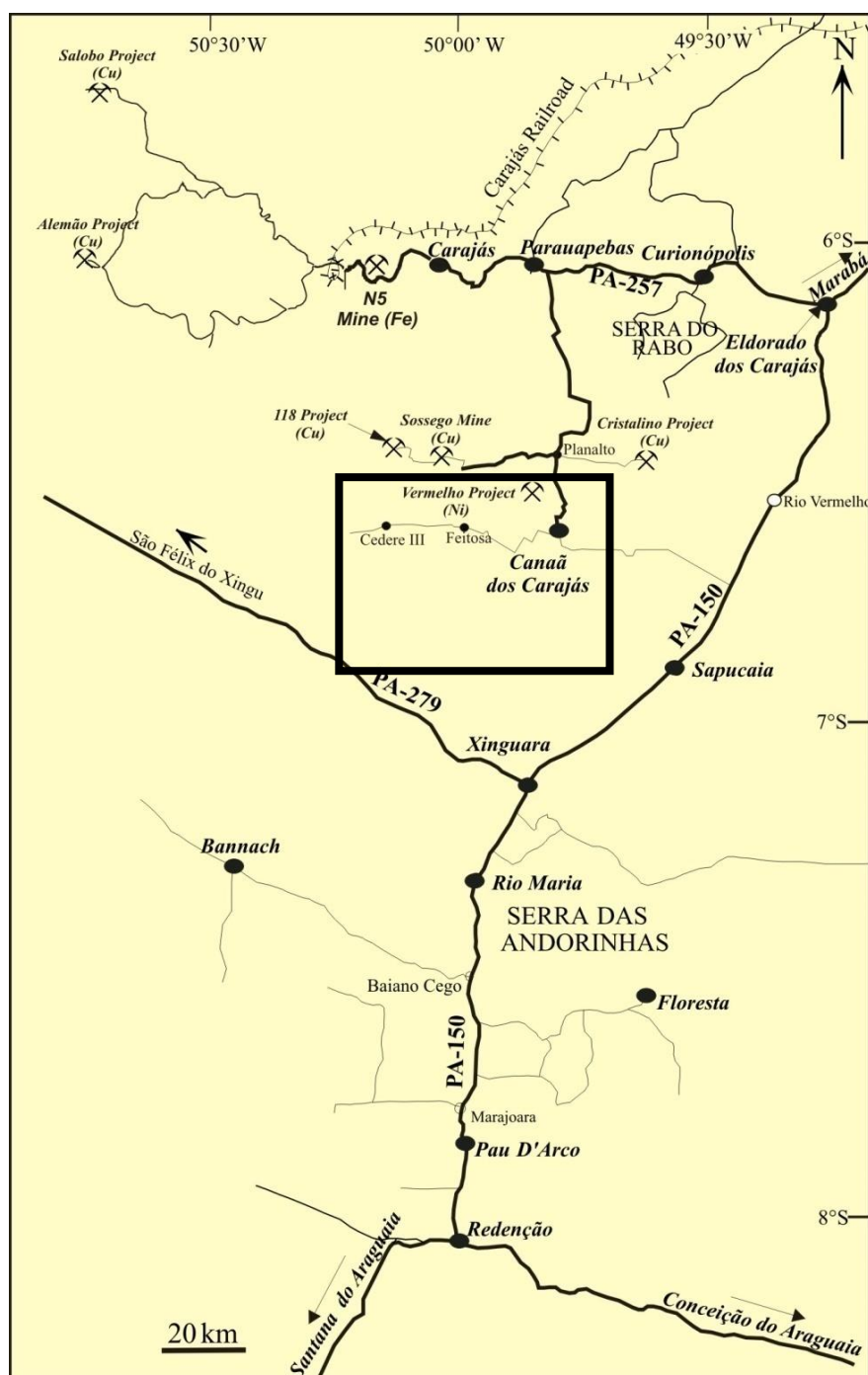
Em razão disso, pretende-se neste trabalho estudar os granitos da Suíte Planalto em termos de petrologia magnética, definindo seu comportamento de SM, e caracterizar os minerais óxidos de Fe e Ti, além de obter as composições químicas semiquantitativas das principais fases minerais de interesse petrológico. Busca-se com isso aprimorar o conhecimento desses granitos e fazer uma estimativa preliminar das condições de fugacidade de oxigênio em que se deu a sua cristalização.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de Canaã dos Carajás (Figura 1) situa-se imediatamente a sul da Bacia Carajás, na porção norte do Subdomínio de Transição entre a Bacia Carajás e o Domínio Rio Maria na Província Carajás (Figura 2a, b; DALL'AGNOL et al. op.cit.; VASQUEZ et al. op.cit.). Nela ocorrem seis plutons e um pequeno *stock* graníticos com características petrográficas e geoquímicas similares, os quais foram agrupados na Suíte Planalto (FEIO et al., op.cit.) Partindo de Belém, o acesso à área de estudo pode ser feito por via terrestre ou aérea até as cidades de Marabá ou Carajás. Posteriormente, segue-se na direção de Parauapebas

utilizando via terrestre pelas rodovias PA-150 e/ou PA-275. O acesso para o município de Canaã dos Carajás se dá por estrada pavimentada, ligando o terminal ferroviário de Parauapebas com a cidade de Canaã dos Carajás.

Figura 1 - Mapa de localização da área de Canaã dos Carajás com destaque para a área do mapa geológico da figura 2c.



Fonte: Almeida (2010)

1.3 GEOLOGIA REGIONAL

A Província Carajás (PC) está localizada na porção sul-oriental do Cráton Amazônico (Figura 2a), o qual compreende terrenos arqueanos e proterozóicos. Tassinari e Macambira (1999, 2004), Santos et al. (2000) consideram que o Cráton Amazônico é dividido em províncias geocronológicas, formadas em torno de um núcleo arqueano alongado na direção NW/SE, denominado originalmente Província Amazônia Central (TEIXEIRA et al. 1989), seguido de retrabalhamentos e acresção crustal ao longo de cinturões móveis.

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

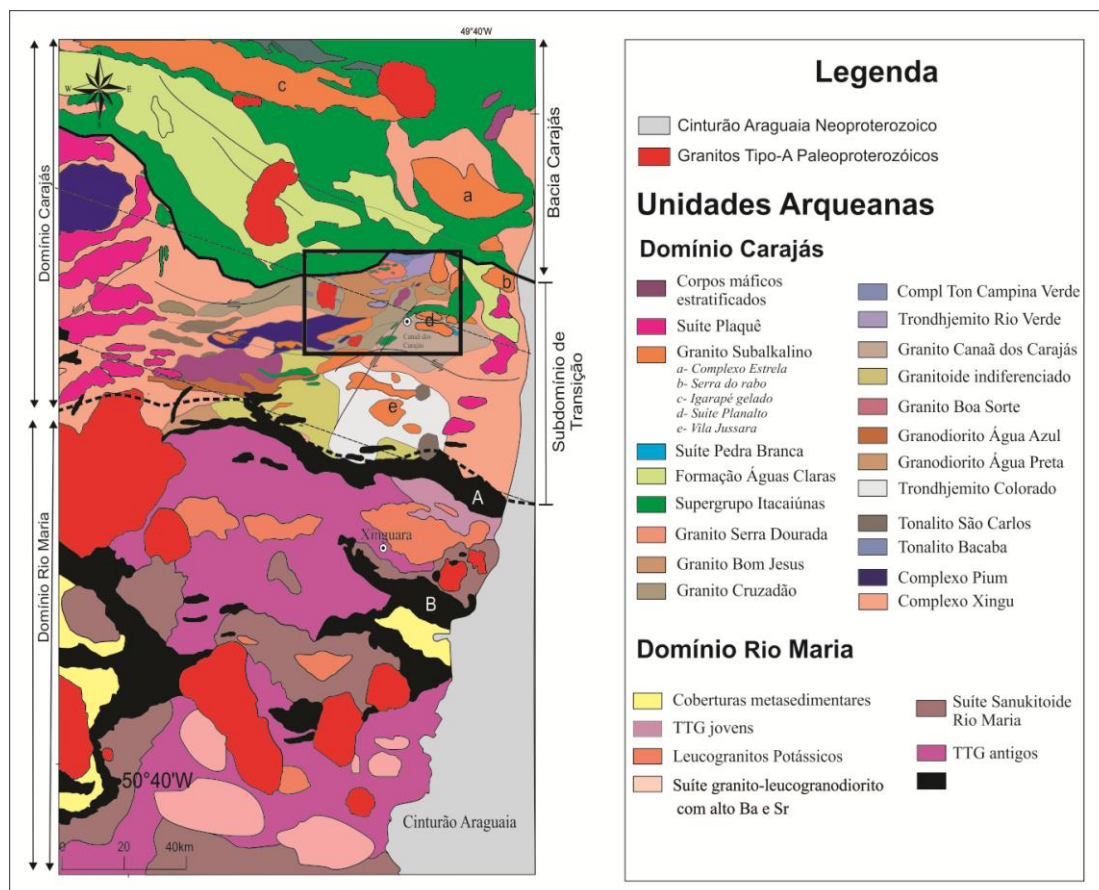
O Domínio Rio Maria é formado por *greenstone belts* (Supergrupo Andorinhas) e por cinco grupos principais de granitóides arqueanos (ALMEIDA et al., 2010, 2011; ALTHOFF et al., 2000; DALL'AGNOL et al. op.cit.; LEITE, 2001; LEITE et al., 2004; MACAMBIRA e LAFON 1995; OLIVEIRA et al., 2009; PIMENTEL e MACHADO 1994): (1) Séries TTGs mais antigas formadas em dois episódios distintos, sendo o mais antigo representado pelo Tonalito Arco Verde e Trondhjemitó Mogno ($2,96 \pm 0,02$ Ga), seguido pela formação do Complexo Tonalítico Caracol, Tonalito Mariazinha e algumas rochas do Tonalito Arco Verde ($2,93 \pm 0,02$ Ga); (2) granitóides predominantemente granodioríticos com alto Mg ($2,87$ Ga), formados pelo Granodiorito Rio Maria, e rochas intermediárias e máficas associadas de afinidade sanukitóide; (3) leucogranodioritos e leucomonzogranitos cálcico-alcálicos enriquecidos em Ba e Sr, representados pela Suíte Guarantã e granitos similares ($2,87$ Ga); (4) TTGs mais jovens, correspondentes ao Trondhjemitó Água Fria ($2,86$ Ga); (5) leucogranitos potássicos ($2,86$ Ga), representados pelos granitos Xinguara, Mata Surrão e similares.

O domínio Carajás, por sua vez, é subdividido na Bacia Carajás e no Subdomínio de Transição. O termo "Domínio de Transição" foi usado por

Dall'Agnol et al. (2006) para designar a região compreendida entre o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás e seria uma extensão do Terreno Mesoarqueano de Rio Maria intensamente deformada pelos eventos neoarqueanos de formação da Bacia Carajás. Entretanto, Feio et al. (2012) mostraram que na área de Canaã dos Carajás, situada imediatamente a sul da Bacia Carajás, o magmatismo mesoarqueano é distinto daquele encontrado no Domínio Rio Maria e concluíram que, provavelmente, uma extensão da crosta de Canaã corresponderia ao substrato da Bacia Carajás de idade neoarqueana.

Na Bacia Carajás, dominam as seqüências metavulcano-sedimentares do Supergrupo Itacaiúnas (2,76-2,73 Ga; MACHADO et al. 1991) e granitos diversos de 2,76 a 2,56 Ga (Complexo Granítico Estrela, Suíte Planalto, granitos Serra do Rabo, Old Salobo, Suíte Plaquê - BARROS 1997; HUHNS et al. 1999; SARDINHA 2002; LINDENMAYER 1990; ARAÚJO et al. 1988; respectivamente). Exceto a Suíte Plaquê, todo esse magmatismo granítico neoarqueano apresenta assinatura geoquímica similar aos granitos tipo-A (Complexo Estrela, BARROS et al. 2009; Granito Serra do Rabo, SARDINHA et al. 2006; Igarapé Gelado, BARROS et al. 2009). Na área de Canaã dos Carajás, Feio et al. (2012) distinguiram quatro principais eventos magmáticos, três de idade mesoarqueana e um de idade neoarqueana: (1) em 3,05-3,0 Ga, houve a formação do protólito do complexo de Pium, do Tonalito Bacaba e de rochas com idades semelhantes, como indicado por zircões herdados encontrados em unidades diferentes; (2) o segundo evento (2,96-2,93 Ga) foi marcado pela cristalização do Granito Canaã dos Carajás e pela formação de rochas mais antigas do Trondhjemitó Rio Verde; (3) no terceiro evento (2,87-2,83 Ga), houve a formação do Complexo Tonalítico Campina Verde, do Trondhjemitó Rio Verde e dos granitos Cruzadão, Bom Jesus e Serra Dourada; (4) no Neoarqueano, em 2,75-2,73 Ga, um grande evento magmático foi responsável pela formação dos granitos subalcalinos da Suíte Planalto, granitos sódicos da Suíte Pedra Branca; e de rochas charnoquíticas.

Figura 2 - Mapa geológico da Província Carajás, mostrando a localização da área de Canaã dos Carajás e o limite aproximado entre o Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria e o Domínio Carajás (linha tracejada), e entre a Bacia Carajás e o subdomínio de Transição (linha contínua); destaque para a área estudada. Mapa



Fonte: Feio et al., 2012.

1.4 GEOLOGIA LOCAL

A Suíte Planalto é constituída por diversos plutons (Figura 2c) de idade neoarqueana (2,73 Ga) de caráter ferroso e afinidade com granitos tipo-A, que ocorrem ao longo da porção norte do Subdomínio de Transição. As rochas desta suíte são intrusivas nas unidades mesoarqueanas e no Supergrupo Itacaiúnas (2,76-2,73Ga; MACHADO et al. 1991), e especialmente associadas com rochas charnoquíticas e granitóides sódicos (FEIO et al. 2012).

Segundo Feio et al., op.cit, os plutons graníticos da Suíte Planalto são alongados e se apresentam moderadamente a fortemente deformados, com estruturas planares bem desenvolvidas. A deformação impôs uma orientação

preferencial moderada a forte aos minerais, sobretudo a quartzo, feldspatos e minerais máficos, definindo uma foliação subvertical penetrativa, em geral, com direção próxima a E-W, porém com variações para NE-SW, por vezes acompanhada por lineações minerais de alto ângulo e bandas de cisalhamento do tipo C. Milonitos são encontrados em zonas de cisalhamento com movimentação predominantemente sinistral, mas as rochas menos deformadas exibem texturas magmáticas bem preservadas.

Os granitos apresentam enclaves de rochas do Complexo Pium e são cortados tanto por veios pegmatóides de espessura decimétrica a métrica quanto por veios aplíticos estreitos e diques de microgranito. Nesta suíte ocorrem, ainda, enclaves de forma oval ou quadrática de rochas originalmente máficas ou intermediárias que atualmente apresentam uma grande quantidade de megacristais de álcali feldspato incorporados a partir do magma granítico. Tais enclaves foram interpretados como evidência local de mistura entre magma granítico e magma máfico (FEIO et al. 2012).

2 JUSTIFICATIVA

Os estudos desenvolvidos por Feio et al. (2012) permitiram um avanço considerável no entendimento da natureza e origem dos granitos pertencentes a Suíte Planalto. Entretanto, como foi citado anteriormente, ainda há necessidade de aprofundar questões relativas aos parâmetros físicos, tais como pressão, temperatura e condições de fugacidade de oxigênio, em que se deu a cristalização do magma desta suíte. Assim, efetuar estudos de petrologia magnética e a caracterização químico-mineralógica das principais fases minerais dos granitos da Suíte Planalto na área de Canaã dos Carajás será crucial para esclarecer em que condições de oxidação esses granitos foram cristalizados. Esta pesquisa servirá também de base para futura tese de mestrado da autora, onde serão feitos estudos mais aprofundados de química mineral, envolvendo microsonda eletrônica.

3 OBJETIVO

O objetivo geral da presente pesquisa é efetuar estudos de petrologia magnética e a caracterização químico-mineralógica das principais fases minerais da Suíte Planalto. Além disso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Aprimorar a caracterização petrográfica das diferentes fácies dos granitos da Suíte Planalto;
- Obter composições modais adicionais de amostras representativas das principais fácies dos granitos e efetuar medidas de seus valores de SM;
- Definir os minerais óxidos de Fe e Ti presentes na suíte, bem como suas relações texturais e as composições químicas semiquantitativas de magnetita e ilmenita;
- Determinar as composições químicas semiquantitativas de biotita, anfibólio e zircão;
- Elaborar a classificação preliminar de anfibólio e biotita;
- Estimar a fugacidade de oxigênio atuante durante a cristalização dos granitos;
- Integrar os dados mineralógicos, petrográficos, geoquímicos e de petrologia magnética;
- Comparar as composições dos minerais ferromagnesianos dos granitos da Suíte Planalto com os dados disponíveis na literatura sobre o Complexo Granítico Estrela (BARROS et al., 2009);
- Estimar a fugacidade de oxigênio reinante durante a cristalização dos magmas formadores da Suíte Planalto.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Foi feito um levantamento bibliográfico com ênfase no magmatismo subalcalino da Província Carajás e, particularmente, em suas características petrográficas e mineralógicas. Esta pesquisa foi apoiada em trabalhos abordando a geologia regional do sul do Cráton Amazônico, bem como em estudos petrográficos e de petrologia magnética de rochas graníticas tipo A (ALMEIDA et al., 2006; BARROS et al., 2009; DALL'AGNOL et al., 1994, 1997, 2005; OLIVEIRA, D.C. et al., 2009; SARDINHA et al., 2006). Adicionalmente, foram pesquisados na literatura temas relacionados com petrologia magnética, incluindo suscetibilidade magnética e minerais óxidos de Fe e Ti e seu significado, assim como aplicações da composição mineral como marcador das condições de formação de magmas.

4.2 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

As medidas de SM foram realizadas no Laboratório de Petrologia Magnética da UFPA, utilizando susceptímetro SM-30, fabricado pela ZH *INSTRUMENTS*, que permite medidas em materiais com SM variando até 1×10^{-7} SI. O tratamento dos dados foi realizado com o programa Minitab 16 (versão livre), através da elaboração de diagramas de probabilidade e histogramas de frequência.

4.3 ESTUDO PETROGRÁFICO

Os estudos mineralógicos foram precedidos e acompanhados por estudos petrográficos minuciosos de amostras representativas de diferentes variedades da suíte granítica. Tais estudos foram feitos no Laboratório de Petrologia Magnética do IG-UFPA com uso de lupa binocular e microscópio ótico petrográfico em luz transmitida e refletida.

O estudo petrográfico envolveu a descrição mesoscópica, seguida de estudos de 56 lâminas (42 delgadas e 14 polidas) em microscópio ótico utilizando tanto as técnicas de luz transmitida, como refletida. Consistiu na descrição

mineralógica detalhada das diversas variedades de granitos e na análise das relações texturais, intercrescimentos, texturas de exsolução e/ou substituição, procurando esclarecer a evolução de tais rochas. Foi dada atenção aos seus diferentes minerais constituintes, porém com maior ênfase nas principais fases máficas e nos minerais opacos. Foram efetuadas análises modais de 39 amostras, as quais foram classificadas com base nas recomendações da Subcomissão de Nomenclatura de Rochas Ígneas da IUGS (LE MAITRE et al., 2002). Foram contados 1500 pontos por lâmina.

4.4 ESTUDO MINERALÓGICO

O estudo dos minerais óxidos de Fe e Ti foi realizado inicialmente através de microscopia ótica com luz refletida e complementado com a caracterização das fases de maior interesse por microscopia eletrônica de varredura.

As imagens de elétrons retroespalhados auxiliaram na determinação das relações texturais entre fases minerais e as composições semiquantitativas de biotita, anfibólio e zircão foram obtidas por meio de análises por EDS. Os dados químicos permitiram estabelecer fórmulas estruturais dos minerais analisados e foram tratadas em diagramas específicos para a classificação dos minerais analisados e interpretações complementares. Estas etapas foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV) do Instituto de Geociências/UFGA, utilizando-se microscópio eletrônico LEO modelo 1430, sob condições de voltagem de 20kv. As observações e análises foram feitas em lâminas polidas de amostras metalizadas com carbono.

5 PETROGRAFIA

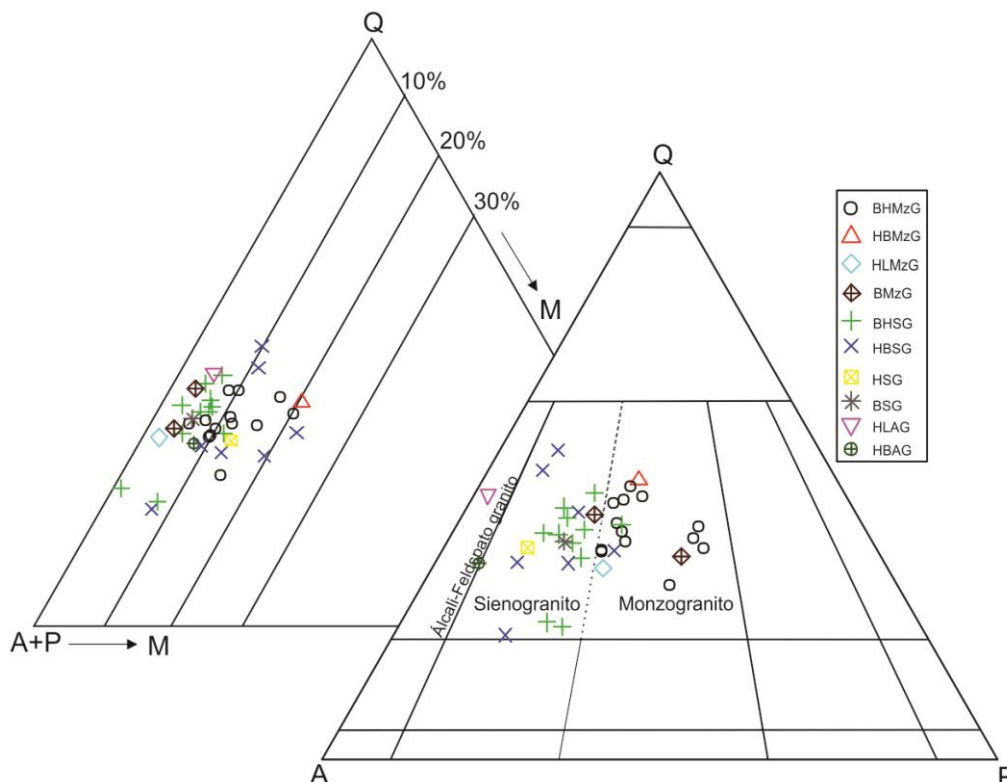
5.1 COMPOSIÇÕES MODAIS E CLASSIFICAÇÃO PETROGRÁFICA

Os granitos pertencentes à Suíte Planalto são rochas de coloração rosada com pontuações escuras (Figura 4A), correspondentes aos minerais máficos. Apresentam geralmente textura inequigranular, com granulação média a grossa, localmente fina.

Os dados das análises modais, quando plotados no diagrama Q-A-P (LE MAITRE et al., 2002; STRECKEISEN, 1976; Figura 3), permitem a distinção na Suíte Planalto de monzogranitos, sienogranitos e raros álcali-feldspato-granitos, os quais, levando em conta a natureza e proporções relativas de seus principais minerais máficos, foram classificados nos seguintes litotipos: biotita-hornblenda-monzogranito (BHMzG), hornblenda-biotita-monzogranito (HBMzG), biotita-monzogranito (BMzG), hornblenda-leuco-monzogranito (HMzG), biotita-hornblenda-sienogranito (BHSG), hornblenda-biotita-sienogranito (HBSG), biotita-sienogranito (BSG), hornblenda-sienogranito (HSG), hornblenda-leuco-álcali-feldspato-granito (HLAG), hornblenda-biotita-álcali-feldspato-granito (HBAG). A proporção de minerais ferromagnesianos permite classificar essas rochas como hololeucocráticas a leucocráticas. De modo geral, os granitos da Suíte Planalto exibem valores expressivos de máficos (M'; Tabelas 1 e 2), entre 5 e 20%. Algumas poucas amostras possuem conteúdo de minerais máficos inferior a 5% e receberam a denominação de leucogranito (Tabelas 1 e 2).

As tabelas 1 e 2 foram organizadas de modo a reunir os dados modais das amostras das populações magnéticas (ver adiante) A e B (Tabela 1; Grupo 1) e C (Tabela 2; Grupo 2). As amostras dos dois grupos apresentam variações composicionais desde monzogranitos até álcali-feldspato-granitos e apresentam proporções variáveis de hornblenda e biotita. A única diferença perceptível (Tabelas 1 e 2) é a tendência do grupo 2 de apresentar maior número de amostras com conteúdos significativos de minerais opacos e titanita e valores modais médios mais elevados destes dois minerais.

Figura 3 - Diagrama Q-A-P, mostrando a distribuição dos vários litotipos da Suíte Planalto.



Fonte: Le Maitre et al. (2002); Streckeisen, (1976).

5.2 ASPECTOS TEXTURAIS

Microscopicamente estas rochas apresentam feições texturais magmáticas apenas parcialmente preservadas. A textura granular hipidiomórfica média a grossa tende a ser substituída por texturas protomiloníticas a miloníticas, com a presença de porfiroblastos ovalados de granulação média a grossa de microclina e, por vezes, plagioclásio, mostrando graus variáveis de recristalização ao longo de suas bordas e fraturas (Figuras 4 C, E) e envolvidos por matriz fina a base de quartzo e feldspatos intensamente recristalizados. Observa-se frequentemente nessas rochas, exsoluções pertíticas resultando em uma grande quantidade de lamelas de albita que dão caráter mesopertítico para os cristais de feldspatos alcalinos. Há, por vezes, formação de pertitas em manchas cujo aspecto sugere o desenvolvimento incipiente de texturas do tipo *chess board* (Figura 4b). São comuns intercrescimentos mirmequíticos nas bordas dos cristais

de microclínio (Figuras 5E e 5F), bem como a presença nos mesmos de microfraturas preenchidas em geral por quartzo e microclínio recristalizados. Os porfiroclastos de plagioclásio (An_{25-17}) se encontram fraco a moderadamente alterados e possuem dimensões <2 mm, sendo as alterações mais intensas observadas nos cristais de plagioclásio com maiores dimensões. Localmente exibem microfraturas preenchidas por minerais recristalizados (Figura 5b), em agregados de granulação fina (matriz) com sinais de deformação. O quartzo é encontrado na forma de porfiroclastos ou *ribbons*, às vezes com o contorno original do cristal preservado, ou mais comumente como parte da matriz recristalizada. Exibe extinção ondulante e pontos tríplices nas rochas mais deformadas (Figuras 4F, 5a).

O anfibólio possui granulação fina a média e apresenta pleocroísmo variando de verde claro (x) a verde oliva (y) e verde azulado (z). Há cristais de aspecto poiquilítico cujos núcleos corroídos e descoloridos englobam minerais opacos, possivelmente formados a partir da substituição do anfibólio (Figura 5d). Muitas vezes anfibólio e biotita se mostram orientados e são acompanhados pelos demais minerais máficos (Figura 5c).

Os minerais acessórios são representados por ilmenita, zircão, apatita, allanita \pm fluorita. Magnetita e titanita costumam ser ausentes ou pouco abundantes, exceto nas amostras do Grupo 2, com SM relativamente elevada. Os minerais secundários são epidoto, biotita, muscovita, e clorita \pm escapolita \pm carbonato \pm titanita \pm turmalina. A titanita é o acessório mais expressivo, forma na maioria das vezes agregados, podendo ser encontrada também como cristais subédricos e na forma de coroas envolvendo os minerais opacos. O zircão em geral é muito fino ($<<1$ mm), euedral e prismático. Os cristais de apatita são finos e na maioria das vezes, prismáticos de base hexagonal. A allanita com dimensões que atingem até 1,5 mm ocorre predominantemente na forma de cristais anédricos com formato arredondado. Seu pleocroísmo varia de castanho amarelado (x) a marrom avermelhado (z).

Tabela 1-Composições modais das amostras pertencentes às populações magnéticas A e B da Suíte Planalto.

Mineral/ Amostra	AMR- 162A	AMR- 149 ⁽³⁾	AMR- 98A	ARC- 147 ⁽³⁾	AMR- 137B	AMR- 116 ⁽³⁾	AMR- 209 ⁽³⁾	AMR- 118H	ARC- 110	AMR- 145 ⁽³⁾	AMR- 94A	AMR- 117J	ARF- 24	AMR- 135 ⁽³⁾	ARF- 20	ARC- 144 ⁽³⁾
Fácies	BHMzG	HBMzG	BHLSG	BHMzG	HBSG	BHSG	BHMzG	HBSG	HBSG	BHSG	HLMzG	HBSG	HBSG	BHMzG	BHSG	BHMzG
Álcali- feldspato	24,2	21,3	40,8	21,5	29,6	34,5	36,6	47,4	37,4	40	41,6	30,4	57,9	31,7	49	27,9
Plagioclásio	36	16,6	13,6	31	12,2	16,4	21	10,6	7	14,6	25	19,8	15,6	19,1	22,4	29,9
Quartzo	34,2	34,5	41,2	34,8	30,5	42,5	32,2	29,4	43,2	38,2	32,2	27,8	19,8	39,4	20,8	24,6
Anfibólio	1,2	11,4	2	6,4	14	4,5	6,9	7,6	6,4	4	0,8	14,8	4,4	4,8	3,6	13,6
Biotita	4,4	12,2	2,2	5,3	11,6	1,8	3,3	4,8	5,4	2,5	0	7	2,2	4,3	4,2	2
Minerais opacos ¹	tr	0,3	tr	tr	0,1	tr	-	0,2	tr	0	0,2	0,2	0,1	0,2	0	0,7
Titanita	-	1,7	0,2	0,4	1,6	0,2	0,4	tr	0,6	0,4	0,2	-	-	-	-	0,1
Zircão	tr	tr	tr	tr	0,2	0,1	tr	tr	0,2	tr	tr	tr	tr	tr	tr	0,3
Apatita	tr	tr	-	tr	-	tr	tr	-	-	tr	-	-	-	-	-	tr
Alanita	-	-	-	0,1	0,2	tr	tr	-	-	tr	-	-	-	-	-	tr
Escapolita	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8
Turmalina	-	-	-	-	-	tr	tr	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Félsicos*	94,4	72,4	95,6	87,3	72,3	93,4	89,8	87,4	87,6	92,8	98,8	78,0	93,3	90,2	92,2	82,4
Máficos*	5,6	25,6	4,4	12,4	27,7	6,6	10,6	12,6	12,6	6,9	1,2	22,0	6,7	9,3	7,8	17,5
Álcali- feldspato*	25,6	28,8	42,7	24,6	40,9	36,9	40,9	54,2	42,8	43,0	42,1	39,0	62,1	35,0	53,1	33,8
Plagioclásio*	38,1	22,5	14,2	35,4	16,9	17,6	23,5	12,1	8,0	15,7	25,3	25,4	16,7	21,1	24,3	36,3
Quartzo*	36,2	46,7	43,1	39,7	42,2	45,5	36,0	33,6	49,4	41,0	32,6	35,6	21,2	43,5	22,6	29,8

(3) Compilado de Feio (2009); demais amostras deste trabalho.

1 - Ilmenita, magnetita, hematita, calcopirita e pirita / * Recalculado a 100% / - Mineral ausente / tr- Mineral Traço.

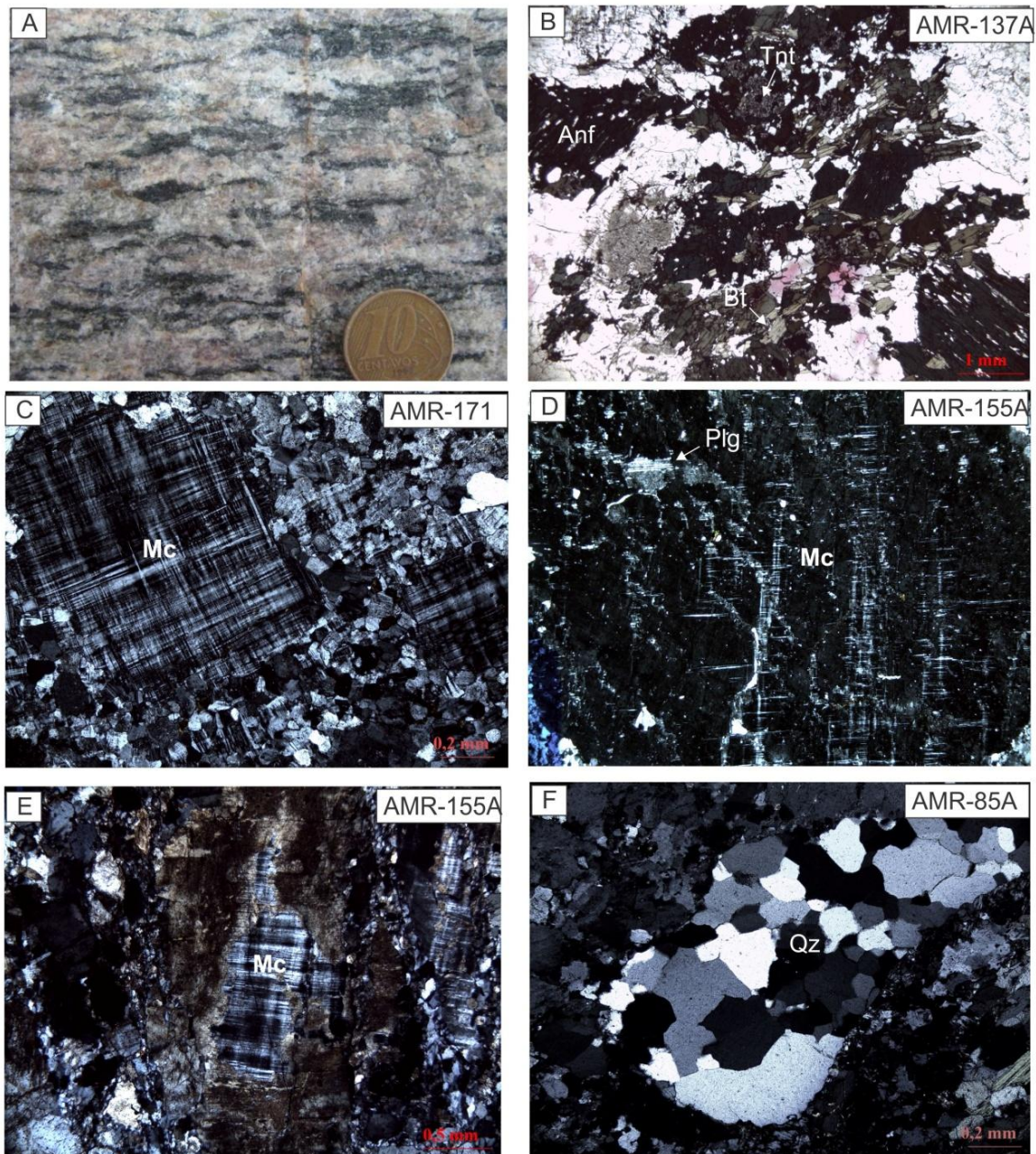
Tabela 2-Composições modais das amostras pertencentes à população magnética C da Suíte Planalto

Mineral/ Amostra	AMR- 151B ⁽³⁾	AC- 4b*	AMR- 140*	AC- 16*	AMR- 150	ARF- 17 ⁽³⁾	AER- 82A ⁽³⁾	ARC- 109 ⁽³⁾	GFMF- 0.6	AMR- 155 ^a	AMR- 177 ⁽²⁾	AMR- 152A ⁽¹⁾	AMR- 85A ⁽³⁾	AMR- 171 ⁽³⁾	AC- 6A*	AMR- 146 ⁽³⁾	AMR- 155B ⁽³⁾	AMR- 137A ⁽³⁾	AER- 72A ⁽³⁾	ARF-18	AMR- 154A	ARC- 104 ⁽³⁾	ARC- 148
Fácies Álcali- feldspato	BHMzG	BHSG	BHMzG	BHSG	HBLSG	HBLSG	BHMzG	HBSG	HBSG	HBAG	HLAG	BHMzG	HSG	BSG	BHMzG	BHMzG	BHMzG	BHSG	BLMzG	BHSG	HBSG	BMzG	BHMzG
	24,9	38,8	31,5	42,0	54,6	44,2	28,9	34,2	33,6	57,0	50,0	22,5	43,4	42,8	36,8	30,0	29,6	37,2	28,6	39,0	39,2	39,3	25,6
Plagioclásio	17,6	16,3	21,5	19,9	21,4	15,2	18,6	7,6	22,6	6,4	2,1	18,3	10,6	16,3	21,3	21,5	19,7	17,1	34,3	12,6	18,4	18,4	34,3
Quartzo	37,3	32,2	33,8	32,6	23,2	37,2	32,2	46,7	37,8	32,0	42,9	33,4	30,5	35,0	32,0	30,5	39,5	35,0	33,3	36,2	31,4	36,6	36,1
Anfibólio	11,2	6,2	7,2	3,4	0,6	0,3	12,3	3,4	4,8	1,6	4,6	12,7	12,8	tr	5,7	8,7	5,7	5,3	0,0	3,0	5,2	0,0	1,4
Biotita	5,6	4,8	4,7	1,9	0,2	1,8	4,1	5,5	1,0	2,6	0,0	9,6	tr	5,7	3,2	1,5	3,6	2,4	3,1	3,4	0,8	2,1	1,8
Minerais opacos ¹	0,7	0,2	0,0	0,1	tr	0,4	0,8	0,4	0,2	0,4	0,1	0,1	2,1	0,1	0,3	tr	0,7	tr	0,1	tr	0,4	1,3	0,5
Titanita	2,3	1,5	1,3	0,1	tr	0,2	1,3	0,4	0,2	-	-	-	-	-	1,0	0,3	1,0	-	0,2	-	-	-	-
Zircão	tr	0,1	tr	tr	tr	tr	tr	0,2	0,0	0,2	tr	tr	0,1	tr	tr	tr	tr	tr	0,1	tr	Tr	tr	0,3
Apatita	tr	tr	-	-	tr	-	-	-	0,0	-	tr	-	0,2	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-
Alanita	tr	-	-	-	-	-	-	-	0,6	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,1	-
Clorita	-	-	-	-	-	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-
Muscovita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-
Escapolita	-	-	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	tr	-
Turmalina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	tr	-	tr	tr	-	-	-	-	tr	-	-	-	-
Félsicos*	79,8	87,3	86,8	94,5	99,2	96,6	79,7	88,5	94,0	95,4	95,0	74,2	84,5	94,1	90,1	82,0	88,8	89,3	96,2	87,8	89,0	94,3	96,0
Máficos*	19,8	11,2	13,2	5,5	0,8	2,7	18,5	11,5	6,8	4,8	4,7	22,4	15,2	5,8	10,2	10,5	11,0	7,7	3,6	6,4	6,7	5,2	4,0
Álcali- feldspato*	31,1	43,8	36,3	44,4	55,0	45,4	35,6	38,6	36,0	59,9	52,5	29,3	51,2	45,4	41,0	33,8	33,3	40,4	29,7	41,9	42,1	41,5	26,7
Plagioclásio*	22,0	18,4	24,8	21,1	21,6	15,6	22,9	8,6	24,2	6,7	2,2	23,8	12,5	17,3	23,7	24,3	22,1	18,6	35,6	13,5	19,8	19,4	35,7
Quartzo*	46,6	36,3	38,9	34,5	23,4	38,2	39,7	52,8	40,5	33,6	45,0	43,5	36,0	37,2	35,6	34,4	44,4	38,0	34,5	38,8	33,8	38,6	37,6

Compilado de (1)Oliveira, M.A. (2002); (2)Gomes (2003); (3)Feio (2009); demais amostras deste trabalho.

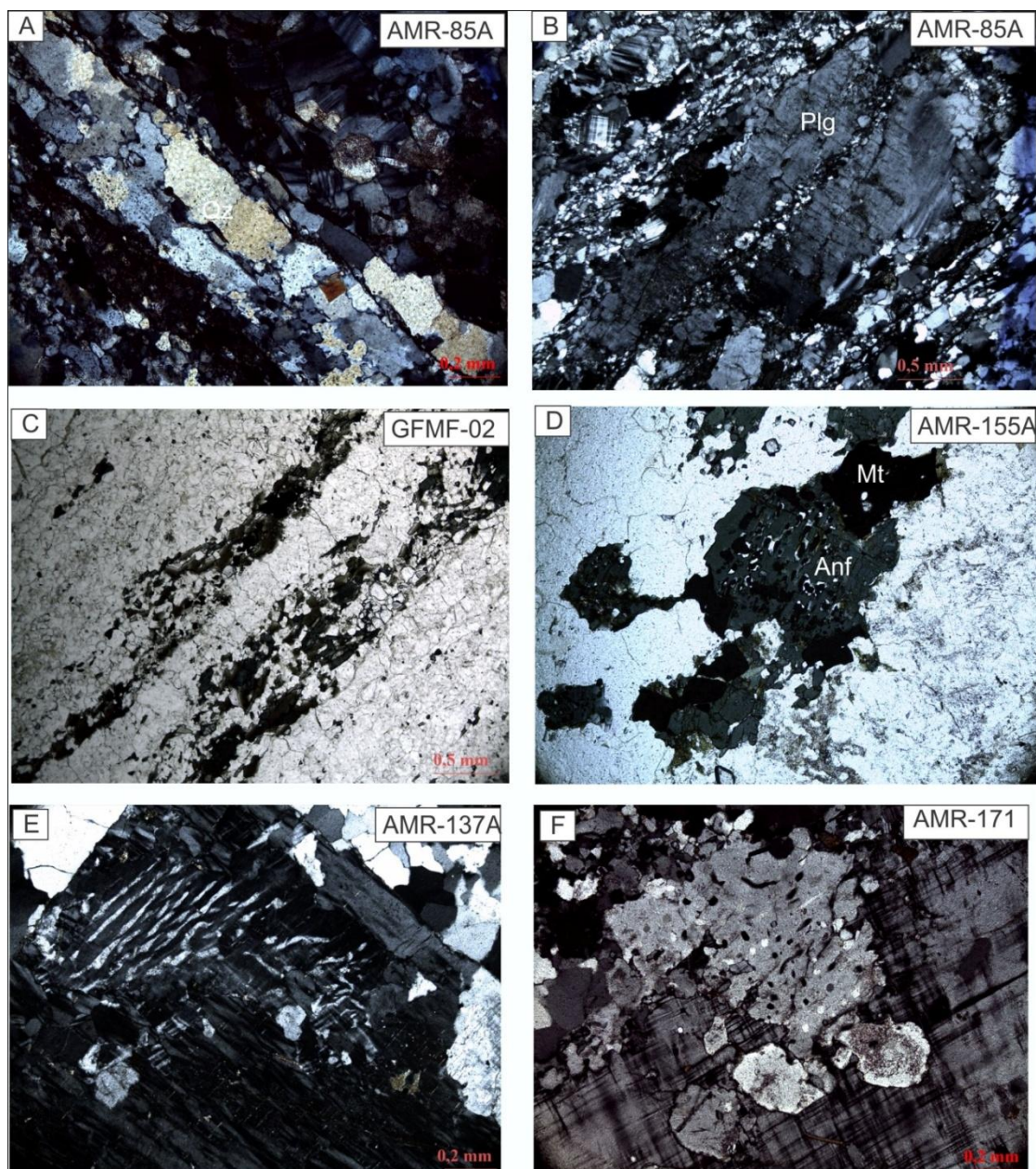
1 - Ilmenita, magnetita, hematita, calcopirita e pirita / * Recalculado a 100% / - Mineral ausente / tr- Mineral Traço

Figura 4 – (A) Aspecto mesocópico do Granito Planalto; (B) Agregado de minerais máficos e ferromagnesianos; (C) Porfiroclasto de microclínio (Mc) com maclamento xadrez envolto por matriz fina formada por feldspatos potássicos recristalizados; (D) Fenocristal de microclínio com desenvolvimento incipiente de pertitas em manchas e albita *chess board*; (E) Microclínio envolto por plagioclásio; (F) cristal de granulação média de quartzo totalmente recristalizado e estirado, mas com contornos originais preservados. (Fotomicrografias em luz transmitida e nicóis cruzados).



Fonte: Da autora

Figura 5 - (A) agregados de quartzo estirados e recristalizados; B) Porfiroclasto de plagioclásio com microgranulação ao longo de fraturas; (C) Alternância de níveis orientados félsicos e máficos, estes dominados por anfibólio com magnetita associada; (D) Cristais subédricos de magnetita associados com anfibólio. (Fotomicrografias em luz transmitida; a, b em nicóis cruzados; c, d em nicóis paralelos); (E) e (F) Intercrescimento mimerquítico na borda do álcali-feldspato.



Fonte: Da autora.

6 PETROLOGIA MAGNÉTICA

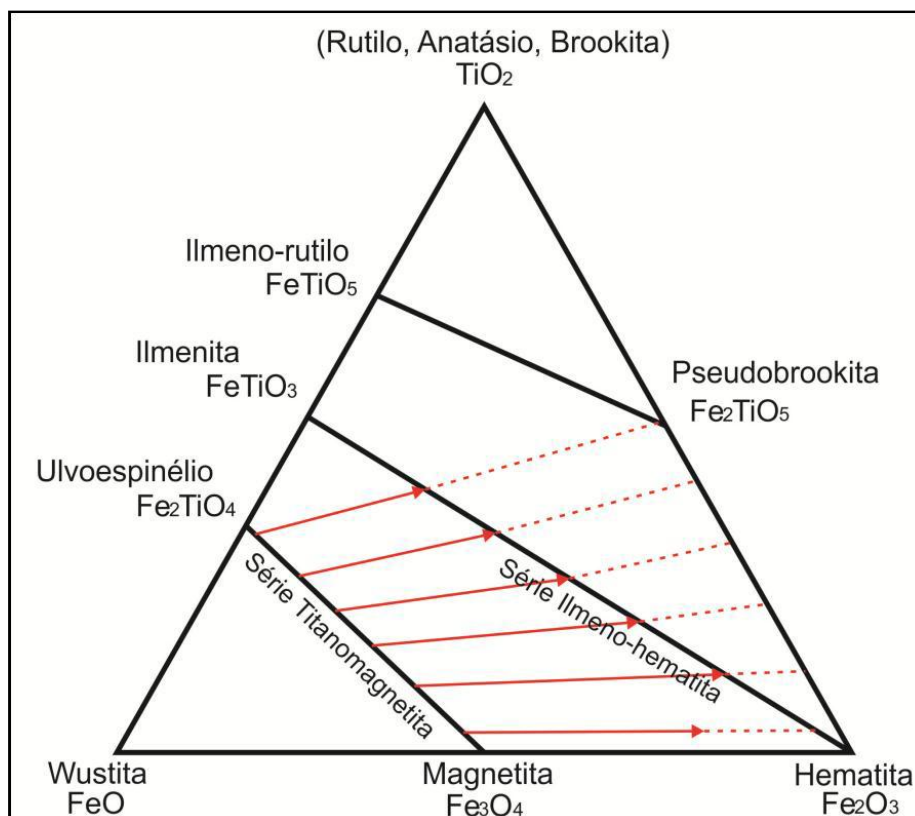
6.1 PRINCÍPIOS DA PETROLOGIA MAGNÉTICA

Petrologia Magnética é a integração dos estudos de suscetibilidade magnética com a caracterização dos minerais óxidos de Fe e Ti e petrologia convencional para caracterizar a composição, abundância, microestrutura e paragéneses de minerais magnéticos, bem como para definir os processos que criaram, alteraram e/ou destruíram os minerais magnéticos nas rochas (Clark 1999). Segundo este mesmo autor, as propriedades magnéticas de uma rocha dependem da partição do Fe entre os minerais óxidos de Fe e Ti, fortemente magnéticos, e as fases fracamente magnéticas (silicatos, carbonatos, etc.). Esta partição depende, por sua vez, da composição química, do estado de oxidação do Fe e das condições petrogenéticas.

A suscetibilidade magnética (SM) de uma rocha está relacionada à quantidade, natureza, tamanho dos grãos e modo de distribuição dos minerais ferromagnéticos nela contidos. O equilíbrio desses minerais é controlado pelas condições físico-químicas, que são responsáveis pela intensidade e estabilidade da SM no decorrer do tempo. Além disso, as rochas mostram características magnéticas similares às dos minerais ferromagnéticos que elas contêm.

Haggerty (1979) dividiu os minerais magnéticos formadores de rocha em: a) minerais formados por óxidos de Fe e Ti (visualizados no diagrama FeO-TiO₂-Fe₂O₃; Figura 6); b) sulfetos à base de Fe, Ni e S; e c) ligas metálicas de Fe, Ni e Co. Além destes, podem existir soluções sólidas entre os componentes de cada sistema, sendo que as propriedades magnéticas dos minerais formadores dessas soluções variam em função do grau de solubilidade do sólido. As composições dos minerais individuais são controladas por suas temperaturas iniciais de formação, pela composição química da rocha ou magma, pela presença de *solvus* ao longo da solução sólida e pela fO_2 e fS_2 .

Figura 6 - Diagrama Ternário do sistema $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$, mostrando os minerais óxidos de Fe e Ti mais comuns. As setas em vermelho indicam a direção do aumento da oxidação com razão Fe e Ti constante e as linhas pretas as soluções sólidas entre: 1) magnetita- ulvoespínélio (série titanomagnetita); 2) hematita-ilmenita (série ilmeno-hematita); 3) ilmeno-rutilo-pseudobrookita.

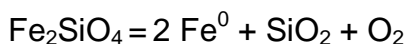


Fonte: Haggerty (1979).

A fugacidade de oxigênio ($f\text{O}_2$) é o principal parâmetro físico que controla a formação dos minerais magnéticos. É uma variável termodinâmica, medida em unidade de pressão e definida como atividade química do oxigênio (CLARK 1999). Este parâmetro é usado em sistemas geológicos para indicar o potencial de oxidação ou redução do Fe, sendo importante na determinação da estabilidade e composição dos óxidos (FROST 1991).

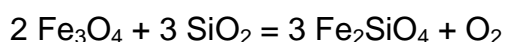
De acordo com Frost. op.cit em condições de baixa fugacidade de oxigênio, tais como aquelas encontradas no núcleo da terra e em meteoritos, o Fe está presente como metal (estado nativo, Fe^0). Em fugacidades de oxigênio mais elevadas e em sistemas portadores de sílica, o ferro ocorre inicialmente como

cátion divalente, sendo incorporado principalmente nos silicatos, segundo a reação:



faialita ferro quartzo (QIF)

Em fugacidade ainda mais elevada, o Fe está presente em dois estados, ferroso (divalente) e férrico (trivalente) e é incorporado principalmente na magnetita, conforme a reação abaixo:



magnetita quartzo faialita (FMQ)

Em fugacidade de oxigênio extremamente alta, o Fe ocorre apenas no estado férrico e na hematita, segundo a reação:



hematitamagnetita (MH)

Para o sistema Fe-O-SiO₂, as reações FMQ e QIF marcam o limite de fugacidade de oxigênio superior e inferior de estabilidade para faialita, assim como, o MH é o limite superior de fugacidade de oxigênio para a estabilidade da magnetita. Essas reações, conhecidas como tampões, controlam a relação entre fugacidade de oxigênio e temperatura.

Budington e Lindsley (1964) discutiram a importância dos minerais óxidos de Fe e Ti como oxigeobarômetros e geotermômetros e seu interesse econômico. Esses autores dividiram os minerais óxidos de Fe e Ti em duas séries: série espinélio (titanomagnetita) e série romboédrica (ilmeno-hematita). Segundo os mesmos autores, os óxidos de Fe e Ti (FeO, Fe₂O₃ e TiO₂) podem formar diversas associações minerais em função da intensidade de oxidação (*f*O₂), sendo as variedades texturais e as assembléias de fases mais comumente encontradas, fortemente dependentes de processos relacionados à oxidação e exsolução. Através destes processos, os cristais de titanomagnetita primária podem apresentar durante sua evolução diferentes feições texturais, observadas

principalmente na coexistência de magnetita e ilmenita formando intercrescimentos (DALL'AGNOL et al., 1997).

6.2 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (SM)

Estudos de petrologia magnética na Suíte Planalto foram realizados em corpos de sua área-tipo (OLIVEIRA, 2003) e em corpos similares de Vila Jussara (SILVA e OLIVEIRA, 2010). Além desses, dois outros corpos de granitos subalcalinos localizados dentro da Bacia Carajás foram caracterizados em termos de SM: Complexo Estrela e Serra do Rabo (FERREIRA 2002, BARROS et al., 2009).

As rochas estudadas por Oliveira., op.cit apresentam uma SM variando de $6,3504 \times 10^{-4}$ SI (valor mínimo) a $7,3839 \times 10^{-3}$ SI (valor máximo) com média de $1,6339 \times 10^{-3}$ SI. Por meio da análise do polígono e histograma de freqüência, foram designados três populações ou grupos distintos (A, B e C). A população A é formado por amostras com baixos valores de SM situados entre $6,3504 \times 10^{-4}$ a $7,7113 \times 10^{-4}$ SI, reflexo da natureza dos opacos. A população ou grupo B possui valores de SM localizados entre $8,5212 \times 10^{-4}$ e $2,2904 \times 10^{-3}$. O grupo C com os mais altos valores de SM, situados entre $3,0823 \times 10^{-3}$ SI e $7,3839 \times 10^{-3}$, aparentemente é o grupo menos evoluído do Granito Planalto e com os valores mais elevados de opacos modais. Os dados preliminarmente obtidos por Oliveira (2003) não puderam ser diretamente comparados devido à elevada imprecisão do equipamento utilizado (susctibilímetro SI-1, fabricado pela *Saphire Instruments*) para as análises do Granito Planalto, limitando a qualidade dos resultados, sobretudo para amostras com baixa SM ($<10^{-3}$).

Foram realizadas neste trabalho medidas de suscetibilidade magnética (SM) em 78 amostras representativas dos granitos da Suíte Planalto (Tabela 3). Diversas medidas foram efetuadas em superfícies planas de cada amostra e a média aritmética das medidas efetuadas em cada amostra foi assumida como representativa daquela amostra.

Em termos de suscetibilidade magnética, a Suíte Planalto apresenta valores que variam de $0,0102 \times 10^{-3}$ (valor mínimo) a $15,700 \times 10^{-3}$ (valor máximo)

com média de $2,7263 \times 10^{-3}$. O valor mínimo de SM da população C corresponde a $0,8036 \times 10^{-3}$ (Amostra ARF-19; Tabela 3).

Tabela 3-Dados de suscetibilidade magnética (SM) do grupo A e B da Suíte Planalto.

População	Amostra	Fácies	SM média	log SM (SI)	% opacos	Lâminas Delgadas	Lâminas Polidas
	AMR-162A	BHMzG	$0,0102 \times 10^{-3}$	-4,9913998	tr	√	√
	AMR-168A		$0,0443 \times 10^{-3}$	-4,3535963			
	AMR-168B		$0,0530 \times 10^{-3}$	-4,2757241			
	AMR-117G		$0,0588 \times 10^{-3}$	-4,2306227			
	AMR-164A		$0,0608 \times 10^{-3}$	-4,2160964			
	AMR-138		$0,0644 \times 10^{-3}$	-4,1911141			
	AMR-149	HBMzG	$0,0662 \times 10^{-3}$	-4,1791420	0,3	√	
	AMR-98A	BHLSG	$0,0728 \times 10^{-3}$	-4,1378686	tr	√	
	AMR-96		$0,0750 \times 10^{-3}$	-4,1249387			
	AMR-179		$0,0823 \times 10^{-3}$	-4,0846002			
	AER-148		$0,0836 \times 10^{-3}$	-4,0777937			
	AMR-120A		$0,0987 \times 10^{-3}$	-4,0056829			
	ARC-147	BHMzG	$0,1000 \times 10^{-3}$	-4,0000000	tr	√	
	AMR-117L		$0,1007 \times 10^{-3}$	-3,9969705			
	AMR-166A		$0,1023 \times 10^{-3}$	-3,9901244			
	AMR-133A		$0,1168 \times 10^{-3}$	-3,9325572			
A e B	AMR-137B	HBSG	$0,1211 \times 10^{-3}$	-3,9168559	0,1	√	
	AMR-158		$0,1251 \times 10^{-3}$	-3,9027427			
	AMR-116	BHSG	$0,1281 \times 10^{-3}$	-3,8924509	tr	√	√
	AMR-136		$0,1282 \times 10^{-3}$	-3,8921120			
	AMR-209	BHMzG	$0,1306 \times 10^{-3}$	-3,8840568	0	√	√
	AMR-167		$0,1332 \times 10^{-3}$	-3,8754958			
	AMR-118H	HBSG	$0,1387 \times 10^{-3}$	-3,8579235	0,2	√	
	AMR-142		$0,1393 \times 10^{-3}$	-3,8560489			
	AMR-97		$0,1428 \times 10^{-3}$	-3,8452718			
	ARC-110	HBSG	$0,1461 \times 10^{-3}$	-3,8353498	tr	√	
	AMR-151A		$0,1485 \times 10^{-3}$	-3,8282736			
	AMR-118A	BHMzG	$0,1510 \times 10^{-3}$	-3,8210231			√
	AMR-145	BHSG	$0,1526 \times 10^{-3}$	-3,8164455		√	
	AMR-166B		$0,1704 \times 10^{-3}$	-3,7685304			
	AMR-94A	HLMzG	$0,2041 \times 10^{-3}$	-3,6901570	0,2	√	
	AMR-117J	HBSG	$0,2118 \times 10^{-3}$	-3,6740740	0,2	√	
	ARC-147	BHMzG	$0,2512 \times 10^{-3}$	-3,5999804	0	√	√
	ARF-24	HBSG	$0,2883 \times 10^{-3}$	-3,5401554	0,1	√	
	AMR-135	BHMzG	$0,3237 \times 10^{-3}$	-3,4898573	0,2	√	
	ARF-20	BHSG	$0,3310 \times 10^{-3}$	-3,4801720	0	√	

	ARC-144	BHMzG	0,4042*10 ⁻³	-3,3934037	0,7	√	√
	ARF-25		0,6247*10 ⁻³	-3,2043285			
	ARF-19		0,8036*10 ⁻³	-3,0949601			
	AMR-170A		0,9003*10 ⁻³	-3,0456128			
	AMR-151B	BHMzG	1,0025*10 ⁻³	-2,9989156	0,7	√	
	ARF-22		1,1324*10 ⁻³	-2,9460001			
	AC-4b	BHSG	1,1401*10 ⁻³	-2,9430600	0,2	√	√
	AMR-140	BHMzG	1,2947*10 ⁻³	-2,8878300	0	√	
	AC-16	BHSG	1,3757*10 ⁻³	-2,8614800	0,1	√	
	AMR-91B		1,6262*10 ⁻³	-2,7888260			
	AMR-142A		1,7294*10 ⁻³	-2,7621046			
	AMR-150	HBSG	2,0611*10 ⁻³	-2,6859009	tr	√	
	ARF-17	HBSG	2,2522*10 ⁻³	-2,6473931	0,4	√	
	AMR-141B	BHMzG	2,3327*10 ⁻³	-2,6321411		√	
	AMR-151D		2,5187*10 ⁻³	-2,5988236			
	AMR-85B		2,7076*10 ⁻³	-2,5674155			
	AFR-82A	BHMzG	3,0611*10 ⁻³	-2,5141225	0,8	√	
	AMR-134A		3,1466*10 ⁻³	-2,5021585			
	ARC-109	HBSG	3,1488*10 ⁻³	-2,5018549	0,4	√	√
	AMR-171C	BSG	4,0811*10 ⁻³	-2,3892228		√	
	GFMF-06	HBSG	4,2358*10 ⁻³	-2,3730646	0,2	√	√
	AMR-172B		4,6588*10 ⁻³	-2,3317259			
C	AMR-155A	HBAG	4,7822*10 ⁻³	-2,3203723	0,4	√	
	AMR-177	HAG	5,2133*10 ⁻³	-2,2828873	0,1	√	√
	AMR-153A		5,2588*10 ⁻³	-2,2791134			
	AMR-152A	BHMzG	5,4044*10 ⁻³	-2,2672525	0,1	√	
	ARC-141B	BMzG	6,4355*10 ⁻³	-2,1914177			
	AMR-85A	HSG	6,4611*10 ⁻³	-2,1896935	2,1	√	√
	AMR-141A		6,4722*10 ⁻³	-2,1889481			
	AMR-171	BSG	6,5933*10 ⁻³	-2,1808972	0,1	√	√
	AC-6A	BHMzG	6,6605*10 ⁻³	-2,1764900	0,3	√	
	ARC-77		6,8000x10 ⁻³	-2,1674911			
	AMR-146	BHMzG	7,1913*10 ⁻³	-2,1431926	tr	√	
	AMR-152B	BHMzG	7,5022*10 ⁻³	-2,1248114			
	AMR-155B	BHMzG	7,8122*10 ⁻³	-2,1072267	0,7	√	
	AER-72A	BMzG	8,2966*10 ⁻³	-2,0810999	0,1	√	
	AMR-137A	BHSG	8,5212*10 ⁻³	-2,0694992	tr	√	√
	ARF-18	BHSG	9,8766*10 ⁻³	-2,0053925	tr	√	
	AMR-154A	HBSG	11,3166*10 ⁻³	-1,9462840	0,4	√	
	ARC-104	BMzG	11,8111*10 ⁻³	-1,9277097	1,3	√	
	ARC-112B	BMzG	13,5500*10 ⁻³	-1,8680607			
	ARC-148	BHMzG	15,7000*10 ⁻³	-1,8041004	0,5	√	√

Em negrito-amstras com análise química e razões FeOt/(FeOt+MgO) em rocha total.

Os dados de suscetibilidade magnética das amostras estudadas e os parâmetros estatísticos são apresentados, respectivamente, nas tabelas 4 e 5. Estatisticamente, a distribuição das amostras estudadas ocorre segundo um padrão polimodal e estão situadas entre os logs -4,99014 e -1,8041. Os dados de SM quando plotados no gráfico de probabilidade normal possibilitam a separação de 3 (três) populações ou grupos, designados genericamente de A, B e C, com características magnéticas distintas (Figuras 7a, b). Essas populações foram definidas a partir de segmentos de reta, com diferentes inclinações, unindo grupos de amostras alinhadas segundo esses mesmos segmentos. Entretanto, geologicamente não há diferenças significativas em termos de suscetibilidade magnética entre as populações A e B e optou-se por reunir essas duas populações em um único grupo. Portanto, neste trabalho, as populações A e B serão tratadas em conjunto, como se fossem uma população única.

As populações A e B, responsáveis pelo pico correspondente às amostras de mais baixa SM, englobam aproximadamente 52,7% das amostras estudadas e apresentam valores de SM situados no intervalo de $0,0102 \times 10^{-3}$ a $0,6247 \times 10^{-3}$ SI com valor médio de $0,1522 \times 10^{-3}$ SI (Tabela 3; Figuras 7a, b). É formada principalmente por monzogranitos e sienogranitos com baixos valores de SM, indicando, portanto, baixos conteúdos de magnetita. A população C, composta por monzogranito, sienogranito e álcali-feldspato granito, com 47,3% do total de amostras, se distingue da população A e B por conter os mais altos valores de SM entre $0,8036 \times 10^{-3}$ e $15,700 \times 10^{-3}$ SI com média de $5,1717 \times 10^{-3}$ SI. Esses valores indicam presença significativa de magnetita modal nas amostras da população C e isso precisa ser melhor explicado.

Na tabela 5 são apresentados os parâmetros estatísticos para as populações A, B e C, dos granitos pertencentes a Suíte Planalto.

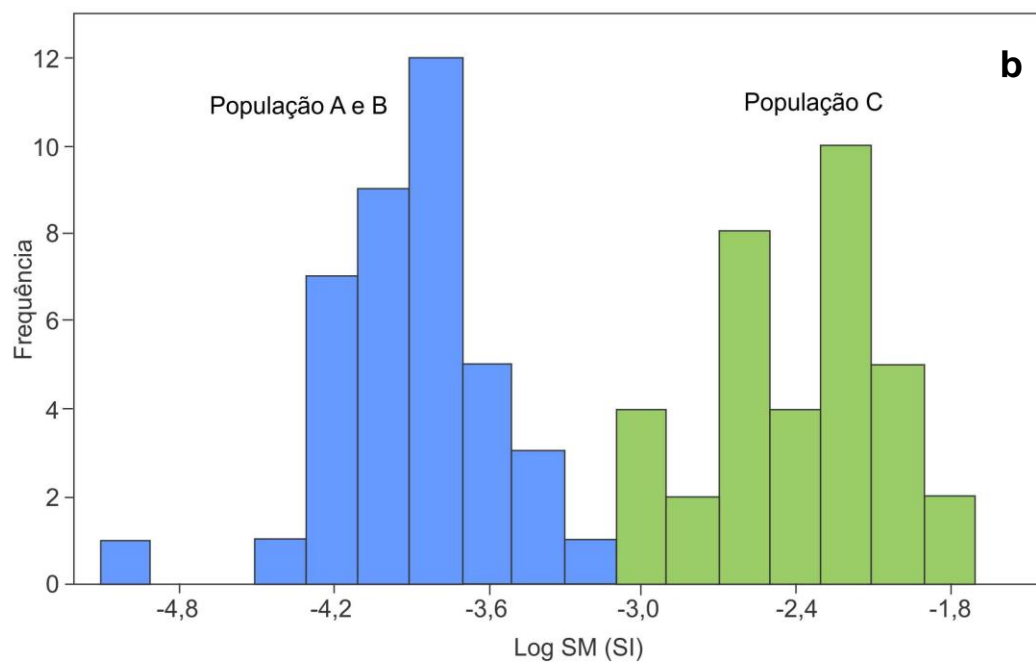
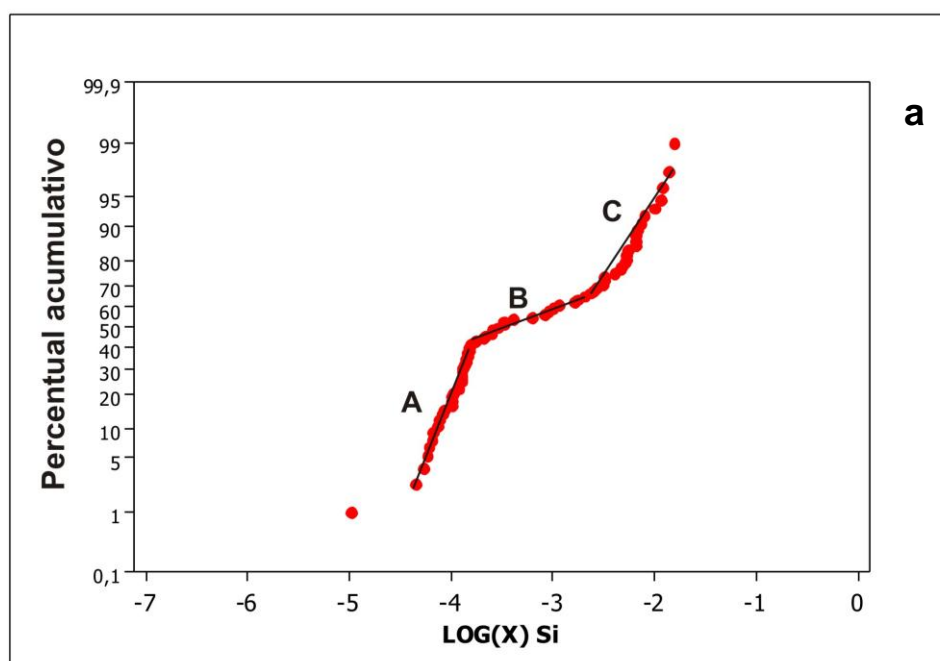
Tabela 4-Parâmetros estatísticos dos dados de SM da Suíte Planalto.

Parâmetros Estatísticos	K(SI) *10 ⁻³ V
Número de amostras = 78	
Média	2,7263
Mediana	0,8520
Média Geométrica	0,7582
Variância	13,2663
Desvio Padrão	3,6423
Valor Mínimo	0,0102
Valor Máximo	15,7000

Tabela 5-Parâmetros estatísticos dos dados de SM das três populações da Suíte Planalto.

Parâmetros Estatísticos	K (SI)*10 ⁻³ V	
	Populações A e B	População C
Média	0,1522	5,1717
Mediana	0,1282	4,7205
Média Geométrica	0,1210	3,8917
Variância	0,0134	13,5903
Desvio Padrão	0,1157	3,6865
Valor Mínimo	0,0102	0,8036
Valor Máximo	0,6247	15,7000

Figura 7 - a) Gráfico de probabilidade normal, referente aos dados de suscetibilidade magnética da Suíte Planalto; b) Histograma de frequência.



SM > Ou = a $10 \cdot 10^{-4}$, percentagem em peso.

6.3 ESTUDO DOS MINERAIS OPACOS

O estudo dos minerais opacos, principalmente os óxidos de Fe e Ti da Suíte Planalto, foi feito visando determinar sua natureza, abundância relativa e variedades texturais. Os minerais opacos estão associados de maneira geral a agregados máficos e estão distribuídos de forma contrastante nos grupos da Suíte Planalto.

Os minerais opacos apresentam-se como cristais subédricos a anédricos e, subordinadamente, euédricos, de granulação fina a muito fina, raramente chegando a 1 mm. Ocorrem de três formas principais: inclusões em minerais máficos, tais como anfibólio, biotita e titanita; associados aos ferromagnesianos, apresentando por vezes, contato reto com essas fases minerais; grãos irregulares circundados por coroa de titanita.

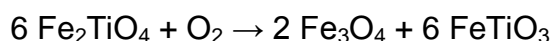
O principal mineral opaco identificado na Suíte Planalto foi ilmenita (Ilm). A magnetita (Mt) e hematita (Hm), está ultima encontrada apenas na variedade martita (Mrt), são subordinadas e ocorrem apenas em amostras da população C de SM ou como fases secundárias relacionadas com processos hidrotermais. Pirita e calcopirita ocorrem de modo esparsos.

A ilmenita é o opaco dominante, ocorrendo geralmente nas populações A e B, associada a biotita, anfibólio e titanita. Ocorre também em grãos isolados de ilmenita individual, dispostos de modo intersticial aos félsicos. Enquanto que na população C, a Ilmenita ocorre na maioria das vezes circundada por titanita e associada a agregados de anfibólio e biotita. Na população de mais alta SM, há ainda ocorrências de magnetita associada aos ferromagnesianos, ou na forma de vênulas claramente tardias que cortam o granito. Além disso, observa-se localmente a textura Ilmenita *composite*, ou seja, associação de ilmenita e magnetita com contato reto entre os cristais.

A Ilmenita apresenta-se como cristais subédricos a anédricos e os tipos texturais observados foram: Ilm individual e Ilm composta externa, sendo esta última menos frequente. Nas populações A e B, a Ilmenita ocorre disseminada nas rochas, na forma de cristais anédricos de granulação fina a muito fina. Este

mineral também se desenvolve na forma de gotículas, inclusas nos ferromagnesianos e na titanita (Figura 8). Na população de mais alta SM a ilmenita ocorre na maioria das vezes circundada por titanita (Figura 9), assim como associada com os ferromagnesianos conforme descrito nas populações A e B. Na população C, registra-se a formação de ilmenita composta externa (Ilm Cext; Figuras 12 e 13), ou seja, a Ilm ocorre colada nos cristais de magnetita (Mt), com contato reto.

A Ilmenita Cext foi explicada por Buddington e Lindsley (1964); Haggerty (1981) como decorrente do processo de oxi-exsolução que afetou as titanomagnetitas primárias durante ou após a cristalização magmática segundo a reação:

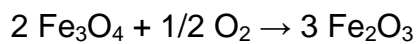


Ulvoespínélio Magnetita Ilmenita

Entretanto, Haggerty op.cit, embora não afastasse inteiramente a hipótese anterior, apresentou outra alternativa para explicar sua origem, admitindo que sua formação se daria a partir da cristalização direta do líquido magmático.

A magnetita (Mt) ocorre predominantemente como cristais subédricos a anédricos e mais raramente euédricos, geralmente sem muita evidência de oxidação (Figura 10). Por vezes, se encontra preenchendo veios (Figuras. 14 e 15), sugerindo que esses cristais foram provavelmente neoformados a partir de processos hidrotermais, em estágio posterior à formação do granito. São encontrados também cristais subédricos com bordas e núcleos corroídos (Figura 11), demonstrando sua desestabilização e sugerindo caráter primário para esses cristais. A hematita (Hm) ocorre somente como produto de alteração da magnetita sob a forma de martita que exhibe, em geral, formas irregulares, desenvolvendo-se a partir da borda da magnetita hospedeira.

Segundo Haggerty op.cit, o processo de substituição parcial do cristal de magnetita por martita desenvolve-se ao longo dos planos {111} da Mt hospedeira, sendo que a formação de martita pode ser explicada pela reação abaixo:



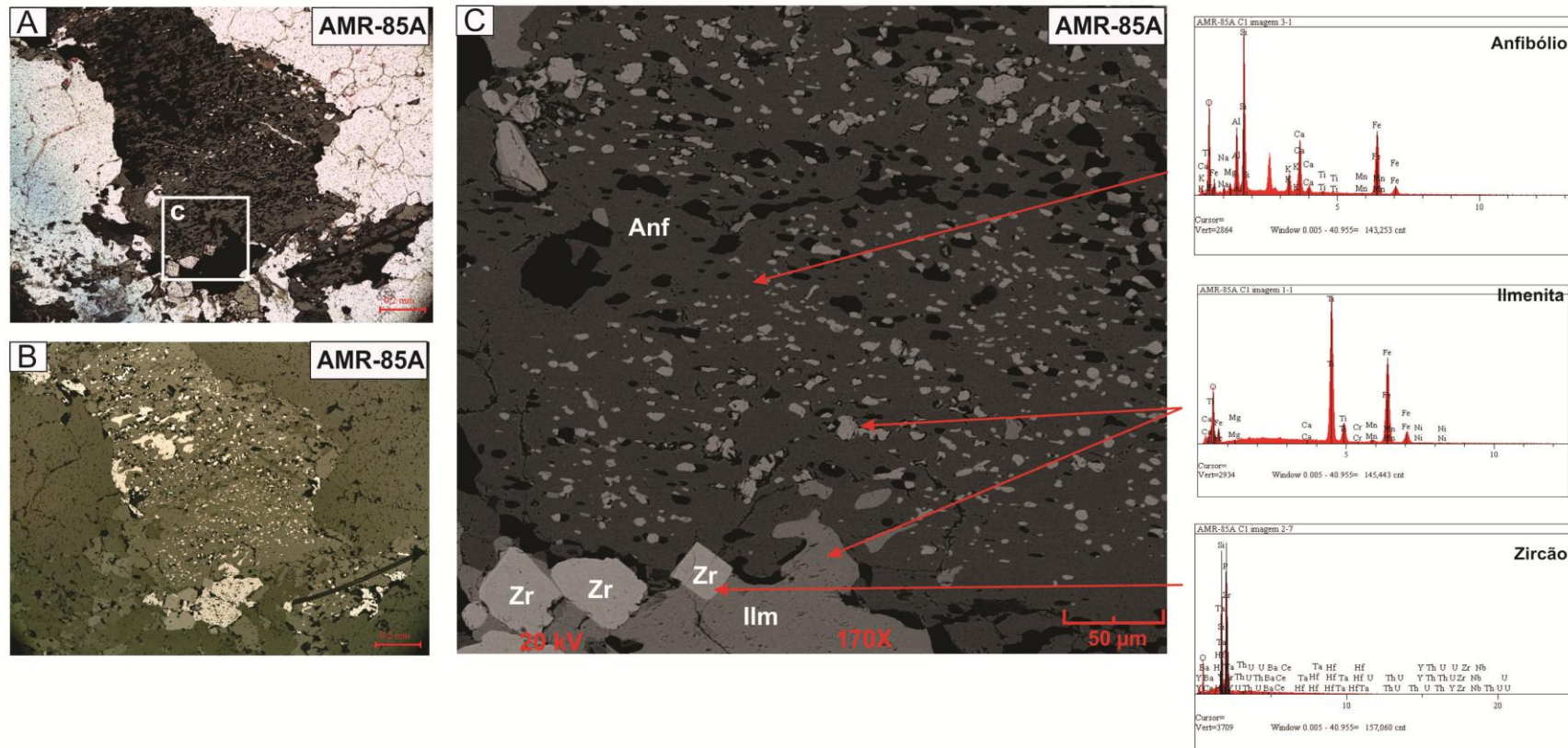
magnetita

hematita

A formação da Hm através do processo de martitização ocorre, segundo Haggerty (1981a), sobretudo em cristais de Mt pobres em Ti.

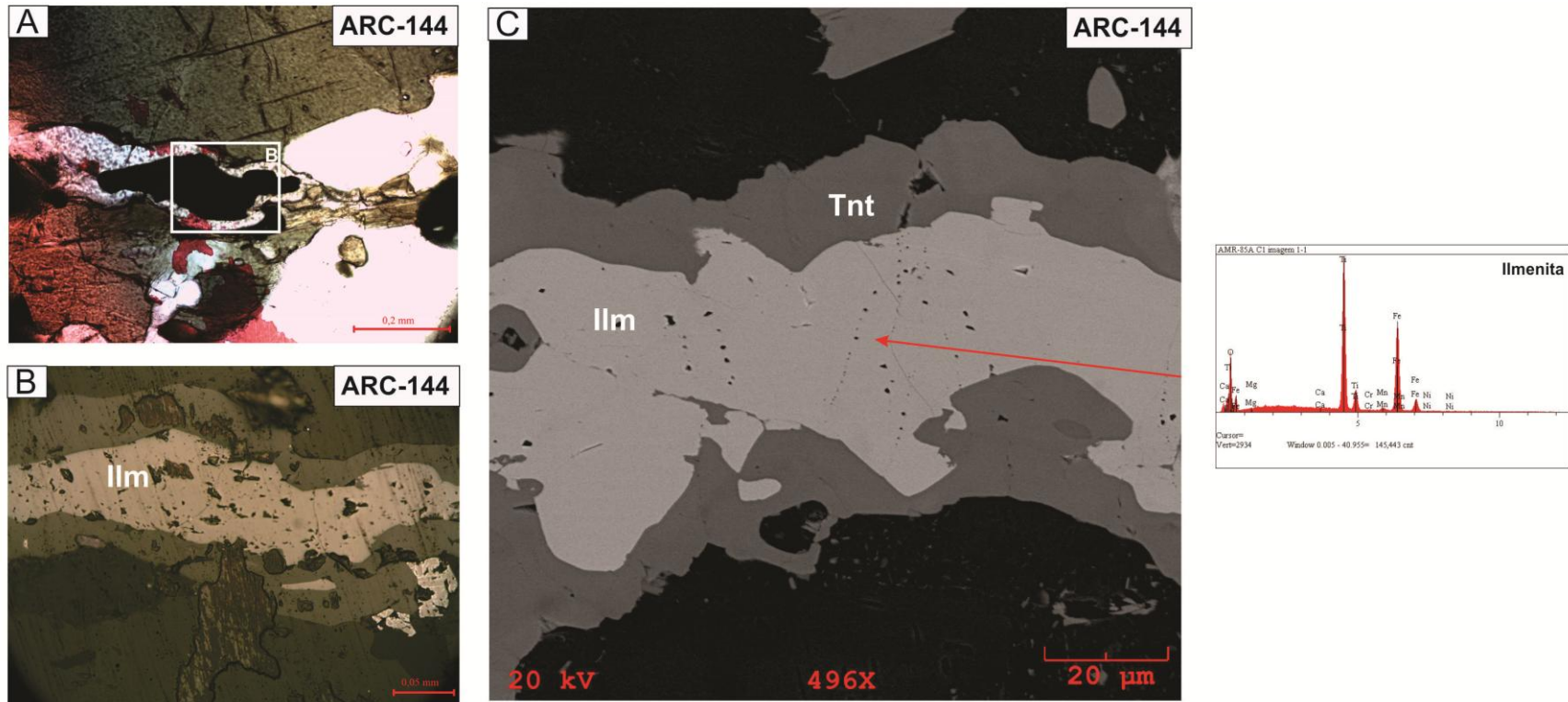
Localmente têm-se cristais subédricos de pirita e calcopirita que ocorrem disseminados na matriz. Estes sulfetos são mais freqüentes em amostras que apresentam valores altos de SM.

Figura 8-Cristais de ilmenita com formato de gotas associadas ao anfóbio e cristais de zircão associado a ilmenita. Fotomicrografia: (A) luz transmitida em nicóis paralelos; (B) luz refletida; e (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases mineralógicas identificadas.



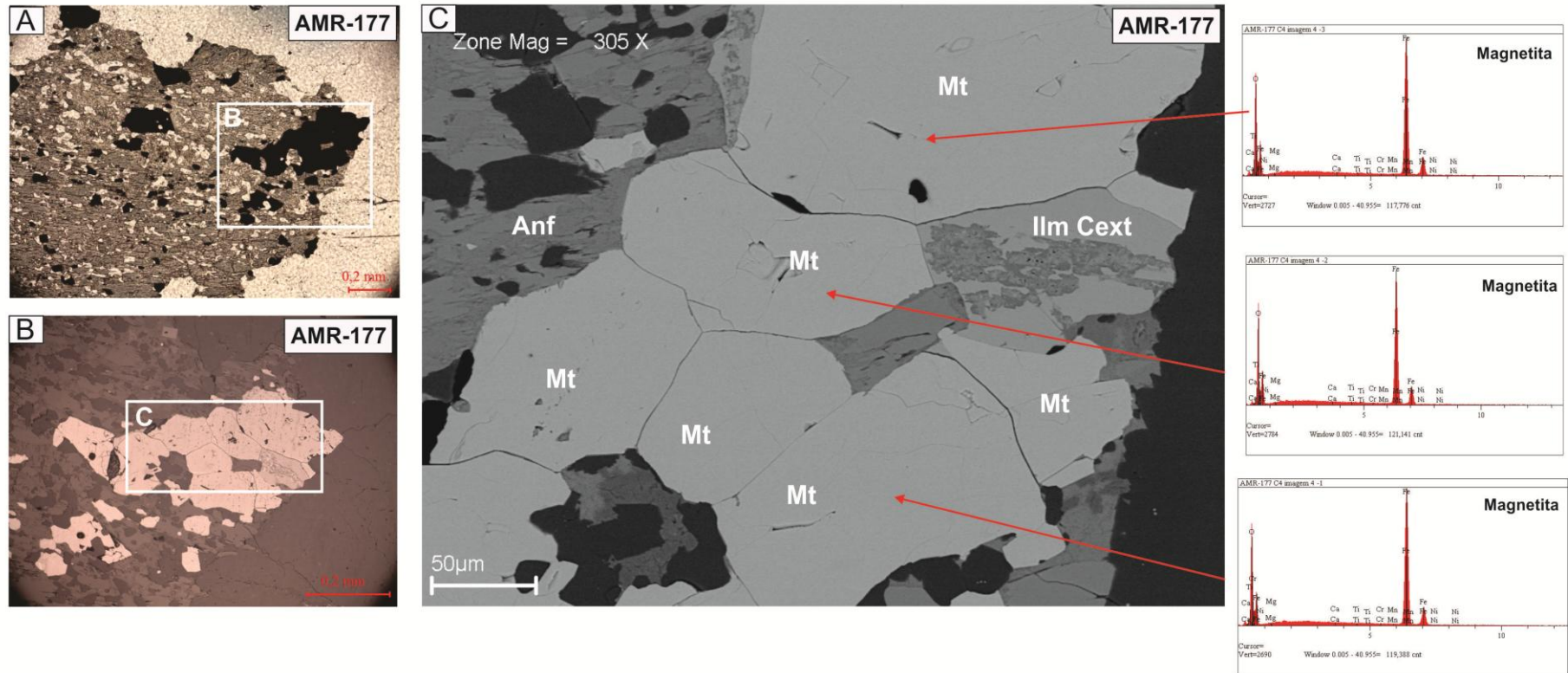
Fonte: Da autora

Figura 9-Cristais de ilmenita alongada com coroa de titanita associada aos ferromagnesianos. Fotomicrografia: (A) luz transmitida e nicóis paralelos; (B) luz refletida (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectro EDS da ilmenita.



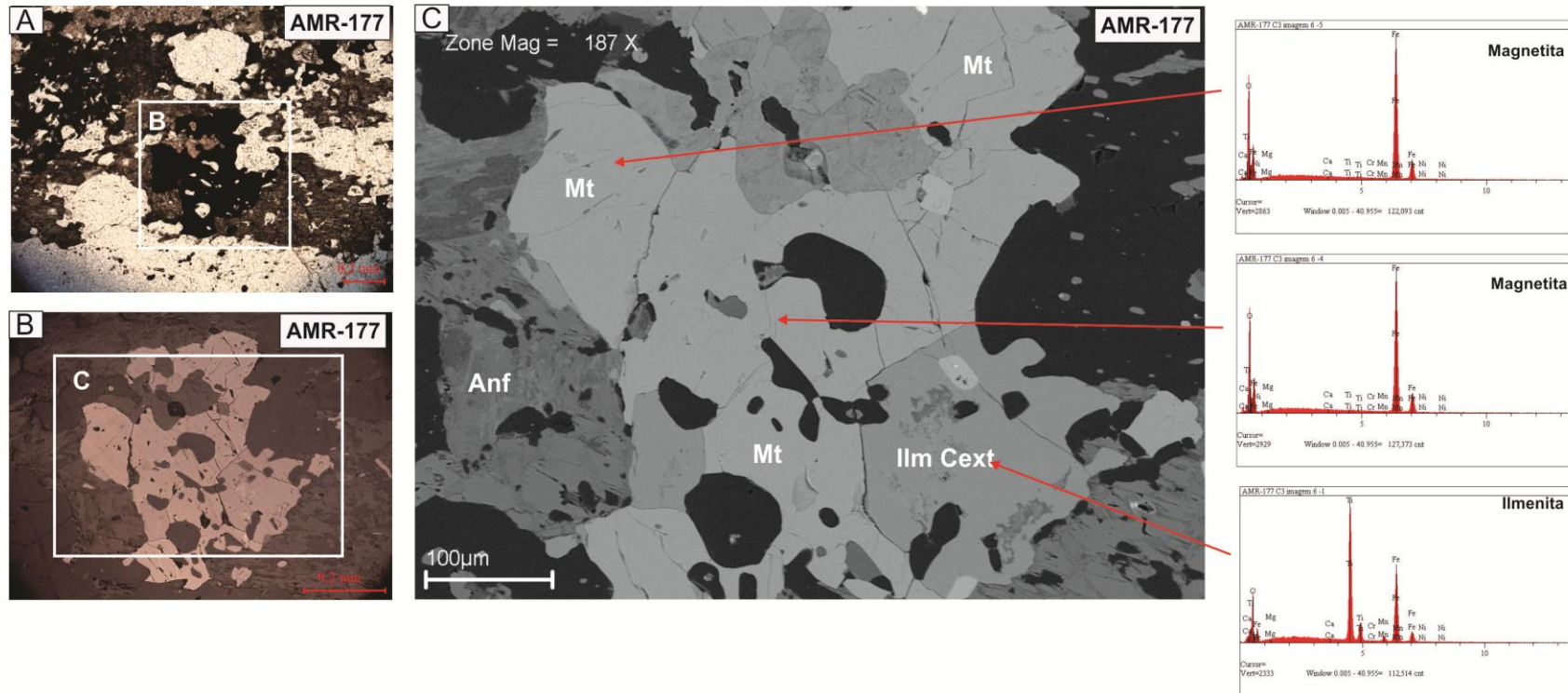
Fonte: Da autora

Figura 10-Cristais agregados de magnetita apresentando ilmenita composite, inclusos no anfibólio. Fotomicrografias: (A) luz transmitida e nicóis paralelos; (B) luz refletida (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS de vários cristais de magnetita.



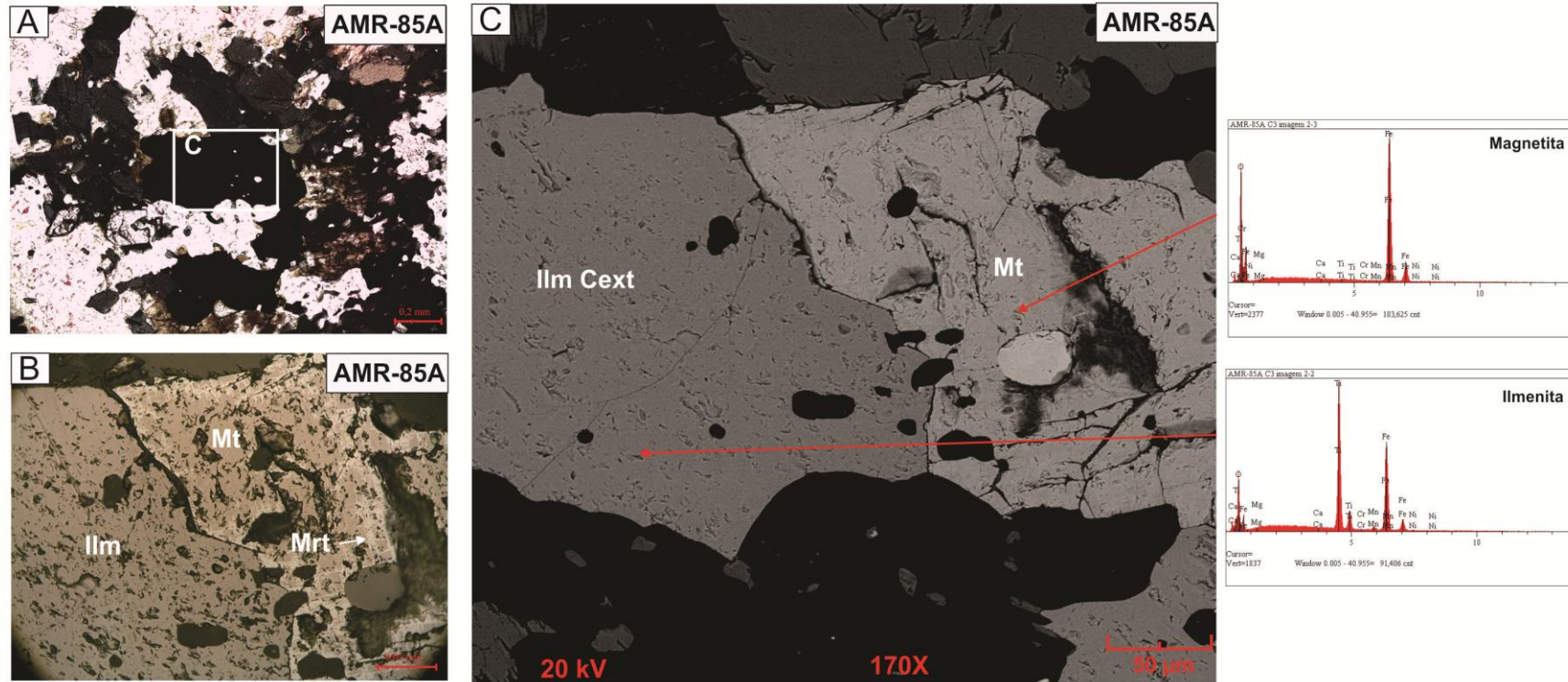
Fonte: Da autora

Figura 11-Cristais corroídos de magnetita com ilmenita composta externa, associados aos ferromagnesianos. Fotomicrografias: (A) luz transmitida e nicóis paralelos; (B) luz refletida (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.



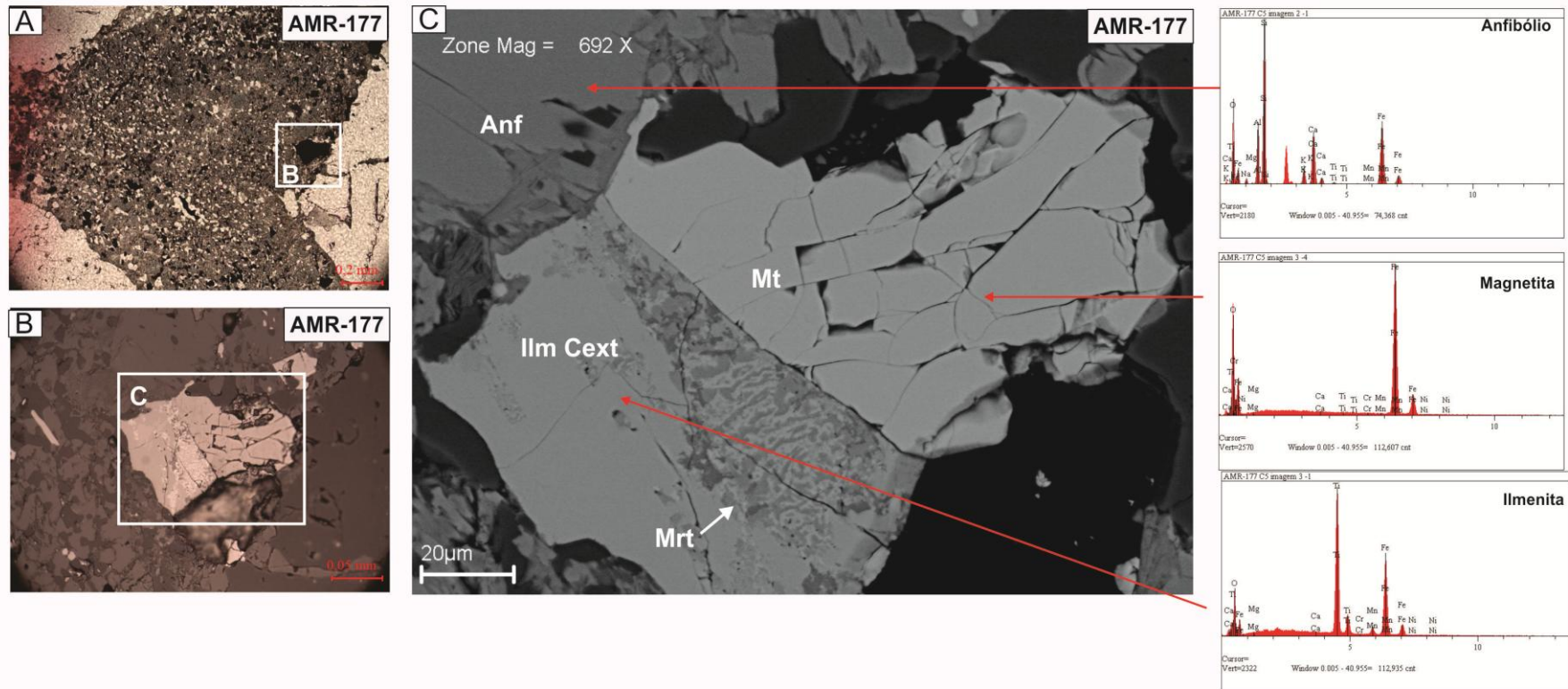
Fonte: Da autora

Figura 12-Cristais de magnetita algo martitizados com ilmenita composta externa associada. Fotomicrografias: (A) luz transmitida em nicóis paralelos; (B) luz refletida; (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS da magnetita e da ilmenita.



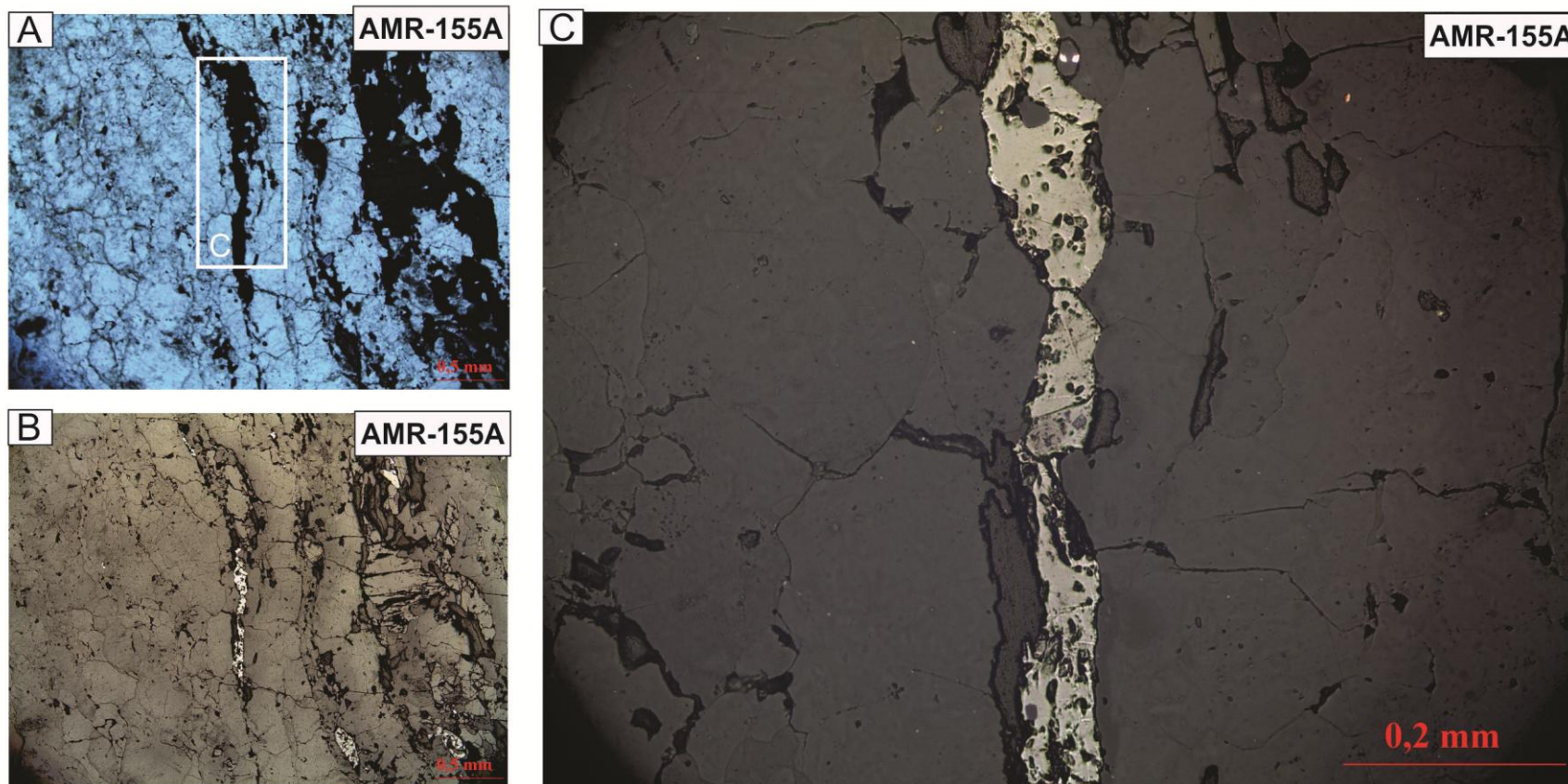
Fonte: Da autora

Figura 13-Cristais de magnetita algo martitizados, associado com ilmenita composta externa, parcialmente oxidada, e anfibólio corroído. Fotomicrografia: (A) luz transmitida; e nicóis paralelos; (B) luz refletida (C) imagem de elétrons retro-espalhados obtida em m microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.



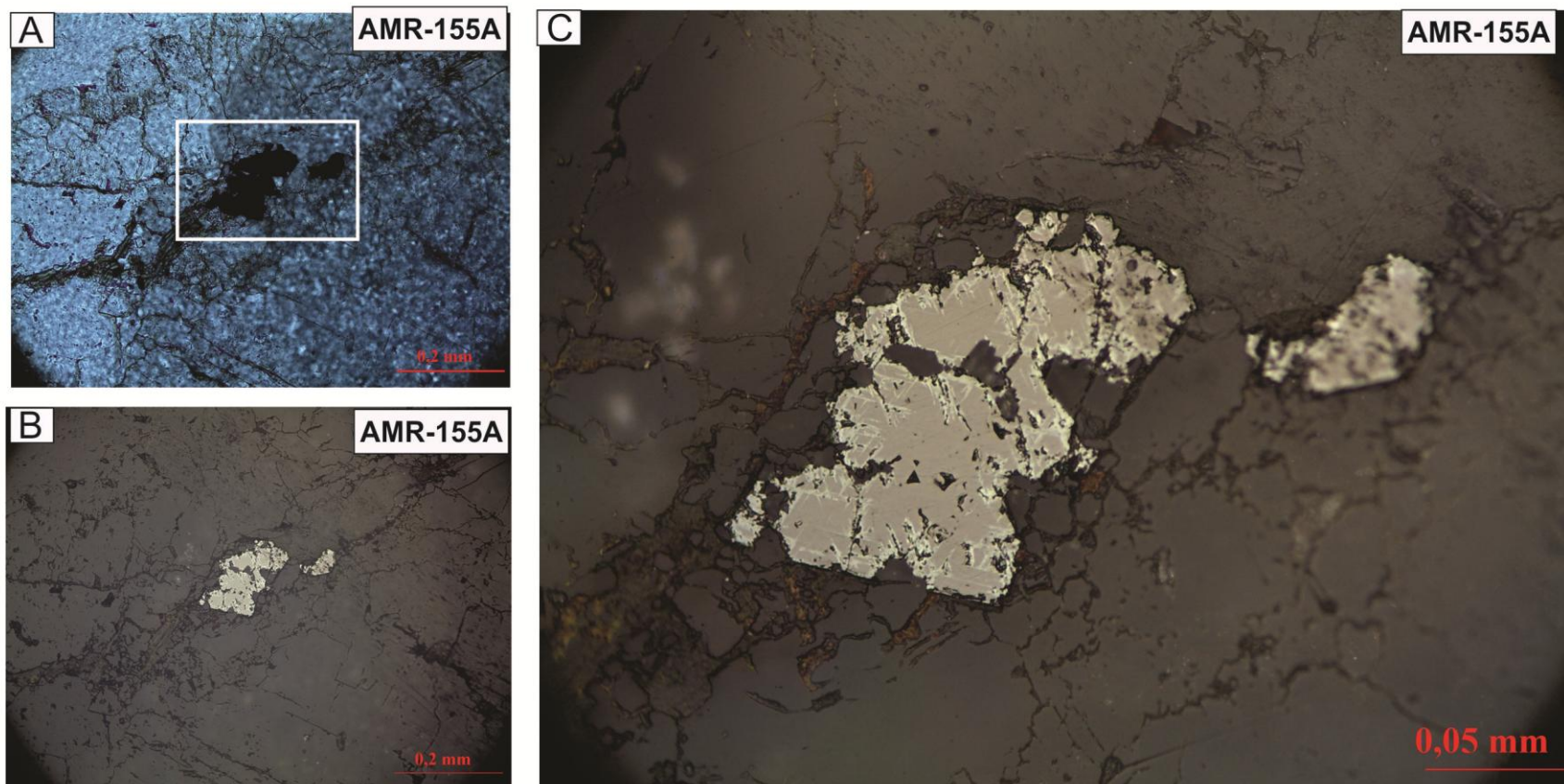
Fonte: Da autora

Figura 14-Cristais secundários de magnetita martitizados formados em veios. Fotomicrografia: (A) luz transmitida e nicóis paralelos; (B) e (C) luz refletida



Fonte: Da autora

Figura 15-Cristais secundários de magnetita martitizados formados em veios. Fotomicrografia: (A) luz transmitida e nicóis paralelos; (B) e (C) luz refletida.



Fonte: Da autora

6.4. RELAÇÃO ENTRE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA E COMPOSIÇÕES MODAIS

As análises modais realizadas neste trabalho foram complementadas com os dados de Feio (2009), Gomes (2003) e Oliveira (2003) que também realizaram estudos petrográficos detalhados nos granitos da Suíte Planalto. As proporções modais de minerais opacos, biotita, anfibólio, quartzo e feldspato potássico bem como total de máficos (M') serão confrontadas com as variações de suscetibilidade magnética encontradas nos granitos de modo a entender as possíveis relações entre essas variáveis.

O conteúdo modal de minerais opacos da Suíte Planalto varia entre 0% e 2,1%, entretanto, quantidades reduzidas, abaixo de 0,3%, são mais comuns (Tabela 6). As amostras das populações A e B (Grupo 1) possuem valores nitidamente inferiores de opacos modal, com dois terços delas tendo valores iguais ou inferiores a 0,1% e apenas uma amostra tendo conteúdo modal igual ou superior a 0,4%. Já nas amostras da população C (Grupo 2), embora ainda haja um número expressivo de amostras com baixos conteúdos de minerais opacos, cerca de metade das amostras apresenta proporção modal de opacos igual ou superior a 0,4% (Tabela 6; Figura 16a). Por outro lado, as razões $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t + \text{MgO})$ das amostras dos dois grupos apresentam valores inteiramente superpostos.

Os valores de SM da Suíte Planalto quando relacionados com o conteúdo modal de opacos de modo geral, não apresentam uma correlação clara. Mas, quando analisadas individualmente, a população C, de mais alta SM, tende a mostrar uma fraca correlação positiva com a SM, ou seja, com o aumento do conteúdo de minerais opacos há um aumento nos valores de SM (Figura 16a). Já, nas amostras das populações A e B, de baixa SM, não há nenhuma evidência de correlação do conteúdo de opacos com a SM.

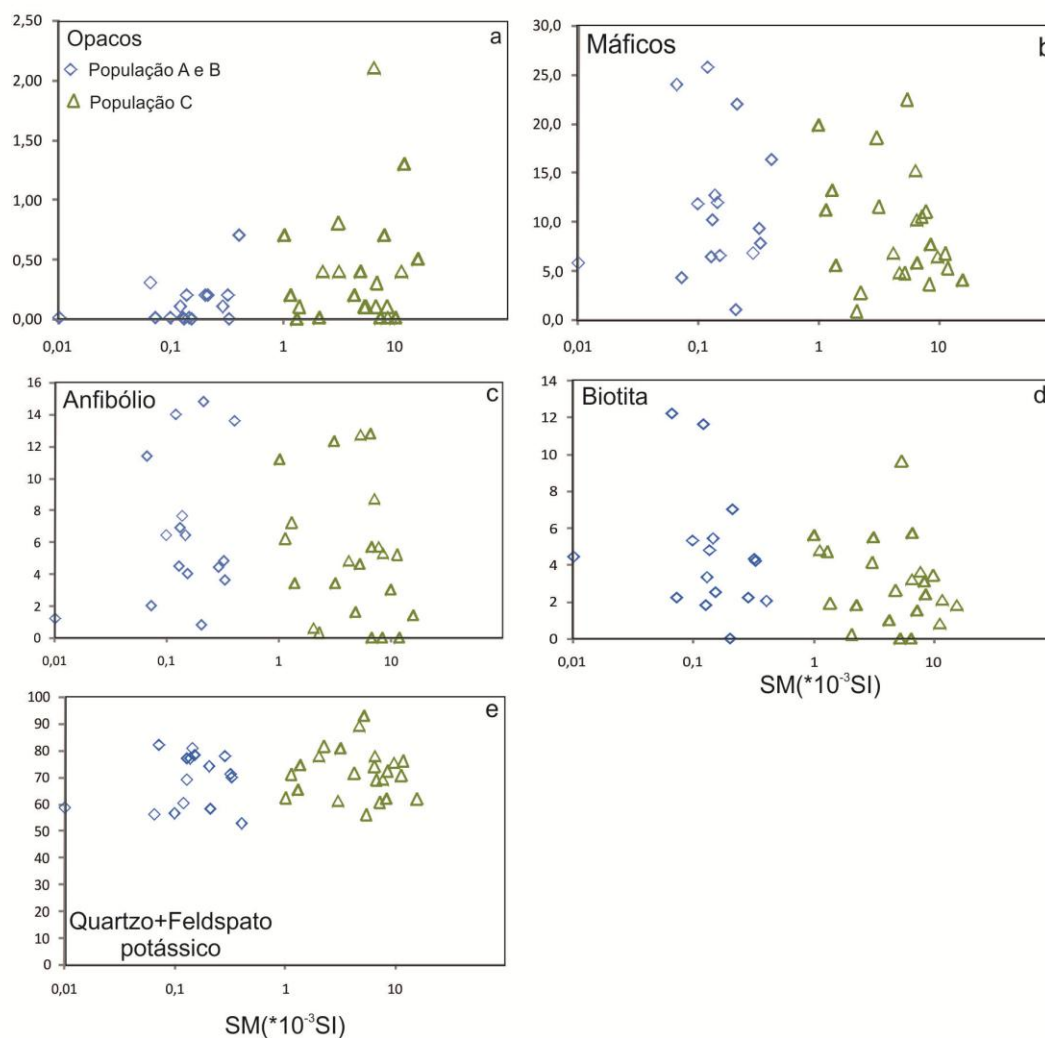
O estudo de minerais opacos revelou que a magnetita ocorre nas amostras com mais alta SM, tanto na forma primária quanto secundária. Enquanto que ilmenita individual é o mineral característico nas amostras com mais baixa SM. Portanto, a natureza e propriedades magnéticas dos minerais óxidos de Fe e

Ti presentes nas amostras da Suíte Planalto explicam em grande parte as variações de SM observadas entre as populações.

Com relação ao conteúdo de minerais máficos, se observa que os dois grupos de amostras possuem valores amplamente superpostos de máficos modal. Apesar disso, de modo geral, parece haver aumento da SM com a diminuição do conteúdo destes minerais, ou seja, correlação negativa entre máficos e SM (Figura 16b). Isto não é comum em granitos (MAGALHÃES e DALL'AGNOL 1992), pois nestas rochas os minerais opacos, inclusive a magnetita, costumam ser precoces na cristalização e tendem a acompanhar os minerais máficos, ambos decrescendo com a diferenciação magmática. Portanto, essa regra geral não parece aplicável no caso dos granitos da Suíte Planalto. Ao relacionarmos individualmente anfibólio e biotita com a SM (Figuras. 16c, d), se constata um quadro análogo, porém a correlação negativa é ainda menos clara do que a observada no gráfico de minerais máficos versus SM, descrito anteriormente.

O quartzo somado ao feldspato potássico ao serem correlacionados com a SM também não apresentam correlações claras (Figura 16e).

Figura 16-Diagramas mostrando as relações entre os valores de suscetibilidade magnética (SM) e os conteúdos modais de: a) opacos; b) máficos; c) anfibólio; d) biotita; e) quartzo e feldspato potássico.



6.5. RELAÇÃO ENTRE SM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM ROCHA TOTAL

Os dados geoquímicos dos granitos da Suíte Planalto (FEIO et al., 2012) revelam que a razão $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ em rocha total para conteúdos entre 70-76% de SiO_2 varia em torno de 0,88 a 0,99, e é típica de granitos tipo-A reduzidos (DALL'AGNOL e OLIVEIRA 2007). Entretanto, os dados de SM dos granitos da Suíte Planalto mostraram uma ampla variação de SM, com granitos tanto de caráter reduzido quanto moderadamente oxidado, destoando, portanto, dos dados geoquímicos (Tabela 6).

Os valores de SM quando comparados com a razão $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ não mostram uma correlação muito clara (Figura 17a). Isso é contraditório ao esperado, uma vez que a razão $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ tende a mostrar correlação negativa com a suscetibilidade magnética. Além disso, a população C, que apresenta valores de SM compatíveis com granitos moderadamente oxidados, exibe alta razão $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO}) \geq 0.88$, típica de granitos ferrosos (FROST et al. 2001) e reduzidos (DALL'AGNOL e OLIVEIRA 2007).

Já os minerais máficos apresentam correlação negativa com a razão $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$, o que corresponde ao padrão usual em granitos, onde o aumento da razão $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ tende a se dar paralelamente à evolução magmática da suíte e ao fracionamento do corpo (Figura 17b).

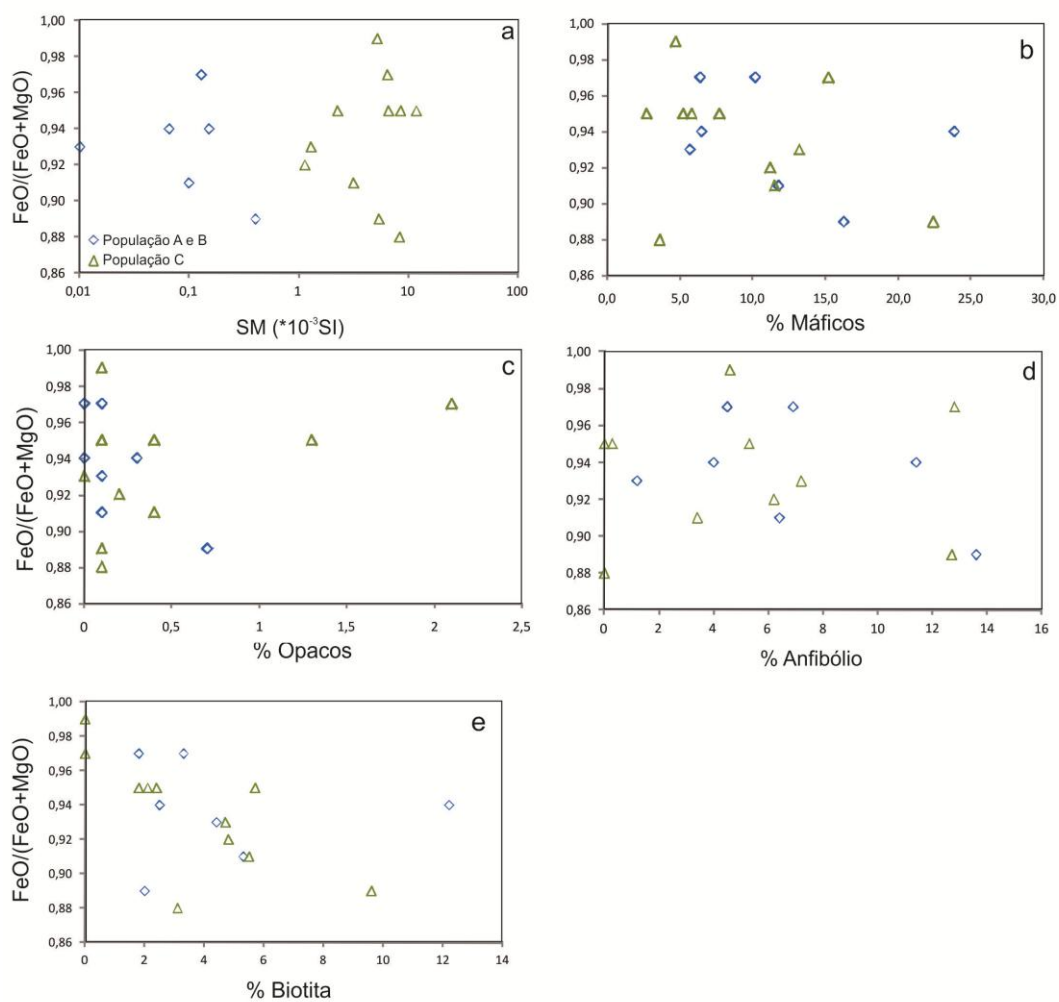
O diagrama opacos versus razão $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ mostra que não há correlação entre eles (Figura 19c). Um quadro muito similar pode ser verificado entre a razão $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ e o conteúdo modal de anfibólio (Figura 17d). Já a biotita mostra tendência a exibir correlação negativa com a razão $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ (Figura 17e), de modo similar ao observado para os máficos.

Tabela 6-Valores de suscetibilidade magnética, proporções modais de minerais selecionados e razão FeOt/(FeO+MgO) em rocha total de amostras representativas das populações da Suíte Planalto.

População	Amostra	Fácies	SM (*10-3)	Qtz	FK	Plg	Hrn	Bt	Opaco	Máficos	FeOt/(FeO+MgO)	
A e B	AMR-162A	BHMzG	0,0102	34,2	24,2	36	1,2	4,4	tr	5,6	0,93	
	AMR-149 ⁽³⁾	HBMzG	0,0662	34,5	21,3	16,6	11,4	12,2	0,3	25,6	0,94	
	AMR-98 ^a	BHLSG	0,0728	41,2	40,8	13,6	2	2,2	tr	4,4		
	ARC-147 ⁽³⁾	BHMzG	0,1000	34,8	21,5	31	6,4	5,3	tr	12,4	0,91	
	AMR-137B	HBSG	0,1211	30,5	29,6	12,2	14	11,6	0,1	27,7		
	AMR-116 ⁽³⁾	BHSG	0,1281	42,5	34,5	16,4	4,5	1,8	tr	6,6	0,97	
	AMR-209 ⁽³⁾	BHMzG	0,1306	32,2	36,6	21	6,9	3,3	0	10,6	0,97	
	AMR-118 H	HBSG	0,1387	29,4	47,4	10,6	7,6	4,8	0,2	12,6		
	ARC-110	HBSG	0,1461	43,2	37,4	7	6,4	5,4	tr	12,6		
	AMR-145 ⁽³⁾	BHSG	0,1526	38,2	40	14,6	4	2,5	0	6,9	0,94	
	AMR-94 ^a	HLMzG	0,2041	32,2	41,6	25	0,8	0	0,2	1,2		
	AMR-117J	HBSG	0,2118	27,8	30,4	19,8	14,8	7	0,2	22,0		
	ARF-24	HBSG	0,2883	19,8	57,9	15,6	4,4	2,2	0,1	6,7		
	AMR-135 ⁽³⁾	BHMzG	0,3237	39,4	31,7	19,1	4,8	4,3	0,2	9,3		
	ARF-20	BHSG	0,331	20,8	49	22,4	3,6	4,2	0	7,8		
	ARC-144 ⁽³⁾	BHMzG	0,4042	24,6	27,9	29,9	13,6	2	0,7	17,5	0,89	
	C	AMR-151B ⁽³⁾	BHMzG	1,0025	37,3	24,9	17,6	11,2	5,6	0,7	19,8	
		AC-4b*	BHSG	1,1401	32,2	38,8	16,3	6,2	4,8	0,2	11,2	0,92
AMR-140*		BHMzG	1,2947	33,8	31,5	21,5	7,2	4,7	0,0	13,2	0,93	
AC-16*		BHSG	1,3757	32,6	42,0	19,9	3,4	1,9	0,1	5,5		
AMR-150		HBLSG	2,0611	23,2	54,6	21,4	0,6	0,2	tr	0,8		
ARF-17 ⁽³⁾		HBLSG	2,2522	37,2	44,2	15,2	0,3	1,8	0,4	2,7	0,95	
AER-82A ⁽³⁾		BHMzG	3,0611	32,2	28,9	18,6	12,3	4,1	0,8	18,5		
ARC-109 ⁽³⁾		HBSG	3,1488	46,7	34,2	7,6	3,4	5,5	0,4	11,5	0,91	
GFMF-0.6		HBSG	4,2358	37,8	33,6	22,6	4,8	1,0	0,2	6,8		
AMR-155A		HBAG	4,7822	32,0	57,0	6,4	1,6	2,6	0,4	4,8		
AMR-177 ⁽²⁾		HLAG	5,2133	42,9	50,0	2,1	4,6	0,0	0,1	4,7	0,99	
AMR-152A ⁽¹⁾		BHMzG	5,4044	33,4	22,5	18,3	12,7	9,6	0,1	22,4	0,89	
AMR-85A ⁽³⁾		HSG	6,4611	30,5	43,4	10,6	12,8	tr	2,1	15,2	0,97	
AMR-171 ⁽³⁾		BSG	6,5933	35,0	42,8	16,3	Tr	5,7	0,1	5,8	0,95	
AC-6A*		BHMzG	6,6605	32,0	36,8	21,3	5,7	3,2	0,3	10,2		
AMR-146 ⁽³⁾		BHMzG	7,1913	30,5	30,0	21,5	8,7	1,5	tr	10,5		
AMR-155B ⁽³⁾		BHMzG	7,8122	39,5	29,6	19,7	5,7	3,6	0,7	11,0		
AMR-137A ⁽³⁾		BHSG	8,5212	35,0	37,2	17,1	5,3	2,4	tr	7,7	0,95	
AER-72A ⁽³⁾		BLMzG	8,2966	33,3	28,6	34,3	0,0	3,1	0,1	3,6	0,88	
ARF-18		BHSG	9,8766	36,2	39,0	12,6	3,0	3,4	tr	6,4		
AMR-154A	HBSG	11,3166	31,4	39,2	18,4	5,2	0,8	0,4	6,7			
ARC-104 ⁽³⁾	BMzG	11,8111	36,6	39,3	18,4	0,0	2,1	1,3	5,2	0,95		
ARC-148	BHMzG	15,7000	36,1	25,6	34,3	1,4	1,8	0,5	4,0			

Fontes dos dados: * Oliveira (2003); (1) Oliveira (2002); (2) Gomes (2003); (3) Feio (2009); demais amostras este trabalho.
Qtz – quartzo; FK = Feldspato potássico; Plg = plagioclásio; Hrn = hornblenda; Bt- Biotita; tr-traço

Figura 17 - Diagramas mostrando a relação entre a razão $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ em rocha total e: a) suscetibilidade magnética; b) minerais máficos; c) total de opacos; d) anfibólio; e) biotita.



7 QUÍMICA MINERAL

Para obter informações sobre as composições químicas dos minerais ferromagnesianos presentes na Suíte Planalto e assim estabelecer uma classificação preliminar para os mesmos, foram realizadas análises semiquantitativas por EDS (Espectroscopia de Raios-X por Dispersão de Energia) em microscópio eletrônico de varredura, em amostras representativas das variedades das rochas estudadas. O tratamento e diagramação dos dados foi realizado com os programas R e GCDKit 3.0.

7.1 ANFIBÓLIO

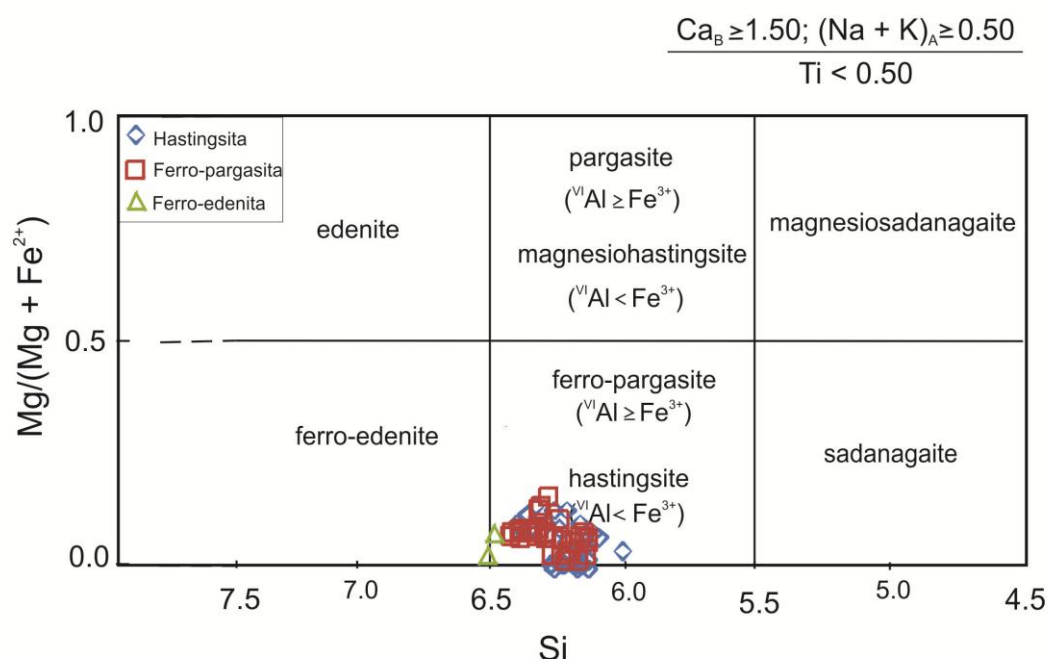
Utilizou-se para a classificação dos anfibólios, o esquema proposto pela *International Mineralogical Association* (IMA; LEAKE et al., 1997 e 2003), e o cálculo das fórmulas estruturais foi feito com base em 13CNK (Anexo I). Para o estudo de química mineral semiquantitativa de anfibólio foram realizadas 73 pontos de análise em oito amostras (AMR-116, ARC-144, AMR-209, AMR-152, AMR-177, ARC-109, AMR-137A, AMR-85A) utilizando microscopia eletrônica de varredura.

De acordo com a classificação de Leake et al., op.cit, os anfibólios analisados são cálcicos, pois atendem a regra $(Ca + Na)_B \geq 1.00$ e $Na_B < 0.50$. Estes autores subdividem os anfibólios cálcicos com base em suas composições usando os parâmetros: (1) $Ca_B \geq 1,50$; $(Na + K)_A \geq 0,50$ e (2) $Ca_B \geq 1,50$; $(Na + K)_A \leq 0,50$. Todos os 76 pontos analisados apresentam $Ca_B \geq 1,50$ e $(Na + K)_A \geq 0,50$ e se enquadram, portanto, no primeiro grupo. Nenhum anfibólio analisado apresenta $Ti > 0,5$ e não são, portanto, do grupo das kaersutitas. Finalmente, como a quase totalidade dos anfibólios analisados possui Si entre 5,5 e 6,5, foi preciso levar em conta a dominância de Al^{VI} ou Fe^{+3} no sítio octaédrico para classificar o anfibólio como hastingsita ou ferro-pargasita (Anexo I; Figura. 18).

Assim, as composições foram plotadas no diagrama binário de classificação que utiliza os parâmetros $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ versus Si e mostra que a composição deste mineral oscila entre hastingsita e ferro-pargasita, pois apresenta razão $^{IV}Al < Fe^{+3}$ muito variável (Anexo I; Figura 18). Essas duas variedades de anfibólio ocorrem em proporções praticamente idênticas. Além

disso, há raras variações para ferro-edenita em análises isoladas das amostras AMR-116 e AMR-109 (Figura 18). São anfibólios com razão $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ extremamente baixa, variando de 0,001 a 0,364 (Anexo I).

Figura 18 - Diagrama de classificação de anfibólios dos granitos da Suíte Planalto.



Fonte: Leake et al. (1997).

7.2 BIOTITA

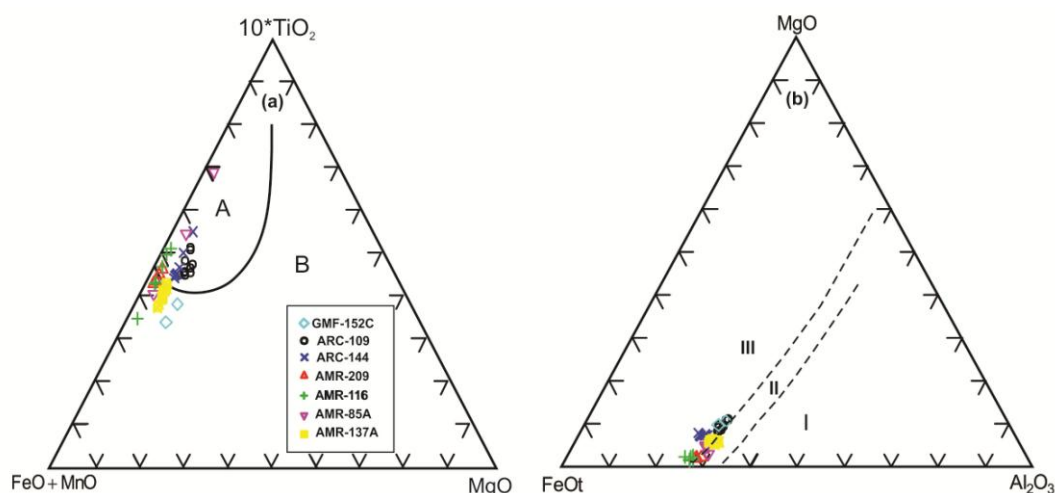
As composições químicas semiquantitativas de biotitas da Suíte Planalto são apresentadas em tabelas no Anexo II. Foram feitas 48 análises pontuais em biotita de sete amostras representativas das diferentes variedades petrográficas da Suíte Planalto (ARC-144, AMR-209, AMR-116, ARC-109, GFM-152C, AMR-85A e AMR-137A). No diagrama ternário $(FeO_t+MnO)-(10 \cdot TiO_2)-MgO$, com campos de Nachit (1994), as composições químicas da biotita incidiram no campo das biotitas magmáticas primárias variando para biotitas magmáticas reequilibradas (Figura 19a). Já no diagrama $FeO_t-MgO-Al_2O_3$ apresentam composição predominantemente de biotitas associadas a hornblenda, piroxênio e/ou olivina, porém no limite com o campo das biotitas que não acompanham outras fases máficas (Figura 19b; campos de NOCKOLDS,1947). Isso é

consistente com a associação de biotita e anfibólio comumente observada na Suíte Planalto.

Adicionalmente, no diagrama Alt x Mg (NACHIT et al., 1985), as biotitas da Suíte Planalto se situam no campo das rochas alcalinas (Figura 20a) e mostram igualmente afinidade com micas de granitos anorogênicos ou de tipo A (Figura 20b, ABDEL RAHMAN, 1994). Tais diagramas são consistentes com o caráter ferroso e a afinidade com granitos tipo A da Suíte Planalto (FEIO et al., 2012).

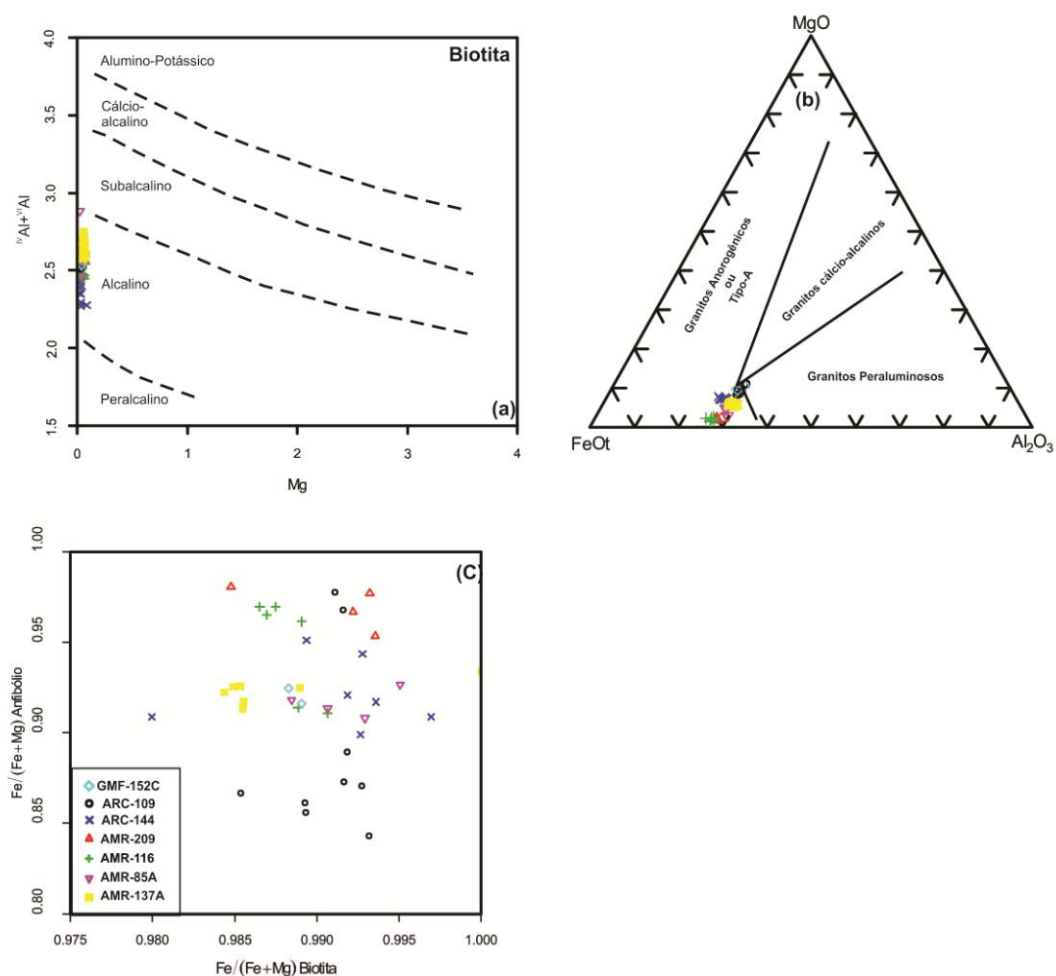
Segundo Lamarão et al. (2004), a razão $Fe/(Fe+Mg)$ é um dos parâmetros utilizados para avaliar a relação geoquímica existente entre anfibólios e biotitas, ou seja, seu grau de equilíbrio. Para avaliar essa questão, foi construído diagrama confrontando as razões $Fe/(Fe+Mg)$ de anfibólio e biotita da Suíte Planalto (Figura 20c). Percebe-se que ambos minerais apresentam valores muito elevados dessa razão, porém não há uma correlação positiva entre eles. Os valores obtidos em biotita são muito próximos da unidade e ligeiramente superiores aos do anfibólio, podendo ser interpretados como indicativos de que a formação da biotita se deu posteriormente a cristalização do anfibólio.

Figura 19 - Variações composicionais das biotitas dos granitos da Suíte Planalto: (a) Diagrama $(FeO+MnO)-(10*TiO_2)-MgO$ mostrando a distribuição das composições químicas das biotitas analisadas. A: campo das biotitas magmáticas primárias; B: campo das biotitas magmáticas reequilibradas; (b) Diagrama $FeO-MgO-Al_2O_3$ mostrando as composições de biotitas em diferentes associações minerais. Campos: I - biotita associada a muscovita, topázio, fluorita etc; II - biotitas que não acompanha outras fases máficas; III - biotita associada a hornblenda, piroxênio e/ou olivina.



Fonte: Nachit (1994); Nockolds (1947).

Figura 20 - a) Diagrama Alt x Mg para as biotitas; b) Diagrama MgO-FeO-Al₂O₃ de classificação de biotitas; c) Diagrama comparativo entre razões Fe/(Fe+Mg) de anfibólios e biotitas da Suíte Planalto.



Fonte: Nachit et al. (1985); Abdel Rahman (1994).

7.3 ZIRCÃO

7.3.1 Razões Zr/Hf em cristais de zircão da Suíte Planalto

Os elementos Zr e Hf apresentam raios iônicos e cargas elétricas similares. Como grande parte do Zr e Hf de rochas graníticas residem no zircão, a razão Zr/Hf deste mineral tem sido considerada como próxima daquela do magma original (OWEN, 1987) e também pode ser usada como guia útil na avaliação preliminar do potencial metalogenético de corpos mineralizados em Sn, W, Mo,

Ta, Li e ETR (KEMPE et al., 2004; LAMARÃO et al., 2007, 2010; WANG et al., 2000).

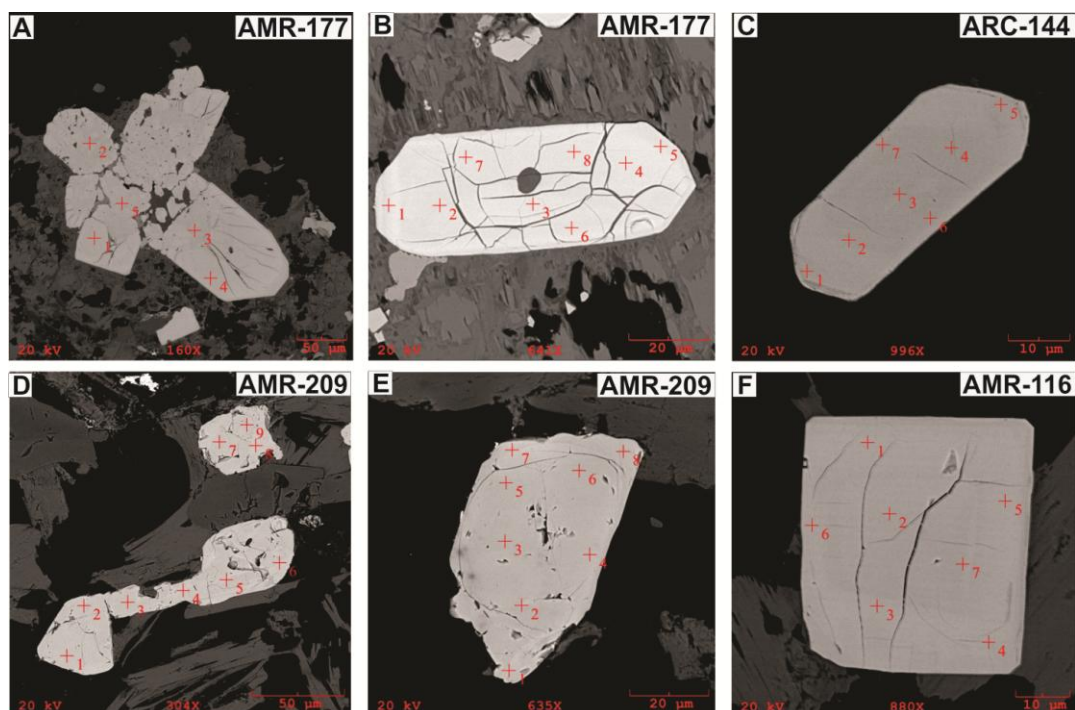
Além disso, o zircão pode ser utilizado como traçador geoquímico, sendo útil na identificação da natureza da fonte e ambiente de cristalização, na caracterização de processos de fracionamento magmático e em estudos de proveniência de zircões detríticos (BELOUSOVA e GRIFFIN 2002; HEAMAN et al., 1990; HOSKIN & IRELAND; 2000; PUPIN, 2000; UHER et al., 1998; WANG et al., 2000).

Lamarão et al., op.cit realizaram estudos em zircões de granitos tipo-A paleoproterozóicos da Província Carajás e os dividiram em dois grandes grupos: (1) granitos especializados que possuem zircões com enriquecimento significativo em Hf, Y, Th, U e Ca e baixas razões Zr/Hf, os quais correspondem aos granitos das suítes Velho Guilherme e Serra dos Carajás, com caráter magnético de granito reduzido; (2) granitos não-especializados, da Suíte Jamon, com altas razões Zr/Hf e que apresentam comportamento magnético de granito oxidado.

Como o Granito Planalto apresentou valores extremamente elevados da razão $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ em rocha total, anfibólio e biotita (maior que 0,9), aliado aos seus baixos valores de suscetibilidade magnética, típicos de granitos reduzidos, e sua afinidade geoquímica com granitos tipo A, foram efetuadas 89 análises pontuais em zircão de seis amostras (AMR-177, ARC-144, AMR-209, AMR-116, AMR-85A e AMR-137A, Anexo III) afim de avaliar se os zircões da Suíte Planalto apresentam comportamento de granitos especializados ou não-especializados. Ishihara (1981) associa granitos ferrosos com afinidade tipo-A e de caráter reduzido à série ilmenita, com potencial para mineralizações de Sn, W, Mo e ETR (DALL'AGNOL et al., 2012; ISHIHARA, 1981).

Morfologicamente os zircões do Granito Planalto são alongados (2:1), euédricos, prismáticos, translúcidos a transparentes e zonados (Figura 21). Um total de 89 análises realizadas tanto nas bordas quanto no centro dos cristais, mostram que os teores médios de Hf dos zircões analisados em cada amostra variam de 0,82 a 2,85%, com média de 1,95% e as razões Zr/Hf de 27,8 a 37,5, com média de 30,33 (Tab 7).

Figura 21 - Cristais de zircão de quatro amostras da Suíte Planalto, exibindo similaridade em hábito. Os pontos em vermelho são os locais analisados por EDS.



Fonte: Da autora.

Tabela 7-Composições elementares médias de zircões dos granitos da Suíte Planalto estudados obtidos por EDS (% em peso).

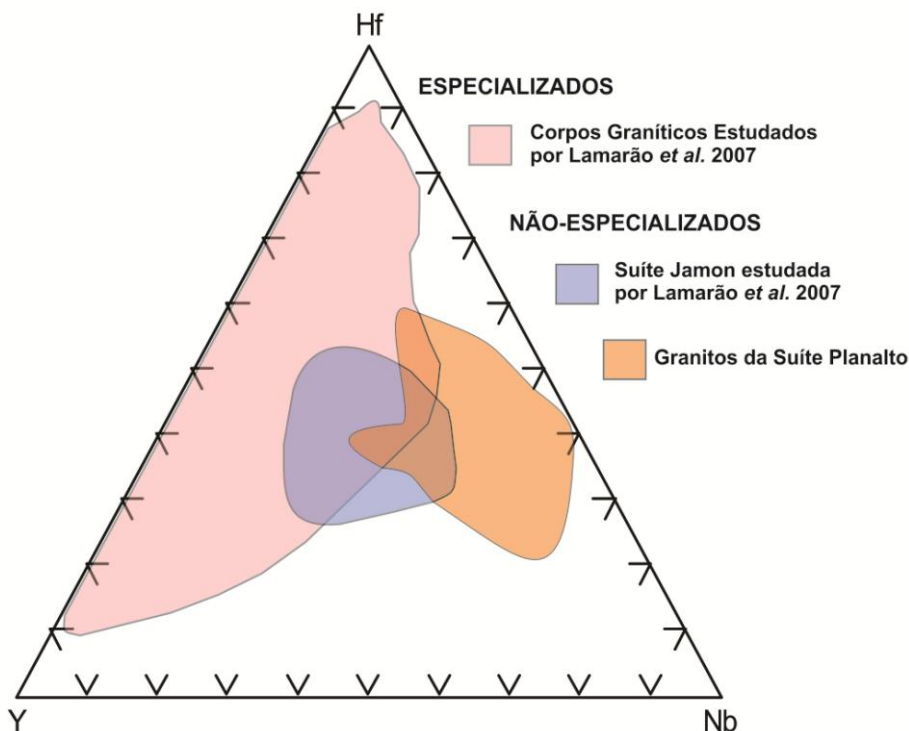
Lâminas / N° de análises	FÁCIES	Zr/Hf	Y+Hf+Th+U	Hf	Y	Th	U	Ca	Nb
AMR-177 (21)	HLAG	30,4	3,3	1,9	1,1	0,2	0,2	0,3	1,52
ARC-144 (15)	BHMzG	29,3	3,2	2,1	0,7	0,2	0,2	0,2	1,73
AMR-209 (17)	BHMzG	29,1	3,2	2,1	0,7	0,2	0,2	0,1	1,75
AMR-116 (7)	BHSG	27,8	3,3	2,1	0,8	0,2	0,1	0,2	1,58
AMR-85A (14)	HSG	37,5	2,2	1,5	0,4	0,1	0,2	0,1	2,31
AMR-137A (16)	BHSG	27,9	2,8	2	0,5	0,1	0,2	0,1	2,21

No diagrama triangular Hf-Y-Nb (Figura 22), os zircões da Suíte Planalto, devido aos seus baixos conteúdos de Y, plotam na porção centro-direita do diagrama, definindo um *trend* paralelo à aresta Hf-Nb. Além disso, como apresentam teores relativamente baixos de Hf possuem elevadas razões Zr/Hf, além de baixas concentrações de U, Th, Y e Ca (Figura 23).

Estas rochas quando comparadas com os granitos tipo A paleoproterozóicos estudados por Lamarão et al. (2007), mostram características similares aos granitos Tipo-A não-especializados da Província Carajás. Portanto,

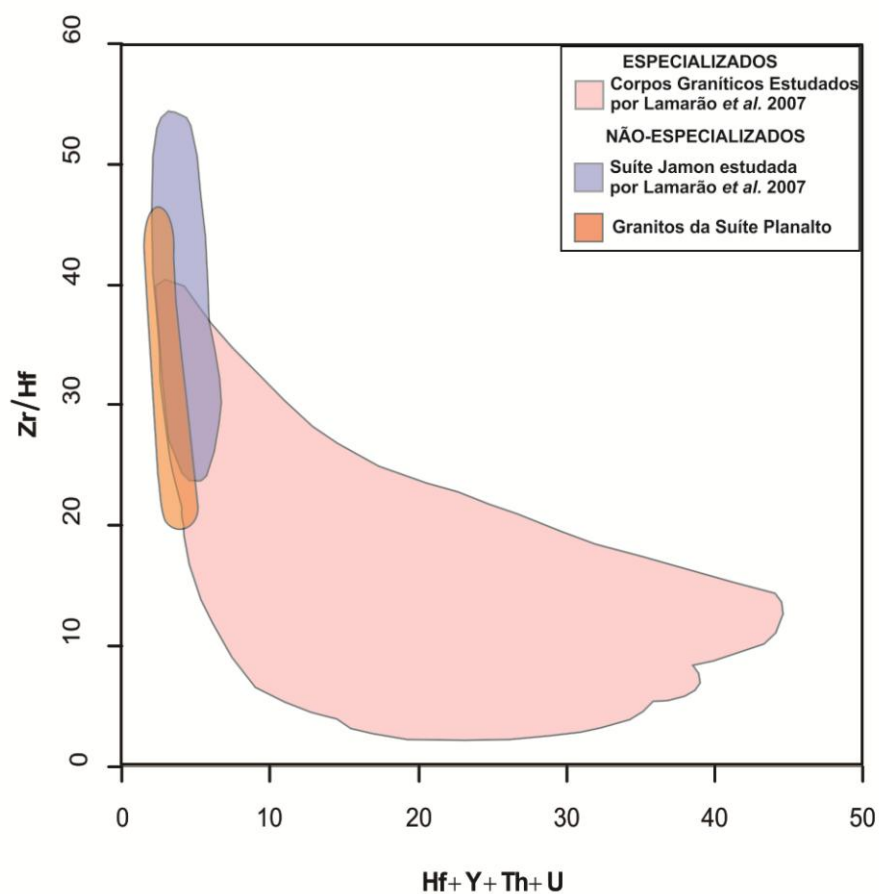
embora o Granito Planalto apresente características geoquímicas de granito tipo-A reduzido, os quais possuem em tese maior potencial para gerar mineralizações de Sn, a razão Zr/Hf em zircão e outras informações obtidas na composição deste mineral mostram que os granitos da Suíte Planalto não são efetivamente favoráveis para gerar este tipo de mineralização, o que é comprovado indiretamente pela ausência de mineralizações de estanho e metais associados nos diferentes corpos da suíte.

Figura 22 - Diagrama Hf-Y-Nb (% em peso) mostrando os campos de variações composicionais dos zircões dos granitos estudados, comparados com os granitos estudados por Lamarão et al. (2007).



Fonte: Lamarão et al. (2007).

Figura 23 - Diagrama Zr/Hf vs Hf+Y+Th+U mostrando os campos de variações composicionais dos zircões dos granitos deste estudo, comparados com os granitos estudados por Lamarão et al. (2007).

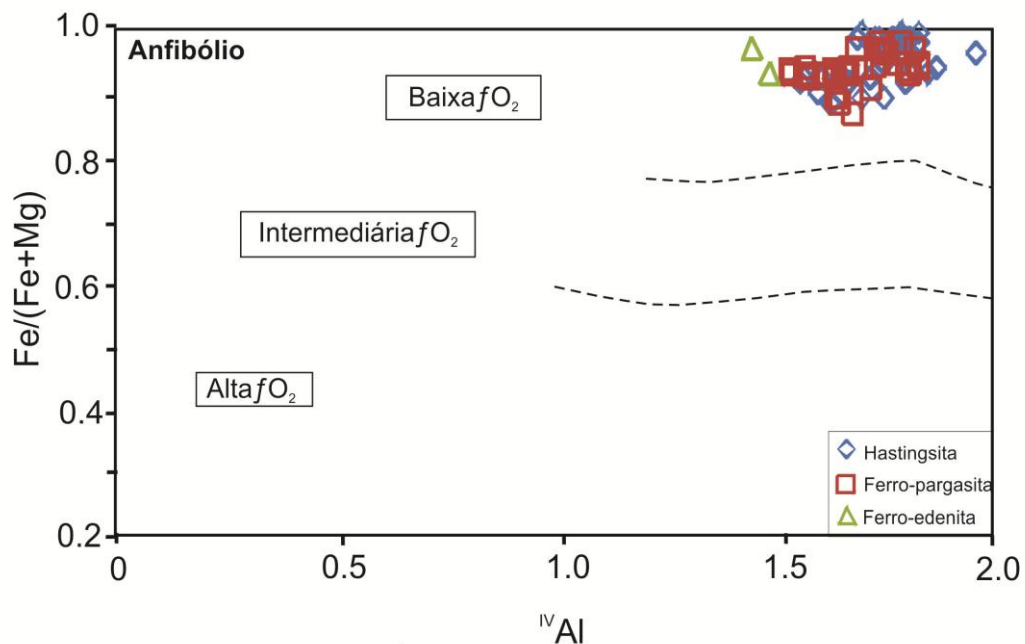


Fonte: Lamarão et al. (2007).

8 ESTIMATIVA DAS CONDIÇÕES DE FUGACIDADE DE OXIGÊNIO DURANTE A CRISTALIZAÇÃO DA SUÍTE PLANALTO

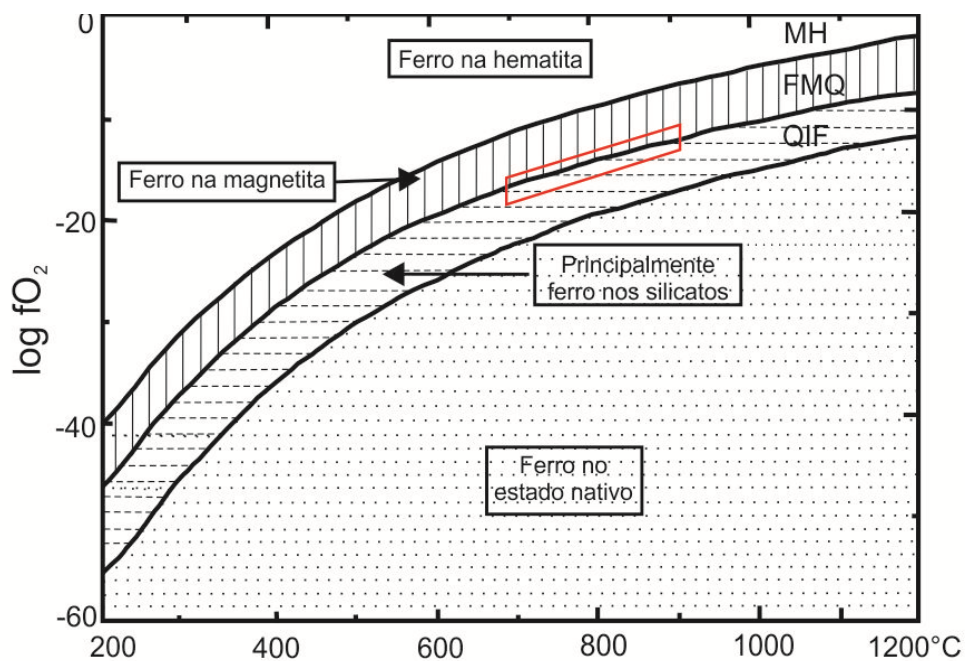
Os dados de SM, as análises químicas semiquantitativas de minerais máficos, assim como as características dos minerais óxidos de Fe e Ti permitem que se abra uma discussão sobre as condições de fugacidade de oxigênio reinantes durante a cristalização da Suíte Planalto (Figura 24). As estimativas já existentes na literatura (FEIO et al., 2012) indicam que a maior parte senão a totalidade dos granitos da suíte teriam se formado em condições redutoras. Efetivamente, as características mostradas pelas rochas do Grupo 1 (populações A e B) são consistentes com o caráter redutor dominante na Suíte Planalto. Isso é corroborado por suas altas razões $FeO_t/(FeO_t + MgO)$, ausência de magnetita como fase expressiva e dominância de ilmenita. Por outro lado, a presença de magnetita primária na população C de mais alta SM juntamente com a ilmenita, pode ser interpretada como indicativa de caráter moderadamente oxidado para esta população. Porém, a formação de magnetita em ambiente redutor poderia ser explicada se admitirmos que a Suíte Planalto cristalizou entre 900°C e 700°C (FEIO et al., op.cit), tendo a sua cristalização se dado em torno das condições do tampão FMQ, podendo oscilar entre condições ligeiramente acima ou abaixo do referido tampão (Figura 25). Assim, quando o processo de formação se dá no tampão FMQ ou ligeiramente acima, as condições fazem com que a magnetita torne-se estável, apesar de as condições se manterem globalmente redutoras. Por sua vez, as rochas das populações A e B teriam cristalizado em condições de fugacidade de oxigênio ligeiramente mais redutoras, pouco abaixo do tampão FMQ e, portanto, no domínio de estabilidade da ilmenita. Como pode ser observado na figura 25, pequenas variações de fugacidade de oxigênio poderiam deslocar o campo de estabilidade para o domínio da magnetita ou da ilmenita, sem que isso implique variações muito acentuadas de fugacidade de oxigênio.

Figura 25- Diagrama de classificação de anfibólios, baseado na razão $Fe/(Fe+Mg)$ vs Al^{IV} mostrando as possíveis condições de fugacidade de oxigênio durante a cristalização dos Granitos da Suíte Planalto.



Fonte: Anderson e Smith (1995)

Figura 24 - Diagrama exibindo as curvas dos principais tampões de estabilidade das diferentes fases de Fe, em função de seus vários estados de oxidação no sistema Fe-Si-O. Em vermelho possível intervalo de temperatura de formação dos granitos da Suíte Planalto em condições em torno do tampão FMQ.



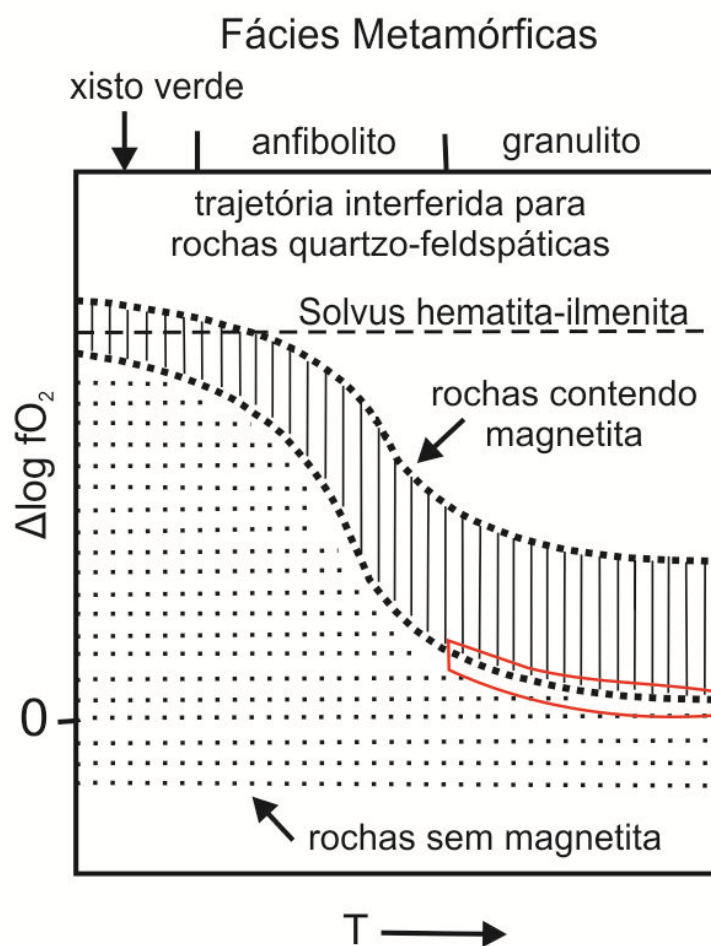
Fonte: Frost (1991).

Alternativamente, se levarmos em consideração que o Granito Planalto foi formado sintectonicamente, pode-se considerar que tanto processos ígneos quanto metamórficos podem ter sido responsáveis pela sua formação. Assim sendo, a formação da magnetita em um ambiente redutor também pode ser explicada por meio do gráfico de Frost (1991), que mostra a trajetória seguida por rochas com composição quartzo-feldspática durante o metamorfismo, utilizando no gráfico, temperatura e fugacidade de oxigênio como variáveis (Figura 26).

Este autor sugere que, com o aumento da temperatura os granitóides com magnetita tenderão a seguir o *trend* governado pela desidratação de biotita (+ilmenita) para magnetita + K-feldspato. Neste caso, a fugacidade de oxigênio será controlada por reações metamórficas entre os minerais formados.

No início da fácies granulito, há uma diminuição relativa da fugacidade de oxigênio e aumento da temperatura, que resulta no deslocamento do *trend* para baixo da linha do *solvus* hematita-ilmenita, permitindo assim, a formação da magnetita a menores fugacidades de oxigênio. Portanto, em tese, a formação de magnetita em ambiente redutor poderia se dar próximo ou no tampão FMQ, independente da atuação de processos ígneos ou metamórficos.

Figura 26 - Diagrama com a trajetória seguida por gnaisses quartzo-feldspáticos durante o metamorfismo. Áreas tracejadas, rochas contendo magnetita; área pontilhada não contém magnetita (mas provavelmente contém ilmenita). Destaque para o possível campo de formação dos granitos da Suíte Planalto.



Fonte: Frost (1991).

9 COMPARAÇÃO ENTRE A SUÍTE PLANALTO E O COMPLEXO GRANÍTICO ESTRELA

A região de Canaã dos Carajás se encontra no Subdomínio de Transição entre o Domínio Rio Maria e a Bacia Carajás. Segundo Barros et al. (2009), ocorreu nesta região entre 2,74 e 2,76 Ga um magmatismo subalcalino responsável pela formação do Complexo Granítico Estrela, Granito Serra do Rabo, Granito Igarapé Gelado e Suíte Planalto (FEIO et al., 2012), tornando-se importante uma comparação entre os mesmos. Como só existem dados de química mineral na literatura sobre as rochas do Complexo Estrela, este último, descrito por Barros et al. (1997, 2009) será comparado com a Suíte Planalto neste trabalho.

9.1 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

Os dados de SM dos granitos da Suíte Planalto na região de Canaã dos Carajás mostram uma ampla distribuição dos valores de SM (Tabela 8). Quando comparados com os corpos graníticos de Vila Jussara e do Complexo Granítico Estrela e Serra do Rabo os dados de SM se superpõem no intervalo entre 1×10^{-4} e 1×10^{-3} . Entretanto, a Suíte Planalto de Canaã dos Carajás apresenta algumas amostras com valores muito baixos de SM e em torno de 1×10^{-5} . Além disso, tanto o Granito Planalto, quanto os granitos de Vila Jussara e do Complexo Granítico Estrela forneceram SM elevada na ordem de 1×10^{-2} , diferentemente do granito Serra do Rabo que forneceu valores de SM restritos ao intervalo de 10^{-4} e 10^{-3} .

Tabela 8-Dados de suscetibilidade magnética dos Granitos da Suíte Planalto, Vila Jussara, Estrela e Serra do Rabo.

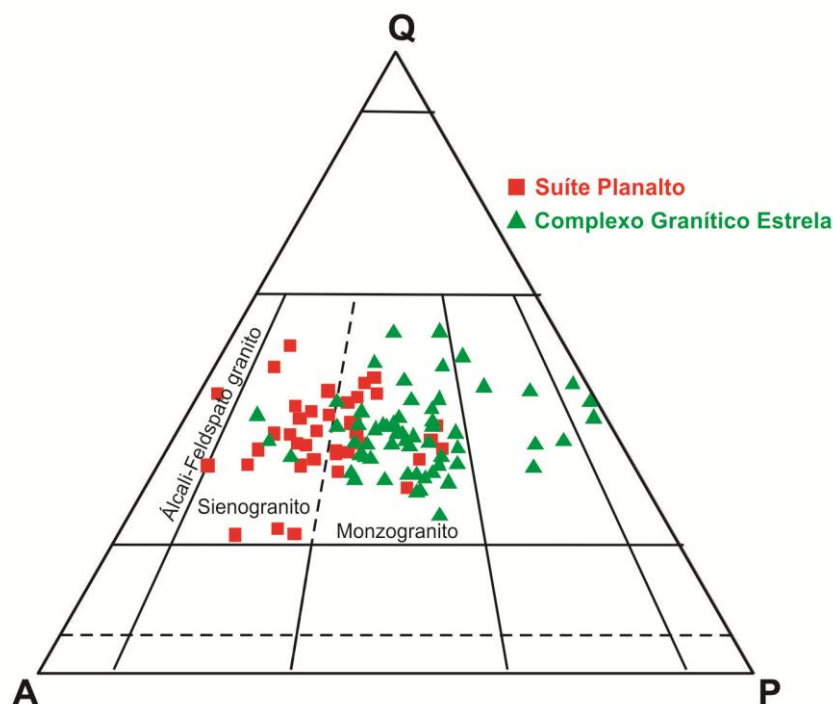
Características	Intervalo de SM (SI)	Média de SM	Equipamento
Suíte Planalto de Canaã dos Carajás	$0,0102 \times 10^{-3}$ a $15,700 \times 10^{-3}$	$2,6990 \times 10^{-3}$	SM-30
Granitos de Vila Jussara ⁽¹⁾	$0,1610 \times 10^{-3}$ a $14,6600 \times 10^{-3}$	$3,7403 \times 10^{-3}$	SM-30
Complexo Granítico Estrela ⁽²⁾	$0,4518 \times 10^{-3}$ a $39,1910 \times 10^{-3}$	$5,2962 \times 10^{-3}$	SI-1
Granito Serra do Rabo ⁽³⁾	$0,1117 \times 10^{-3}$ a $2,3205 \times 10^{-3}$	$0,7567 \times 10^{-3}$	SI-1

⁽¹⁾ Silva & Oliveira (2010); ⁽²⁾ Ferreira (2002); ⁽³⁾ Sardinha (2002)

9.2 PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL DE ANFIBÓLIO

Petrograficamente, o Complexo Granítico Estrela consiste em rochas leucocráticas, rosadas a cinza esbranquiçadas, de granulação fina a média, localmente porfíricas, com foliação penetrativa e deformação moderada a forte (BARROS, 1997). As rochas de composição monzogranítica predominam amplamente sobre as de composição sienogranítica, granodiorítica e tonalíticas. Enquanto que na Suíte Planalto as rochas são rosa a avermelhadas, leucocráticas, de granulação média a grossa com fenocristais de feldspato alcalino dispostos em uma matriz fina. Ela é constituída predominantemente por monzogranitos e sienogranitos e, subordinadamente, por álcali-feldspato granitos. Em diagrama Q-A-P (STRECKEISEN, 1976), as rochas do Complexo Granítico Estrela parecem menos evoluídas que as da Suíte Planalto (figura 27), porém este contraste desaparece se for considerado também o Granito Serra do Rabo (não representado na Figura 27), que é formado essencialmente por sienogranitos e álcali-feldspato granitos (SARDINHA et al., 2006).

Figura 27 - Diagrama Q-A-P comparando as distribuições das variedades petrográficas da Suíte Planalto e do Complexo Granítico Estrela.

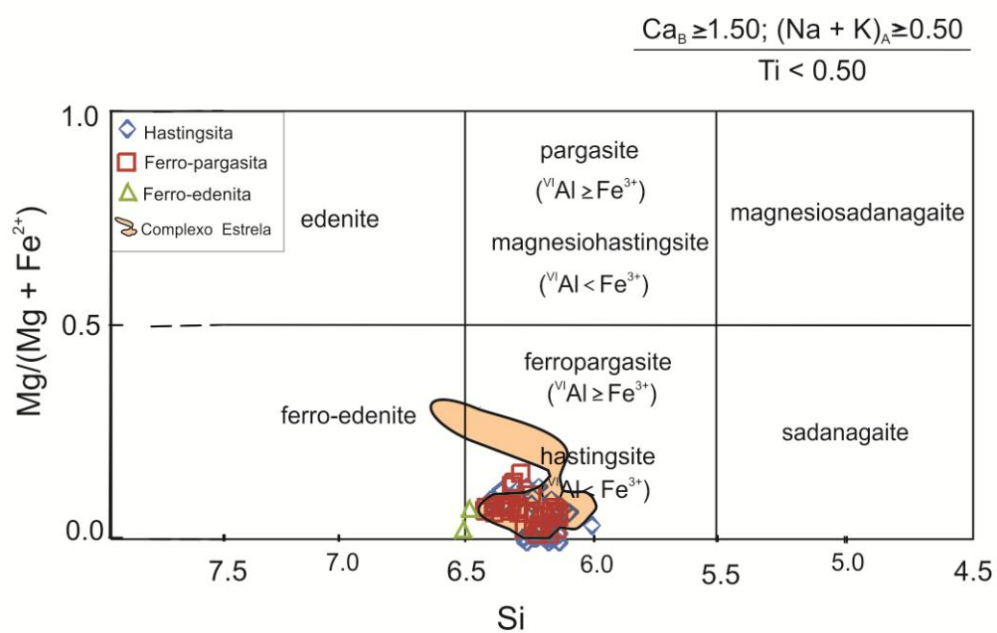


Fonte: Streckeisen (1976).

No Complexo Granítico Estrela, o anfibólio consiste predominantemente em ferropargasita com variações para hastingsita com razão $Mg/(Mg+Fe)$ entre 0,02-0,30 (Figura 28; tabela 11 e 12 em anexo). A composição do Plagioclásio varia de An_{11-23} nas várias fácies, mas andesina cálcica (An_{45-47}) foi observada em clinopiroxênio-anfibólio-monzogranito. Além disso, a ilmenita é o óxido mais comum, sendo localmente substituído por titanita, formando finas coroas ao redor dos grãos. Magnetita primária ocorre em menor quantidade, sendo interpretada como produto de desestabilização de minerais máficos primários. Outros minerais acessórios são representados por zircão, allanita e apatita; ocorrem como cristais eudrais geralmente inclusos nas fases ferromagnesianas ou no plagioclásio (BARROS et al. 2009).

Na Suíte Planalto, os anfibólios são igualmente hastingsita e ferro-pargasita com raras variações para ferro-edenita e a razão $Mg/(Mg+Fe)$ varia de 0,001 a 0,36. O plagioclásio variou de An_{17-25} e os fenocristais de microclínio das diferentes fácies apresentam localmente, textura *chess board*, além de microfraturas preenchidas por quartzo e microclínio recristalizado. As rochas desta suíte também apresentam ilmenita como óxido de Fe e Ti dominante. Entretanto, a magnetita também ocorre na população C sendo encontrada em veios, associada ao anfibólio e, mais raramente, com a ilmenita formando a textura ilmenita *composite*. Os minerais acessórios e as suas formas de ocorrência são semelhantes aos citados anteriormente no Complexo Granítico Estrela. Há, portanto, fortes analogias entre esses dois granitos.

Figura 28 - Diagrama de classificação de anfibólios, para os granitos da Suíte Planalto e Complexo Granítico Estrela (campo laranja).

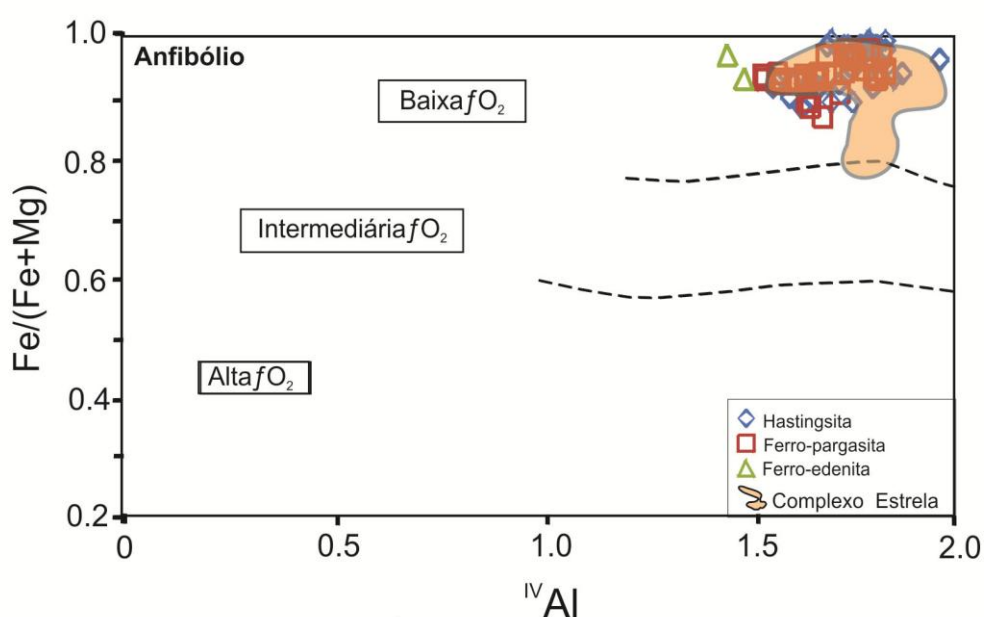


Fonte: Leake et al. (1997).

9.3 FUGACIDADE DE OXIGÊNIO

A Suíte Planalto e o Complexo Granítico Estrela foram cristalizados sob condições de baixa fugacidade de oxigênio, pois seus anfibólios apresentam razão $Fe/(Fe+Mg)$ superior a 0,8, típica de granitos reduzidos (Figura 29), conforme definido por Anderson & Smith (1995).

Figura 29 - Diagrama de classificação de anfibólios, baseado na razão $Fe/(Fe+Mg)$ vs Al^{IV} mostrando as possíveis condições de fugacidade de oxigênio durante a cristalização dos Granitos da Suíte Planalto.



Fonte: Anderson & Smith, 1995

9.4 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE BIOTITA

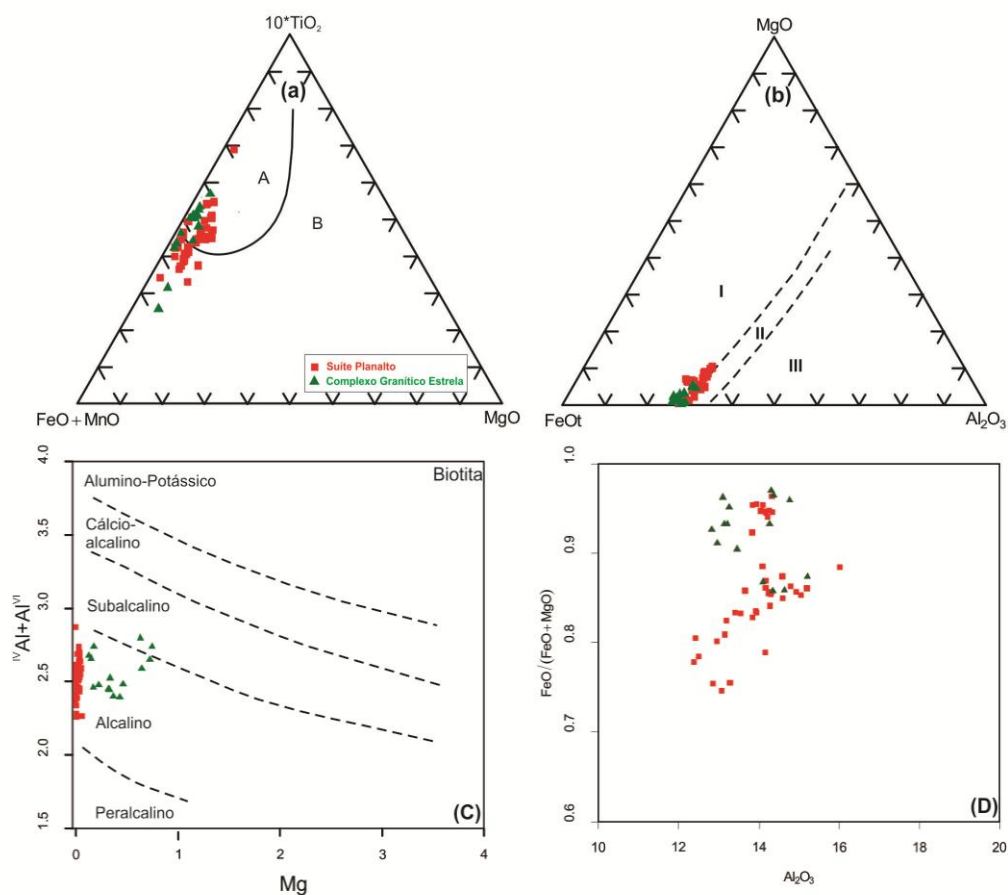
As biotitas do Granito Planalto e as biotitas do Complexo Granítico Estrela se situam no diagrama ternário $(FeO+MnO)-(10 \cdot TiO_2)-MgO$ (Figura 30a; campos de Nachit, 1994) no campo de biotitas magmáticas primárias variando para biotitas magmáticas reequilibradas e apresentam composição de biotitas associadas a hornblenda, piroxênio e/ou olivina. (Figura 30b; campos de NOCKOLDS, 1947).

Além disso, as biotitas da Suíte Planalto se distribuem pelo campo das rochas alcalinas, enquanto às pertencentes ao Complexo Granítico Estrela são

predominantemente alcalinas variando para subalcalinas, em função de maior variação do conteúdo de magnésio (Figura 30c, NACHIT, 1985).

As razões $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ da biotita de ambos os granitos são elevadas e superiores a 0,8. No diagrama $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ vs Al_2O_3 (Figura 30d) as amostras do Granito Planalto e do Complexo Granítico Estrela se sobrepõem, entretanto o Granito Planalto apresenta uma maior variação da razão $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$.

Figura 30 - Comparação entre as biotitas, da Suíte Planalto (vermelho) e do Complexo Granítico Estrela (verde). (a) Diagrama $(\text{FeO}+\text{MnO})-(10*\text{TiO}_2)\text{-MgO}$. A: campo das biotitas magmáticas primárias; B: campo das biotitas magmáticas reequilibradas; (b) Diagrama $\text{FeO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ mostrando as composições das biotitas em diferentes associações minerais. Campos: I - biotita associada à muscovita, topázio, fluorita etc; II - biotitas que não acompanha outras fases máficas; III - biotita associada à hornblenda, piroxênio e/ou olivina; (c) $\text{Al}_t \times \text{Mg}$; (d) Diagrama $\text{FeO}_t/(\text{FeO}_t+\text{MgO})$ vs Al_2O_3 .



Fonte: Nachit (1994) e (1985); Nockolds (1947);

10 CONCLUSÕES

O estudo de petrologia magnética revelou que os granitos da Suíte Planalto apresentam dois grupos com características distintas em termos de SM: O grupo 1 abrange 52,7% das amostras correspondentes aos mais baixos valores de SM, situados entre $0,0102 \times 10^{-3}$ a $0,6247 \times 10^{-3}$ SI com valor médio de $0,1522 \times 10^{-3}$ SI. O grupo 2, composto por 47,3% das amostras, apresenta valores de SM localizados no intervalo $0,8036 \times 10^{-3}$ a $15,700 \times 10^{-3}$ SI com média de $5,1717 \times 10^{-3}$ SI. A ilmenita é o opaco dominante na Suíte Planalto, presente tanto no grupo de mais baixa SM, como no de mais alta SM, ocorrendo neste último caso associada com magnetita o que faz com que seus valores de SM sejam relativamente mais elevados. Parte da magnetita é comprovadamente secundária, pois ocorre preenchendo veios, mas há cristais de magnetita primária associada com anfibólio.

Os dados de SM integrados com as características dos minerais óxidos de Fe e Ti e as composições de anfibólio e biotita, permitiram concluir que a formação da Suíte Planalto se deu em condições de baixa fugacidade de oxigênio em temperaturas estimadas entre 900°C e 700°C . Independente se as rochas atuais registram apenas a atuação de processos ígneos ou também de superposições metamórficas, a sua formação se deu em condições muito próximas às do tampão FMQ, porém variáveis, possibilitando assim, a formação apenas de ilmenita (abaixo de FMQ) ou também de magnetita (sobre ou ligeiramente acima de FMQ) em ambiente redutor.

Os anfibólios da Suíte Planalto apresentam predominantemente composição de hastingsita e ferro-pargasita com raras variações para ferro-edenita e apresentam razão $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{+2})$ muito baixa. Já as biotitas possuem composições próximas de annita e foram classificadas como biotitas magmáticas primárias variando para biotitas magmáticas reequilibradas, associadas à hornblenda. A composição química dessas biotitas é compatível com as biotitas de rochas alcalinas, formadas em ambientes anorogênicos.

Os zircões da Suíte Planalto possuem altas razões Zr/Hf (~ 30), típicas de granitos não-especializados em estanho e metais associados. Ou seja, embora apresentem características geoquímicas de granito tipo-A reduzido, não

apresentam características geoquímicas favoráveis para gerar mineralizações de Sn, W, Mo, Ta, Li e ETR.

A comparação feita entre o Complexo Granítico Estrela e a Suíte Planalto mostra que ambos cristalizaram sob condições de baixa fO_2 , e apresentam baixos valores de Al_2O_3 , alta razão $FeO_t/(FeO_t+MgO)$ tanto em rocha total, quanto em minerais. Ambos são granitos ferrosos e com características tipo-A reduzidos. Os dados geocronológicos revelam que estão relacionados ao grande evento magmático formador de granitos subalcalinos durante o Neoarqueano no Domínio Carajás.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHMAN, A.M. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *J. Petrol.* n. 35, p. 525-541. 1994.
- ALMEIDA, J.A.C.; DALL'AGNOL, R.; DIAS, S.B.; ALTHOFF, F.J. Origin of the archean leucogranodiorite-granite suites: evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatismo in the archean. *Lithos*, n.120,p. 235-257. 2010.
- ALMEIDA, J.A.C.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M.A.; MACAMBIRA, M.J.B.; PIMENTEL, M.M.; RÄMÖ, O.T.; GUIMARÃES, F.V.; LEITE, A.A.S. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*, (submitted.), v. 187, p. 201-221. 2011.
- ALTHOFF, F.J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A.M. 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. 2000.
- ANDERSON, J.L.; BENDER, B. Nature and origin of proterozoic A-type granitic magmatism in the southwestern United States of America. *Lithos*, n.23, p.19 – 52. 1989.
- ANDERSON, J.L.; SMITH, D.R. The Effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer. *Am. Mineral.*, n.80: 549- 559. 1995.
- ARAÚJO, O.J.B.; MAIA, R.G.N.; JORGE JOÃO, X.S.; COSTA, J.B.S. A Megaestrutura arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7, 1988, Belém. *Anais... Belém: SBG*, p.324-338. 1988.
- AVELAR, V.G. *Geocronologia Pb-Pb por evaporação em monocristal de zircão, do magmatismo da região de Tucumã, SE do Estado do Pará, Amazônia oriental*. 1996. 199 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1996.
- BARROS, C.E.M; DALL'AGNOL, R.; BARBEY, P.; BOULLIER, A.M. Geochemistry of the estrela granite complex, Carajás region, Brazil: an example of an Archean A-type granitoid. *Journal of South American Earth Sciences.*, n.10(3-4), p. 321-330. 1997.
- BARROS, C.E.M.; SARDINHA, A.S.; BARBOSA, J.P.O.; MACAMBIRA M.J.B. 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* n.47, p.1423-1440. 2009.
- BELOUSOVA E.A.; GRIFFIN W.L. 2002. Igneous zircon: Trace element composition as an indicator of source rock type. *Contrib. Mineral. Petrol.*, n.143, p.602 - 622.

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

CUNHA, I.R.V. Petrologia magnética dos granitos da Suíte Planalto região de Canaã dos Carajás, Província Carajás. Belém In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XXI., 2011. Belém. *Anais...* Belém. Universidade Federal do Pará; Instituto de Geociências, Belém. p.1-26.

CUNHA, I.R.V.; FEIO, G.R.L.; DALL'AGNOL, R. Química mineral de anfibólio e biotita dos granitos da Suíte Planalto de CANAÃ dos Carajás, Província Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., 2012, Santos. *Anais...* Santos: SBG, 2012.

DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z.S.; ALTHOFF, F. J.; BARROS, C. E. M.; LEITE, A. A. S.; JORGE JOÃO, X. S. General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2. *Excution Guide...*, Salvador, 1997. p. 135-161.

DALL'AGNOL, R.; TEIXEIRA, N.P.; RÄMÖ, O.T.; MOURA, C.A.V.; MACAMBIRA, M.J.B.; OLIVEIRA, D.C. Petrogenesis of the paleoproterozoic, rapakivi, A-Type granites of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos* v 80, p. 01-129. 2005.

DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M.A.; ALMEIDA, J.A.C.; ALTHOFF, F.J.; LEITE, A.A.S.; OLIVEIRA, D.C.; BARROS, C.E.M. Archean and paleoproterozoic granitoids of the carajás metallogenic province, eastern Amazonian Cráton. In: SYMPOSIUM ON MAGMATISMO, CRUSTAL EVOLUTION, AND METALLOGENESIS OF THE AMAZONIAN CRATON, *Excution Guide...*, Belém, 2006. p. 99-150.

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

FEIO, G.R.L. Magmatismo granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: Implicações para a evolução crustal da Província Carajás. 2009. 88f. (Exame de qualificação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2009.

FEIO, G.R.L.; DALL'AGNOL, R.; SARDINHA, A.S.; MACAMBIRA, M.J.B.; OLIVEIRA, M.A.; SANTOS, P.A. Neoproterozoic A-type Planalto granite suite, Crajás Province, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 2010, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 2010. CDROOM.

FEIO, G.R.L.; DALL'AGNOL, R.; BORGES, R.M.K.; COSTI, H.T.; LAMARÃO, C.N. Mineralogia dos greisens da área Grota Rica, plúton Água Boa, Pitinga, Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 41, n. 3, p. 436 - 446. 2011.

FEIO, G.R.L.; DALL'AGNOL, R.; DANTAS, E.; MACAMBIRA, M.J.B.; GOMES, A.C.B.; SARDINHA, A.S.; SANTOS, P. Geochemistry, geochronology, and origin of the planalto granite suite and associated rocks: implications for the neoproterozoic evolution of the Carajás Province. *lithos* v.151, p. 57-73. 2012.

FERREIRA, M.F. Suscetibilidade Magnética de Rochas Graníticas Arqueanas da Serra dos Carajás. Relatório técnico iniciação Científica. 2001. Universidade Federal do Pará, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

FERREIRA, M. S.; BARROS, C. E. M.; SARDINHA, A. S.; FIGUEIREDO, M. A. B. M. Suscetibilidade magnética de rochas graníticas arqueanas da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002a João Pessoa. *Anais...* SBG-NE, p. 444. 2002a.

FROST, B. R. Introduction to oxygen fugacity and its petrologic importance. In: LINDSLEY, D.H. (Ed) *Oxide minerals: petrologic and magnetic significance*. p. 1-9 (Reviews in Mineralogy, 25). 1991.

FROST, B. R. Magnetic Petrology: Factors that control the occurrence of magnetite in crustal rocks. In: LINDSLEY, D.H. (Ed) *Oxide minerals: petrologic and magnetic significance*. p. 489 – 509 (Reviews in Mineralogy, 25). 1991.

FROST, B.R.; BAMES, C.; COLLINS, W.; ARCULUS, R.; ELLIS, R.; FROST. A chemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* n. 42, p. 2033-2048. 2001.

GOMES A.C.B. *Geologia, Petrografia e Geoquímica dos granitóides de Canaã dos Carajás, SE do Estado do Pará*. 2003. 199 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 160p. 2003.

GOMES, A.C.B.; DALL'AGNOL, R. Nova associação tonalítica-trondhjemitica Neoproterozoica na região de Canaã dos Carajás: TTG com altos conteúdos de Ti, Zr e Y. *Revista Brasileira de Geociências* v. 37, p. 182-193. 2007.

HAGGERTY, S. E. The aeromagnetic mineralogy of igneous rocks. *Can. J. Earth Sci.* n. 16, p. 1281-1293. 1979.

HAGGERTY, S. E. Opaque mineral oxides in terrestrial igneous rocks. In: RUMBLE III, D. Ed. *Oxide minerals*. 2nd ed. Washington, Mineralogical Society of America. Hg 101-Hg 300. (Reviews in Mineralogy, 3). 1981a.

HEAMAN L.M.; BOWINS R.; CROCKET J. The chemical composition of igneous zircon suites: Implications for geochemical tracer studies. *Geochm. Cosmochem. Acta*, n. 54, p. 1597 - 1607. 1990.

HOSKIN P.W.O e IRELAND T.R. Rare earth element chemistry of zircon and its use as a provenance indicator. *Geology*, n. 28, p. 627- 630. 2000.

ISHIHARA, S. The granitoid series and mineralization. *Econ. Geol.* N. 75, p. 458 – 484. 1981.

HUHN S.B.; MACAMBIRA M.J.B.; DALL'AGNOL R. Geologia e geocronologia Pb/Pb do granito alcalino arqueano planalto, região da Serra do Rabo, Carajás-PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6.. 1999 Manaus. *Boletim de Resumos Expandidos*. Manaus: SBG-NNO, v.1, p.463-466. 1999.

KEMPE U.; GRUNER T.; RENNO A.D.; WOLF D.; RENÉ M. Discussion on Wang *et al.* (2000) "Chemistry of Hf-rich zircons from the Laoshan I- and A-type granites, Eastern China". *Mineral. Magazine*, n. 64, p. 867 - 877. 2004.

LAMARÃO, C. N.; DALL'AGNOL, R. Química mineral de anfibólios e biotitas e condições de cristalização de granitoides paleoproterozóicos da região de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 34, n 1, p. 95 - 108. 2004.

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

LEAKE, B.E. 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*. v. 9, p. 623 – 651. 1997.

LEAKE B. E.; WOOLEY A. R.; ARPS C. E. S.; BIRCH W. D.; BURKE, E. A. J.; FERRARIS, G.; GRICE J. D.; HAWTHORNE F. C.; KISCH H. J.; KRIVOVICHEV V. G.; SCHUMACHER J.; STEPHENSON N. C. N.; WHITTAKER E. J. W. Nomenclature of amphiboles: Additions and revisions to the international mineralogical association's 1997 Recommendations. *The Canadian Mineralogist*, v. 41, p. 1355-1362. 2003.

LEITE A.A.S. *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitoides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. 2001. 199 f. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2001.

LEITE, A.A.S.; DALL'AGNOL,R.; MACAMBIRA,M.J.B.; ALTHOFF, F.J. Geologia e geocronologia dos granitoides arqueanos da Região de Xinguara (PA) e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria. *Revista Brasileira de Geociências* n. 34, p. 447-458 (in Portuguese). 2004.

LINDENMAYER, Z.G. *Salobo Sequence, Carajás, Brazil: Geology, Geochemistry and Metamorphism*. (Doctor of Philosophy Thesis. Department of Geology of the University of Western Ontario, Canada) p. 406. 1990.

LE MAITRE, R. W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B.; LE BAS, M. J.; BONIN, B.; BATEMAN, P.; BELLINI, G.; DUDEK, A.; EFREMOVA, S.; KELLER, J.; LAMERE, J.; SABINE, P.A.; SCHMID, R.; SORENSEN, H.; WOOLLEY, A.R. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee of the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge University Press, p.254. 2002.

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

MACHADO N.; LINDENMAYER Z.; KROGH T.E.; LINDENMAYER D. U/Pb geochronology of archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Area, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, n. 49, p. 329-354. 1991.

MAGALHÃES, M. S e DALL'AGNOL, R. Estudos de minerais opacos e suscetibilidade magnética nos Granitos Musa e Jamon (Região de Rio Maria – SE do Pará) e suas implicações petrológicas. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 22, p. 184-197. 1992.

NACHIT, H.; RAZAFIMAHEFA, N.; STUSSI, J.M.; CARRON J.P. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoides. *C. R. Acad. Sci. Paris*, n. 301, p. 813 - 818. 1985.

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

NOCKOLDS, S.R. The relation between chemical composition and paragenesis in the biotite micas of igneous rocks. *Am. Jour. Sci*, v. 245, n. 7, p. 401- 420. 1947.

OLIVEIRA M.A. *Caracterização petrográfica, estudo de susceptibilidade magnética e natureza dos minerais óxidos de Fe e Ti do Granito Planalto, Serra dos Carajás-PA*. Tese de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pará, Belém, p. 47. 2003.

OLIVEIRA M.A.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F.J.; LEITE A.A.S. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* n. 27, p. 146-160. 2009.

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. 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: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 2010, Belém. *Anais... Belém: SBG*, 2010. CDROOM (in Portuguese).

OWEN M.R. Hafnium content of detrital zircons: A new tool for provenance study. *J Sed. Petrol.* N. 7, p. 24-830. 1987.

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

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

PUPIN J.P. Granite genesis related to geodynamics from Hf-Y in zircon. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh Earth Sci*, n. 91, p. 245 - 256. 2000.

SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E.; GROVES, D.I., MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research* n. 3, p. 453-488. 2000.

SARDINHA, A.S. *Geologia, geoquímica e geocronologia do Granito Serra do Rabo,, Província Mineral de Carajás*. 2002. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2002, p. 188.

SARDINHA, A.S.; DALL'AGNOL R.; GOMES, A.C.B.; MACAMBIRA, M.J.B.; GALARZA, M.A. Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitóides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, 2004. CDROM.

SARDINHA, A.S.; BARROS, C.E.M.; KRYMSKY, R. Geology, geochemistry, and U-Pb geochronology of the archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Province, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences* n. 20, p. 327-339. 2006.

SILVA, F.F.; OLIVEIRA, D.C. Estudo de suscetibilidade magnética e minerais de óxidos de Fe e Ti do magmatismo tipo planalto da região de Vila Jussara, município de Canaã dos Carajás – Província Mineral de Carajás. Marabá: In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, XX., 2010, Belém. *Anais...* Belém. Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 2010.

SILVA, M.L.T.; OLIVEIRA, D.C.; MACAMBIRA, M.J.B. Geologia, petrografia e geocronologia do magmatismo de alto K da região de vila Jussara, Água Azul do Norte - Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45.. 2010, Belém: SBG, 2010. CDROOM.

SOUZA, Z.S.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F.J. LEITE, A.A.S.; BARROS, C.E.M. Carajás Mineral Province: geological, geochronological and tectonic constrast on the Archean evolution of the Rio Maria Granito-Greenstone Terrain and the Carajás Block. In: SYMPOSIUM ON ARCHEAN TERRANES OF SOUTH AMERICA PLATAFORM, Df, Brasília. *Extended abstracts...* SBG,p. 31-32. 1996.

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

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M. A evolução tectônica do Craton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C.D.R., BRITO NEVES, B.B. (EDS.). *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques Almeida*. São Paulo, p. 471-486. 2004.

TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implications. *Precambrian Research* n. 42, p. 213–227. 1989.

UHER P.; BREITER K.; KLECKA M.; PIVEC E. Zircon in highly evolved Hercynian Homolka Granite, Moldanubian Zone, Czech Republic: indicator of magma source and petrogenesis. *Geologica Carpathica*, v. 49, n. 3, p.151-160. 1998

VASQUEZ, L.V.; ROSA-COSTA, L.R.; SILVA, C.G.; RICCI, P.F.; BARBOSA, J.O.; KLEIN, E.L.; LOPES, E.S.; MACAMBIRA, E.B.; CHAVES, C.L.; CARVALHO, J.M.; OLIVEIRA, J.G.; ANJOS, G.C.; SILVA, H.R. Geologia e recursos minerais do estado do Pará : Sistema de Informações Geográficas – SIG : texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do estado do Pará. In: VASQUEZ M.L., ROSA-COSTA L.T. (Org.). Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008b.

WANG, R.C.; ZHAO, G.T.; LU, J.J.; CHEN, X.M., XU, S.J.; WANG, D.Z. Chemistry of Hfzircons from the Laoshan land A-type granites, Eastern China. *Mineral. Magazine*, n.64, p.:867- 877. 2000

APÊNDICES E

ANEXO

APÊNDICE I - ANFIBÓLIOS

População: A e B		Amostra: ARC-144							População: A e B		Amostra: AMR-209						
Mineral: Hastingsita		Mineral: Ferro-pargasita							Mineral: Hastingsita		Mineral: Ferro-pargasita						
Ponto	C3lm1p2	C3lm1p3	C2lm2p1	C2lm2p2	C2lm2p3	C3lm1p1	C3lm1p4	C2lm1p3	C2lm1p1	C2lm1p2	C2lm1p4	C3lm1p1	C3lm1p2	C3lm1p3	C3lm1p4		
SiO ₂	40,99	40,47	40,93	40,83	40,83	40,86	40,25	39,68	39,78	39,54	39,85	39,14	39,58	39,22	39,54		
TiO ₂	1,05	1,02	0,78	0,76	0,79	1,12	0,98	0,55	0,59	0,51	0,55	0,7	0,49	0,67	0,76		
Al ₂ O ₃	11,23	11,66	12,28	12,37	12,44	11,41	12,27	13,09	12,25	12,41	12,56	12,85	12,7	12,74	12,39		
FeO	29,34	29,76	28,61	28,19	28,13	29,32	29,29	31,78	31,59	31,64	31,43	31,32	31,51	31,76	31,41		
MgO	2,44	2,09	2,28	2,41	2,65	2,23	1,88	0,7	0,38	0,53	0,54	0,33	0,38	0,49	0,59		
MnO	0,47	0,51	0,3	0,38	0,38	0,39	0,45	0,3	0,32	0,45	0,3	0,39	0,34	0,37	0,46		
CaO	10,97	11,01	11,09	11,12	11,02	11,17	11,1	10,37	11,17	10,88	10,93	11,33	11,18	11,12	11,16		
Na ₂ O	1,34	0,94	1,15	1,28	1,27	1,21	1,25	0,98	1,2	1,19	1	0,87	0,87	0,84	1		
K ₂ O	2,16	2,56	2,57	2,67	2,49	2,29	2,53	2,56	2,72	2,84	2,82	3,07	2,96	2,78	2,7		
Si	6,38	6,31	6,37	6,36	6,33	6,37	6,29	6,19	6,31	6,25	6,28	6,22	6,27	6,19	6,25		
Al ^(IV)	1,62	1,69	1,63	1,64	1,67	1,63	1,71	1,81	1,69	1,75	1,72	1,78	1,73	1,81	1,75		
Soma T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
Al ^(VI)	0,43	0,45	0,62	0,63	0,6	0,47	0,56	0,59	0,61	0,57	0,62	0,63	0,64	0,56	0,56		
Fe ³⁺	0,45	0,54	0,27	0,2	0,36	0,33	0,31	0,83	0,22	0,43	0,39	0,24	0,33	0,5	0,38		
Ti	0,12	0,12	0,09	0,09	0,09	0,13	0,12	0,06	0,07	0,06	0,07	0,08	0,06	0,08	0,09		
Mg	0,57	0,49	0,53	0,56	0,61	0,52	0,44	0,16	0,09	0,12	0,13	0,08	0,09	0,11	0,14		
Mn	0,06	0,07	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06		
Fe ⁺²	3,36	3,34	3,45	3,47	3,29	3,49	3,52	3,32	3,97	3,76	3,75	3,92	3,85	3,69	3,77		
Soma C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
Ca	1,83	1,84	1,85	1,86	1,83	1,87	1,86	1,73	1,9	1,84	1,85	1,93	1,9	1,88	1,89		
Na	0,17	0,16	0,15	0,14	0,17	0,13	0,14	0,27	0,1	0,16	0,15	0,07	0,1	0,12	0,11		
Soma B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Na	0,23	0,12	0,2	0,24	0,21	0,23	0,24	0,03	0,27	0,21	0,15	0,2	0,16	0,14	0,2		
K	0,43	0,51	0,51	0,53	0,49	0,46	0,5	0,51	0,55	0,57	0,57	0,62	0,6	0,56	0,55		
Soma A	0,66	0,63	0,71	0,77	0,7	0,69	0,74	0,54	0,82	0,78	0,72	0,82	0,76	0,7	0,74		
Fe/(Fe+Mg)	0,86	0,87	0,87	0,86	0,84	0,87	0,89	0,95	0,98	0,97	0,97	0,98	0,98	0,97	0,96		
Mg/(Mg+Fe)	0,14	0,13	0,13	0,14	0,16	0,13	0,11	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04		

*Fórmula estrutural calculada para 23 oxigênios e 13eCNK.

População : A e B		Amostra: AMR-116		
Mineral: Ferro-edenita		Mineral: Ferro-pargasita		
Ponto	C1Im1p4	C3Im3p1	C3Im3p2	C1Im1p3
SiO ₂	39,5	39,78	39,99	41,33
TiO ₂	0,79	0,55	0,83	1,41
Al ₂ O ₃	11,68	12,2	12,06	10,08
FeO	31,95	31,26	31,31	31,64
MgO	0,64	0,52	0,58	0,55
MnO	0,52	0,39	0,46	0,37
CaO	10,99	11,17	10,95	11,19
Na ₂ O	1,25	1,11	1,08	1,22
K ₂ O	2,68	3,03	2,74	2,21
Si	6,56	6,32	6,32	6,26
Al ^(IV)	1,44	1,68	1,68	1,74
Soma T	8	8	8	8
Al ^(VI)	0,45	0,61	0,57	0,45
Fe ³⁺	0,02	0,19	0,33	0,44
Ti	0,17	0,07	0,1	0,09
Mg	0,13	0,12	0,14	0,15
Mn	0,05	0,05	0,06	0,07
Fe ⁺²	4,18	3,97	3,81	3,8
Soma C	5	5	5	5
Ca	1,9	1,9	1,85	1,87
Na	0,1	0,1	0,15	0,13
Soma B	2	2	2	2
Na	0,28	0,24	0,19	0,25
K	0,45	0,61	0,55	0,54
Soma A	0,73	0,86	0,74	0,8
Fe/(Fe+Mg)	0,97	0,97	0,97	0,96
Mg/(Mg+Fe)	0,03	0,03	0,03	0,04

*Fórmula estrutural calculada para 23 oxigênios e 13eCNK.

População : C								População C							
Amostra: ARC-109								Amostra: AMR-152A							
Mineral: Hastingsita				Mineral: Ferro-edenita				Mineral: Hastingsita							
Ponto	C2lm2p2	C2lm2p3	C2lm2p4	C2lm3p2	C2lm3p3	C2lm3p4	C2lm3p1	C1lm3p1	C1lm3p2	C2lm1p1	C2lm1p2	C2lm1p3	C3lm2p3	C4lm1p1	C4lm1p2
SiO2	40,78	39,77	40,37	39,07	39,28	39,32	41,8	40,75	40,37	39,91	39,5	40,33	38,17	40,95	40,87
TiO2	1,1	0,89	0,95	0,92	0,19	0,75	1,06	0,79	0,84	0,84	0,54	0,87	0,32	0	0
Al ₂ O ₃	9,92	10,49	10,37	11,06	11,05	11,03	10,6	10,24	11,21	10,83	10,98	10,69	12,42	10,73	10,2
FeO	31,69	32,05	32,07	32,69	32,66	32,91	30,98	31,93	30,54	31,12	32,29	31,36	32,79	31,12	31,65
MgO	1,51	1,49	1,52	0,8	0,97	1,32	1,3	1,53	1,7	2,05	1,64	1,55	0,69	2	1,78
MnO	0,34	0,51	0,31	0,56	0,48	0,26	0,52	0,44	0,6	0,62	0,48	0,53	0,6	0,58	0,47
CaO	11,2	11,12	10,78	11,43	11,94	10,95	10,89	11,21	11,27	11,32	11,15	11,27	10,95	11,21	11,38
Na2O	1,18	1,15	1,33	0,73	0,85	0,89	0,41	0,91	0,96	0,94	0,75	0,63	0,97	0,92	1,18
K2O	2,28	2,53	2,28	2,73	2,59	2,58	2,44	2,2	2,49	2,36	2,68	2,77	3,09	2,49	2,46
Si	6,44	6,29	6,35	6,21	6,26	6,19	6,52	6,4	6,34	6,26	6,21	6,35	6,05	6,41	6,45
Al ^(IV)	1,56	1,71	1,65	1,79	1,74	1,81	1,48	1,6	1,66	1,74	1,79	1,65	1,95	1,59	1,55
Soma T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al ^(VI)	0,28	0,24	0,27	0,28	0,33	0,24	0,47	0,30	0,41	0,26	0,24	0,33	0,37	0,39	0,34
Fe ³⁺	0,40	0,64	0,66	0,62	0,50	0,91	0,52	0,63	0,47	0,73	0,9	0,56	0,86	0,67	0,51
Ti	0,13	0,11	0,11	0,11	0,02	0,09	0,12	0,09	0,1	0,1	0,06	0,1	0,04	0	0
Mg	0,36	0,35	0,36	0,19	0,23	0,31	0,3	0,36	0,4	0,48	0,38	0,36	0,16	0,47	0,42
Mn	0,05	0,07	0,04	0,08	0,06	0,03	0,07	0,06	0,08	0,08	0,06	0,07	0,08	0,08	0,06
Fe ⁺²	3,78	3,6	3,56	3,72	3,85	3,42	3,52	3,57	3,54	3,36	3,34	3,57	3,49	3,4	3,67
Soma C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ca	1,9	1,88	1,82	1,95	2,04	1,85	1,82	1,89	1,9	1,9	1,88	1,9	1,86	1,88	1,92
Na	0,1	0,12	0,18	0,05	-0,04	0,15	0,18	0,11	0,1	0,1	0,12	0,1	0,14	0,12	0,08
Soma B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Na	0,26	0,23	0,22	0,17	0,3	0,12	-0,06	0,16	0,19	0,19	0,11	0,09	0,16	0,16	0,28
K	0,46	0,51	0,46	0,55	0,53	0,52	0,48	0,44	0,5	0,47	0,54	0,56	0,62	0,5	0,5
Soma A	0,72	0,75	0,68	0,73	0,83	0,64	0,43	0,6	0,69	0,66	0,64	0,65	0,78	0,66	0,78
Fe/(Fe+Mg)	0,91	0,91	0,91	0,95	0,94	0,92	0,92	0,91	0,9	0,87	0,9	0,91	0,96	0,88	0,9
Mg/(Mg+Fe)	0,09	0,09	0,09	0,05	0,06	0,08	0,08	0,09	0,1	0,13	0,1	0,09	0,04	0,12	0,1

*Formula estrutural calculada para 23 oxigênios e 13eCNK.

População : C		Amostra: AMR-177															
Mineral: Hastingsita																	
Ponto	C1m1p1	C2m2p1	C2m2p2	C2m2p3	C2m2p4	C4m1p1	C4m1p2	C4m1p3	C4m1p4	C5m1p1	C5m1p2	C5m1p3	C5m1p4	C5m1p5	C5m2p1	C5m2p2	C5m2p3
SiO2	38,69	39,43	39,19	39,71	39,01	39,79	38,97	38,84	38,9	38,88	39,22	39,28	39,24	39,08	39,65	39,67	39,48
TiO2	0,56	0,68	0,51	0,5	0,52	0,64	0,51	0,51	0,51	0,51	0,41	0,39	0,42	0,62	0,51	0,61	0,46
Al ₂ O ₃	12,11	11,2	11,12	11	11,53	11,33	12,07	11,86	11,8	11,88	11,85	12,02	11,84	11,88	11,67	11,97	11,55
FeO	33,39	33,57	34,11	33,73	33,75	33,5	33	33,35	33,4	33,37	33,58	33,5	33,36	33,92	32,91	32,66	33,48
MgO	0,02	0,15	0,2	0,18	0,12	0,07	0,33	0,1	0,11	0,11	0,2	0,06	0,13	0,07	0,27	0,52	0,1
MnO	0,12	0,18	0,2	0,12	0,11	0,2	0,31	0,2	0,25	0,17	0,18	0,24	0,25	0,21	0,23	0,17	0,28
CaO	10,58	10,75	10,51	10,68	10,72	10,45	10,6	10,81	10,72	10,88	10,39	10,54	10,62	10,43	10,59	10,11	10,44
Na ₂ O	1,06	0,98	0,91	1,19	0,98	1,09	1,01	1,05	0,97	1	1,03	0,89	1,01	0,83	1,29	1,41	1,16
K ₂ O	3,46	3,06	3,24	2,88	3,25	2,93	3,2	3,29	3,34	3,21	3,14	3,08	3,14	2,96	2,88	2,9	3,03
Si	6,18	6,28	6,24	6,32	6,22	6,31	6,18	6,2	6,21	6,2	6,22	6,22	6,24	6,18	6,29	6,25	6,27
Al ^(IV)	1,82	1,72	1,76	1,68	1,78	1,69	1,82	1,8	1,79	1,8	1,78	1,78	1,76	1,82	1,71	1,75	1,73
Soma T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al ^(VI)	0,45	0,38	0,32	0,39	0,39	0,43	0,44	0,44	0,42	0,44	0,43	0,47	0,45	0,4	0,48	0,48	0,44
Fe ³⁺	0,58	0,57	0,79	0,57	0,63	0,62	0,69	0,54	0,6	0,55	0,77	0,74	0,65	0,89	0,53	0,7	0,66
Ti	0,07	0,08	0,06	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07	0,06	0,07	0,05
Mg	0	0,04	0,05	0,04	0,03	0,02	0,08	0,02	0,03	0,03	0,05	0,01	0,03	0,02	0,06	0,12	0,02
Mn	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04
Fe ⁺²	3,88	3,9	3,75	3,92	3,87	3,83	3,69	3,91	3,85	3,9	3,68	3,7	3,78	3,6	3,84	3,61	3,79
Soma C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ca	1,81	1,84	1,79	1,82	1,83	1,78	1,8	1,85	1,83	1,86	1,76	1,79	1,81	1,77	1,8	1,71	1,78
Na	0,19	0,16	0,21	0,18	0,17	0,22	0,2	0,15	0,17	0,14	0,24	0,21	0,19	0,23	0,2	0,29	0,22
Soma B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Na	0,14	0,14	0,07	0,19	0,14	0,11	0,11	0,18	0,13	0,17	0,08	0,06	0,12	0,02	0,2	0,14	0,14
K	0,7	0,62	0,66	0,58	0,66	0,59	0,65	0,67	0,68	0,65	0,63	0,62	0,64	0,6	0,58	0,58	0,61
Soma A	0,84	0,76	0,73	0,78	0,8	0,71	0,76	0,85	0,81	0,82	0,72	0,68	0,75	0,62	0,78	0,72	0,75
Fe/(Fe+Mg)	1	0,99	0,99	0,99	0,99	1	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1	0,99	1	0,98	0,97	0,99
Mg/(Mg+Fe)	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,03	0,01

*Formula estrutural calculada para 23 oxigênios e 13eCNK.

População : C			Amostra: AMR-85A											
Mineral: Hastingsita	Mineral: Ferro-pargasita													
Ponto	C1Im3p1	C1Im3p3	C1Im3p2	C2Im3p1	C2Im3p2	C2Im3p3	C3Im3p1	C3Im3p2	C3Im3p3	C3Im3p4	C4Im1	C4Im1p1	C4Im1p2	C4Im1p3
SiO2	39,25	38,89	39,35	41,14	40,44	39,24	39,3	40,15	39,56	40,9	40,86	40,49	40,92	40,79
TiO2	0,52	0,75	0,58	1,17	0,89	0,66	0,37	0,63	0,22	0,97	1,15	1,12	1,19	1,35
Al ₂ O ₃	12,59	12,63	12,58	11,46	11,93	12,95	12,99	12,28	13,14	11,49	11,72	11,72	11,06	10,84
FeO	31,24	31,13	30,99	30,01	30,74	30,66	31,2	30,65	30,47	30,64	30,44	30,77	30,46	30,79
MgO	1,35	1,2	1,24	1,56	1,19	1,22	0,97	1,22	1,05	1,31	1,41	1,29	1,4	1,17
MnO	0,21	0,26	0,23	0,35	0,31	0,16	0,24	0,26	0,3	0,34	0,3	0,3	0,35	0,27
CaO	10,69	11	11,02	10,43	10,63	10,84	10,83	10,8	10,91	10,58	10,5	10,41	10,71	10,91
Na ₂ O	1,33	1,09	0,94	1,58	1,3	1,24	1,06	1,33	1,21	1,42	1,27	1,34	1,52	1,52
K ₂ O	2,82	3,06	3,09	2,3	2,57	3,03	3,05	2,67	3,15	2,34	2,35	2,56	2,39	2,37
Si	6,16	6,14	6,2	6,43	6,34	6,18	6,18	6,31	6,23	6,4	6,37	6,34	6,43	6,44
Al ^(IV)	1,84	1,86	1,8	1,57	1,66	1,82	1,82	1,69	1,77	1,6	1,63	1,66	1,57	1,56
Soma T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al ^(VI)	0,49	0,49	0,53	0,54	0,55	0,58	0,59	0,58	0,67	0,52	0,53	0,5	0,48	0,46
Fe ³⁺	0,65	0,53	0,51	0,34	0,42	0,44	0,55	0,39	0,36	0,4	0,47	0,49	0,26	0,14
Ti	0,06	0,09	0,07	0,14	0,1	0,08	0,04	0,07	0,03	0,11	0,13	0,13	0,14	0,16
Mg	0,32	0,28	0,29	0,36	0,28	0,29	0,23	0,29	0,25	0,31	0,33	0,3	0,33	0,28
Mn	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04
Fe ⁺²	3,45	3,58	3,57	3,58	3,61	3,59	3,55	3,64	3,66	3,61	3,5	3,54	3,74	3,93
Soma C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ca	1,8	1,86	1,86	1,75	1,79	1,83	1,83	1,82	1,84	1,78	1,75	1,75	1,8	1,85
Na	0,2	0,14	0,14	0,25	0,21	0,17	0,17	0,18	0,16	0,22	0,25	0,25	0,2	0,15
Soma B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Na	0,2	0,19	0,15	0,22	0,18	0,21	0,15	0,22	0,21	0,21	0,14	0,15	0,27	0,31
K	0,56	0,62	0,62	0,46	0,51	0,61	0,61	0,54	0,63	0,47	0,47	0,51	0,48	0,48
Soma A	0,77	0,81	0,77	0,68	0,7	0,82	0,76	0,76	0,84	0,67	0,61	0,66	0,74	0,79
Fe/(Fe+Mg)	0,92	0,93	0,92	0,91	0,93	0,93	0,94	0,93	0,94	0,92	0,91	0,92	0,92	0,93
Mg/(Mg+Fe)	0,08	0,07	0,08	0,09	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07

*Formula estrutural calculada para 23 oxigênios e 13eCNK.

População : C		Amostra: AMR-137A							
Mineral: Ferro-pargasita									
Ponto	C1m1p3	C2m2p1	C2m2p2	C2m2p3	C3m2p1	C3m2p2	C4m1p1	C4m1p2	C4m1p2
SiO2	40,67	40,75	41,29	41,15	39,65	40,10	41,36	40,54	40,71
TiO2	0,60	0,62	0,85	0,77	0,42	0,49	0,46	0,63	0,50
Al ₂ O ₃	12,17	11,51	11,06	11,15	13,04	12,81	11,34	11,25	12,34
FeO	30,35	30,43	30,37	30,55	30,52	30,36	30,31	31,10	30,28
MgO	1,34	1,46	1,42	1,45	1,19	1,07	1,25	1,25	1,25
MnO	0,52	0,58	0,59	0,59	0,46	0,52	0,89	0,60	0,64
CaO	10,95	11,06	10,94	10,94	10,84	10,98	10,94	11,15	10,92
Na2O	1,11	1,16	1,27	1,08	1,16	0,97	1,24	1,13	0,99
K2O	2,29	2,43	2,21	2,32	2,72	2,70	2,21	2,33	2,37
Si	6,35	6,39	6,47	6,44	6,21	6,28	6,48	6,38	6,35
Al ^(IV)	1,65	1,61	1,53	1,56	1,79	1,72	1,52	1,62	1,65
Soma T	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al ^(VI)	0,59	0,52	0,51	0,50	0,61	0,65	0,57	0,46	0,62
Fe ³⁺	0,47	0,39	0,32	0,43	0,55	0,44	0,36	0,44	0,49
Ti	0,07	0,07	0,10	0,09	0,05	0,06	0,05	0,07	0,06
Mg	0,31	0,34	0,33	0,34	0,28	0,25	0,29	0,29	0,29
Mn	0,07	0,08	0,08	0,08	0,06	0,07	0,12	0,08	0,08
Fe ⁺²	3,49	3,60	3,66	3,57	3,45	3,54	3,61	3,65	3,46
Soma C	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ca	1,83	1,86	1,84	1,83	1,82	1,84	1,84	1,88	1,83
Na	0,17	0,14	0,16	0,17	0,18	0,16	0,16	0,12	0,17
Soma B	2		2	2	2	2	2	2	2
Na	0,17	0,21	0,22	0,16	0,17	0,14	0,21	0,22	0,13
K	0,46	0,49	0,44	0,46	0,54	0,54	0,44	0,47	0,47
Soma A	0,62	0,70	0,66	0,62	0,71	0,68	0,65	0,69	0,60
Fe/(Fe+Mg)	0,92	0,91	0,92	0,91	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92
Mg/(Mg+Fe)	0,08	0,09	0,08	0,09	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08

*Formula estrutural calculada para 23 oxigênios e 13eCNK.

APÊNDICE II - BIOTITAS

População: A e B		Amostra: ARC-144								População: A e B		Amostra: AMR-209	
Mineral: Biotita										Mineral: Biotita			
Ponto	C1lm1p1	C1lm1p2	C1lm1p3	C2lm4p1	C2lm4p2	C2lm4p3	C3lm2p1	C3lm2p2	C3lm2p3	C1lm1p1	C1lm1p2	C1lm1p3	C1lm1p4
SiO ₂	38,15	38,48	38,04	38,69	38,65	38,86	38,49	37,98	38,34	36,93	36,65	36,89	36,19
TiO ₂	3,67	3,54	3,26	3,09	2,84	2,96	2,91	2,87	2,92	3,11	2,85	3,03	2,80
Al ₂ O ₃	14,05	14,25	14,09	14,16	14,21	14,33	14,33	13,84	13,94	14,27	13,95	13,84	13,92
FeO	30,01	29,64	30,55	28,59	28,35	28,47	29,62	29,92	30,13	34,52	35,53	35,09	35,96
MgO	4,08	4,11	4,04	5,20	5,40	5,20	4,55	4,77	4,52	1,12	1,10	1,08	0,96
MnO	0,44	0,32	0,21	0,21	0,30	0,24	0,24	0,27	0,25	0,22	0,28	0,54	0,24
CaO	0,00	0,05	0,10	0,09	0,17	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,08	0,02	0,06
Na ₂ O	0,16	0,11	0,09	0,23	0,05	0,04	0,18	0,15	0,04	0,12	0,07	0,07	0,17
K ₂ O	9,44	9,50	9,64	9,74	10,02	9,80	9,59	10,13	9,78	9,65	9,51	9,45	9,69
Si	5,81	5,84	5,81	5,85	5,85	5,87	5,85	5,81	5,85	5,77	5,76	5,78	5,71
^{IV} Al	2,19	2,16	2,19	2,15	2,15	2,13	2,15	2,19	2,15	2,23	2,24	2,22	2,29
Sítio tetraedro	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
^{VI} Al	0,34	0,39	0,35	0,38	0,39	0,42	0,41	0,31	0,35	0,40	0,34	0,34	0,31
Ti	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32	0,34	0,33	0,33	0,34	0,36	0,34	0,36	0,33
Fe	3,82	3,76	3,90	3,62	3,59	3,60	3,76	3,83	3,84	4,51	4,67	4,60	4,75
Mn	0,06	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07	0,03
Mg	0,93	0,93	0,92	1,17	1,22	1,17	1,03	1,09	1,03	0,26	0,26	0,25	0,23
sítio octaédrico	5,56	5,53	5,57	5,55	5,56	5,55	5,57	5,59	5,59	5,56	5,64	5,62	5,65
Sítio A													
Ca	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Na	0,05	0,03	0,03	0,07	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01	0,03	0,02	0,02	0,05
K	1,83	1,84	1,88	1,88	1,93	1,89	1,86	1,98	1,90	1,92	1,91	1,89	1,95
Fe/(Fe+Mg)	0,80	0,80	0,81	0,76	0,75	0,75	0,78	0,78	0,79	0,95	0,95	0,95	0,95

*Formula estrutural calculada para 22 oxigênios.

População : A e B		Amostra: AMR-116				
Mineral						
Ponto	C1Im2p1	C1Im2p2	C1Im2p3	C7Im1p1	C7Im1p2	C7Im1p3
SiO ₂	35,51	37,32	37,04	36,50	36,66	35,31
TiO ₂	2,17	2,83	2,84	3,71	3,81	3,48
Al ₂ O ₃	13,55	13,40	13,19	13,28	13,26	13,83
FeO	39,11	35,46	35,91	36,02	35,14	37,87
MgO	1,22	1,25	1,14	0,75	0,94	0,99
MnO	0,49	0,39	0,48	0,47	0,39	0,35
CaO	0,11	0,09	0,08	0,05	0,13	0,17
Na ₂ O	0,13	0,13	0,13	0,17	0,21	0,31
K ₂ O	7,69	9,13	9,19	9,06	9,46	7,68
Si	5,65	5,84	5,83	5,75	5,76	5,58
^{IV} Al	2,35	2,16	2,17	2,25	2,24	2,42
Sítio tetraedro	8	8	8	8	8	8
^{VI} Al	0,19	0,32	0,27	0,21	0,22	0,16
Ti	0,26	0,33	0,34	0,44	0,45	0,41
Fe	5,20	4,64	4,72	4,74	4,62	5,01
Mn	0,07	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05
Mg	0,29	0,29	0,27	0,18	0,22	0,23
sítio octaédrico	6,00	5,64	5,66	5,64	5,56	5,86
Sítio A						
Ca	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03
Na	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,09
K	1,56	1,82	1,84	1,82	1,90	1,55
Fe/(Fe+Mg)	0,95	0,94	0,95	0,96	0,95	0,96

*Formula estrutural calculada para 22 oxigênios.

População : C									Amostra: ARC-109			
Mineral: Biotita									População : C		Amostra: AMR-152A	
Ponto	C3lm1p1	C3lm1p2	C3lm1p3	C3lm2p1	C3lm2p2	C4lm2p1	C4lm2p2	C4lm2p3	C4lm2p1	C4lm2p2		
SiO2	37,41	37,73	37,55	37,51	37,48	37,15	37,63	37,44	38,77	37,82		
TiO2	3,66	4,28	3,19	2,87	3,00	3,14	2,95	3,07	2,11	1,84		
Al2O3	12,41	12,95	13,14	13,28	13,07	12,85	12,50	12,38	14,15	14,17		
FeO	32,13	30,95	32,15	32,27	32,59	33,79	32,57	33,24	28,85	30,89		
MgO	3,40	3,46	3,73	3,57	3,68	3,79	3,64	3,96	5,16	4,86		
MnO	0,65	0,25	0,34	0,23	0,21	0,10	0,24	0,27	0,32	0,36		
CaO	0,12	0,92	0,00	0,13	0,03	0,07	0,10	0,15	0,21	0,16		
Na2O	0,05	0,04	0,08	0,15	0,07	0,12	0,11	0,06	0,06	0,08		
K2O	10,18	9,41	9,82	9,99	9,86	8,99	10,26	9,43	10,37	9,82		
Si	5,82	5,80	5,81	5,81	5,81	5,77	5,85	5,82	5,89	5,80		
^{IV} Al	2,18	2,20	2,19	2,19	2,19	2,23	2,15	2,18	2,11	2,20		
Sítio tetraedro	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
^{VI} Al	0,10	0,15	0,20	0,24	0,20	0,12	0,15	0,09	0,43	0,37		
Ti	0,43	0,49	0,37	0,33	0,35	0,37	0,35	0,36	0,24	0,21		
Fe	4,18	3,98	4,16	4,18	4,23	4,39	4,24	4,32	3,67	3,96		
Mn	0,09	0,03	0,04	0,03	0,03	0,01	0,03	0,04	0,04	0,05		
Mg	0,79	0,79	0,86	0,82	0,85	0,88	0,84	0,92	1,17	1,11		
sítio octaédrico	5,58	5,45	5,64	5,61	5,65	5,77	5,60	5,72	5,55	5,70		
Sítio A												
Ca	0,02	0,15	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03		
Na	0,02	0,01	0,02	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02		
K	2,02	1,85	1,94	1,97	1,95	1,78	2,04	1,87	2,01	1,92		
Fe/(Fe+Mg)	0,84	0,83	0,83	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,76	0,78		

*Formula estrutural calculada para 22 oxigênios.

População : C		Amostra: AMR-137A												
Mineral: Biotita														
Ponto	C1Im2p1	C1Im2p2	C1Im2p3	C2Im1.1p1	C2Im1.1p2	C2Im1.1p3	C2Im1.1p4	C3Im2p1	C3Im2p2	C3Im2p3	C4Im1p1	C4Im1p2	C4Im1p3	
SiO2	37,58	37,69	37,82	38,58	38,40	37,50	37,56	38,04	37,60	37,62	37,65	37,97	37,46	
TiO2	2,40	2,58	2,33	2,33	2,52	2,43	2,28	2,12	2,34	2,20	2,52	2,44	2,67	
Al2O3	15,19	15,05	14,78	14,29	14,23	14,59	14,93	14,18	14,30	14,58	14,13	14,50	14,84	
FeO	31,74	31,53	32,00	32,15	31,78	32,24	31,92	32,51	32,27	32,39	32,59	31,64	32,33	
MgO	2,87	2,92	2,87	2,91	3,06	2,87	3,05	3,07	3,20	3,02	2,74	2,96	2,61	
MnO	0,46	0,46	0,48	0,00	0,35	0,47	0,50	0,46	0,60	0,54	0,43	0,41	0,32	
CaO	0,23	0,09	0,21	0,11	0,04	0,20	0,15	0,04	0,09	0,15	0,15	0,18	0,14	
Na2O	0,07	0,09	0,14	0,04	0,05	0,07	0,02	0,15	0,14	0,07	0,10	0,22	0,06	
K2O	9,47	9,59	9,37	9,59	9,56	9,63	9,60	9,44	9,45	9,44	9,68	9,68	9,57	
Si	5,77	5,79	5,82	5,92	5,89	5,79	5,78	5,86	5,80	5,80	5,82	5,84	5,78	
^{IV} Al	2,23	2,21	2,18	2,08	2,11	2,21	2,22	2,14	2,20	2,20	2,18	2,16	2,22	
Sítio tetraedro	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
^{VI} Al	0,53	0,51	0,50	0,50	0,47	0,44	0,49	0,44	0,41	0,45	0,40	0,47	0,47	
Ti	0,28	0,30	0,27	0,27	0,29	0,28	0,26	0,25	0,27	0,25	0,29	0,28	0,31	
Fe	4,08	4,05	4,12	4,12	4,08	4,16	4,11	4,19	4,17	4,18	4,22	4,07	4,17	
Mn	0,06	0,06	0,060,000,050,060,070,06	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04						
Mg	0,66	0,67	0,66	0,67	0,70	0,66	0,70	0,71	0,74	0,70	0,63	0,68	0,60	
sítio /ctaédrico	5,60	5,59	5,60	5,56	5,58	5,61	5,63	5,65	5,66	5,65	5,60	5,55	5,59	
Sítio A														
Ca	0,04	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	
Na	0,02	0,03	0,04	0,01	0,02	0,02	0,01	0,04	0,04	0,02	0,03	0,07	0,02	
K	1,86	1,88	1,84	1,88	1,87	1,90	1,88	1,86	1,86	1,86	1,91	1,90	1,88	
Fe/(Fe+Mg)	0,86	0,86	0,86	0,86	0,85	0,86	0,85	0,86	0,85	0,86	0,87	0,86	0,87	

*Formula estrutural calculada para 22 oxigênios.

APÊNDICE III – ZIRCÃO

Amostra: AMR-177																					
Elementos	C3lm2p 1	C3lm2p 2	C3lm2p 3	C3lm2p 4	C3lm2p 5	C3lm3p 1	C3lm3p 2	C3lm3p 3	C3lm3p 4	C3lm3p 5	C3lm3p 6	C3lm3p 7	C3lm3p 8	C3lm5p 1	C3lm5p 2	C3lm5p 3	C3lm5p 4	C3lm5p 5	C3lm5p 6	C3lm5p 7	C3lm5p 8
O	22,52	27,17	25,38	22,21	25,24	23,11	22,93	22,71	23,52	22,63	23,07	24,10	22,51	23,44	22,52	22,28	21,92	22,04	22,37	22,07	22,35
Si	13,36	12,35	12,31	13,24	12,85	13,24	13,11	13,43	13,84	13,26	13,32	12,95	13,50	13,56	13,04	13,22	13,08	13,26	13,30	13,31	13,24
P	0,42	0,32	0,84	0,58	0,75	0,31	0,60	0,53	0,71	0,55	0,61	0,23	0,40	0,62	0,62	0,02	0,14	0,17	0,06	0,26	0,15
Ca	0,11	1,30	1,60	0,05	0,85	0,19	0,08	0,05	0,25	0,04	0,14	0,31	0,11	0,26	0,14	0,12	0,08	0,26	0,07	0,10	0,09
Y	0,85	4,65	1,37	0,68	1,16	0,97	0,85	0,54	1,14	0,93	0,69	0,88	0,85	0,86	0,82	0,89	0,75	0,94	0,72	0,86	0,99
Zr	57,35	48,83	52,48	57,58	53,89	56,88	57,40	57,73	56,26	57,10	57,36	56,02	57,18	56,37	57,40	58,05	58,63	57,49	57,90	58,03	58,12
Nb	1,45	1,08	1,56	1,68	1,50	1,62	1,85	1,48	1,15	1,74	1,31	1,47	1,44	1,53	1,79	1,72	1,34	1,65	1,23	1,60	1,73
Ba	0,57	0,12	0,46	0,44	0,32	0,38	0,19	0,22	0,26	0,43	0,42	0,59	0,27	0,16	0,33	0,32	0,20	0,16	0,35	0,40	0,11
Ce	0,21	0,61	0,45	0,37	0,28	0,19	0,39	0,34	0,47	0,34	0,36	0,23	0,42	0,51	0,22	0,38	0,43	0,80	0,37	0,48	0,81
Hf	1,99	2,08	1,90	2,01	1,64	2,19	1,58	1,77	1,49	1,67	1,61	2,41	2,24	1,81	1,96	1,93	2,30	1,90	2,43	1,89	1,28
Ta	0,73	0,73	0,99	0,90	0,84	0,61	0,76	0,93	0,63	0,94	0,75	0,49	0,88	0,64	0,84	0,80	0,86	1,04	0,73	0,77	0,85
Th	0,22	0,37	0,32	0,20	0,13	0,05	0,07	0,17	0,21	0,31	0,14	0,17	0,02	0,08	0,07	0,14	0,10	0,14	0,14	0,08	0,15
U	0,24	0,40	0,34	0,06	0,56	0,26	0,21	0,11	0,08	0,08	0,22	0,14	0,17	0,15	0,25	0,13	0,16	0,16	0,33	0,14	0,14

Amostra: ARC-144															
Elementos	C2lm3p1	C2lm3p2	C2lm3p3	C2lm3p4	C2lm3p5	C2lm3p6	C2lm3p7	C3lm3p1	C3lm3p2	C3lm3p3	C3lm3p4	C3lm3p5	C3lm3p6	C3lm3p7	C3lm3p8
O	23,08	22,87	23,01	23,18	22,04	22,77	22,15	19,22	16,22	17,30	19,76	15,52	18,24	20,51	19,09
Si	13,18	13,11	13,33	13,15	13,57	13,14	12,72	13,49	13,95	13,56	13,47	13,86	13,25	13,05	13,02
P	0,54	0,76	0,55	0,36	0,82	0,33	0,22	0,65	0,82	0,42	0,48	0,25	0,16	0,36	0,38
Ca	0,36	0,06	0,08	0,05	0,07	0,07	0,16	0,10	0,08	0,07	0,06	0,53	0,13	0,58	0,05
Y	0,74	0,56	0,85	0,83	0,58	0,84	0,78	0,39	0,67	0,90	0,74	0,59	0,89	0,96	0,57
Zr	56,40	57,08	56,36	57,48	57,71	57,20	58,07	59,95	62,43	61,48	59,93	63,07	61,57	58,83	60,61
Nb	1,70	1,45	1,85	1,54	1,75	1,52	1,27	1,85	1,77	2,00	1,77	1,92	1,79	2,04	1,68
Ba	0,55	0,43	0,31	0,10	0,55	0,41	0,18	0,46	0,64	0,46	0,51	0,28	0,41	0,29	0,64
Ce	0,37	0,36	0,48	0,69	0,28	0,38	0,45	0,31	0,17	0,46	0,50	0,50	0,26	0,36	0,19
Hf	2,05	2,06	2,14	1,43	1,65	2,34	2,77	2,48	2,05	2,35	1,80	2,14	1,97	1,80	2,07
Ta	0,69	0,94	0,68	0,79	0,66	0,72	0,84	0,77	0,85	0,77	0,65	0,90	0,97	0,85	1,01
Th	0,09	0,19	0,26	0,22	0,12	0,09	0,25	0,15	0,14	0,00	0,24	0,17	0,08	0,01	0,37
U	0,24	0,14	0,10	0,19	0,21	0,18	0,13	0,16	0,23	0,25	0,10	0,28	0,28	0,35	0,33

Amostra: AMR-209																	
Elementos	C7lm1p1	C7lm1p2	C7lm1p3	C7lm1p4	C7lm1p5	C7lm1p6	C7lm1p7	C7lm1p8	C7lm1p9	C7lm2p1	C7lm2p2	C7lm2p3	C7lm2p4	C7lm2p5	C7lm2p6	C7lm2p7	C7lm2p8
O	22,34	21,28	21,49	21,90	22,17	22,25	21,73	22,28	21,25	20,63	20,64	20,34	19,33	19,22	19,31	20,81	19,96
Si	13,75	13,77	13,65	13,56	13,29	13,31	13,49	13,56	13,86	13,53	13,34	13,34	13,65	14,09	13,75	13,97	13,43
P	0,04	0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,36	0,35	0,13	0,00	0,29	0,10	0,11	0,29	0,06	0,05	0,39
Ca	0,06	0,09	0,09	0,05	0,03	0,20	0,11	0,33	0,10	0,29	0,09	0,06	0,04	0,07	0,09	0,33	0,31
Y	0,48	0,96	0,73	0,74	0,86	0,72	0,59	0,64	0,82	0,84	0,60	0,72	0,65	0,87	0,76	0,58	0,79
Zr	58,43	58,29	58,34	58,54	58,59	58,15	58,24	56,95	58,20	58,69	58,74	59,44	59,53	59,86	59,91	58,53	59,07
Nb	1,74	1,93	1,63	1,55	1,59	1,15	1,50	1,95	1,68	1,55	1,89	2,06	1,57	2,12	2,12	1,55	2,16
Ba	0,27	0,27	0,55	0,59	0,28	0,37	0,58	0,28	0,45	0,26	0,22	0,41	0,25	0,49	0,63	0,27	0,27
Ce	0,24	0,42	0,27	0,26	0,33	0,49	0,43	0,63	0,37	0,42	0,42	0,29	0,41	0,20	0,27	0,53	0,88
Hf	1,68	1,72	2,19	1,61	1,80	1,97	1,82	1,90	1,95	2,82	2,85	2,39	2,77	1,73	2,02	2,53	1,73
Ta	0,71	0,89	0,81	0,90	0,73	1,04	0,79	0,76	0,74	0,59	0,58	0,56	1,19	0,76	0,65	0,69	0,68
Th	0,07	0,18	0,01	0,12	0,30	0,21	0,15	0,20	0,04	0,18	0,17	0,15	0,27	0,12	0,29	0,08	0,10
U	0,19	0,16	0,26	0,18	0,00	0,16	0,22	0,18	0,39	0,19	0,18	0,17	0,23	0,19	0,15	0,10	0,26

Elemento	Amostra: AMR-116							Amostra: AMR-85A													
	C2lm1p1	C2lm1p2	C2lm1p3	C2lm1p4	C2lm1p5	C2lm1p6	C2lm1p7	C1lm2p1	C1lm2p2	C1lm2p3	C1lm2p4	C1lm2p5	C1lm2p6	C1lm2p7	C1lm2p8	C1lm2p9	C3lm1p1	C3lm1p2	C3lm1p3	C3lm1p4	C3lm1p5
O	22,76	22,04	22,43	22,45	21,83	22,81	21,79	23,82	23,36	23,31	23,34	23,16	23,34	23,47	22,96	23,00	23,59	23,25	23,16	23,36	23,43
Si	13,28	13,28	13,37	13,51	13,77	13,38	13,39	14,33	14,03	14,12	14,06	13,90	14,24	13,75	14,24	14,08	14,12	14,01	14,33	14,28	14,28
P	0,16	0,30	0,28	0,34	0,30	0,34	0,29	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
Ca	0,34	0,08	0,06	0,09	0,15	0,10	0,33	0,07	0,08	0,06	0,06	0,05	0,09	0,08	0,09	0,06	0,10	0,11	0,08	0,04	0,07
Y	0,86	0,79	0,73	0,78	0,88	1,02	0,70	0,52	0,43	0,32	0,46	0,45	0,27	0,40	0,45	0,43	0,42	0,40	0,37	0,39	0,27
Zr	57,22	57,35	57,89	58,02	57,82	56,80	57,35	56,24	56,45	56,68	56,96	56,58	56,85	56,75	56,24	56,45	56,42	56,03	56,66	56,58	56,07
Nb	1,43	1,56	1,44	1,88	1,62	1,67	1,46	2,18	2,55	2,24	2,09	2,44	2,25	2,06	2,30	2,24	2,33	2,62	2,41	2,36	2,34
Ba	0,48	0,35	0,43	0,27	0,45	0,17	0,49	0,53	0,55	0,29	0,17	0,30	0,46	0,30	0,53	0,51	0,36	0,41	0,18	0,27	0,30
Ce	0,37	0,58	0,23	0,29	0,45	0,50	0,27	0,16	0,25	0,16	0,39	0,36	0,14	0,37	0,37	0,47	0,18	0,40	0,42	0,34	0,33
Hf	2,20	2,44	2,28	1,48	1,68	2,28	2,68	0,82	1,49	1,45	1,55	1,49	1,35	1,89	1,69	1,51	1,48	1,76	1,45	1,37	1,80
Ta	0,68	0,78	0,58	0,67	0,68	0,55	0,93	0,96	0,57	1,08	0,65	0,89	0,75	0,69	0,94	0,93	0,67	0,72	0,72	0,71	0,80
Th	0,05	0,42	0,06	0,12	0,14	0,21	0,24	0,39	0,08	0,00	0,13	0,10	0,02	0,18	0,11	0,25	0,23	0,07	0,00	0,17	0,09
U	0,19	0,02	0,22	0,12	0,23	0,17	0,10	0,00	0,15	0,30	0,16	0,30	0,25	0,06	0,09	0,08	0,09	0,23	0,24	0,13	0,21

Amostra- AMR-137A																
Elementos	C2lm1p1	C2lm1p2	C2lm1p3	C2lm1p4	C2lm1p5	C2lm1p6	C6lm1p1	C6lm1p2	C6lm1p3	C6lm1p4	C6lm1p5	C6lm1p6	C6lm1p7	C6lm1p8	C6lm1p9	C6lm1p10
O	23,07	22,54	23,46	23,71	23,20	24,02	23,52	22,74	23,67	23,40	22,48	23,52	23,40	23,22	21,86	22,86
Si	14,42	14,33	14,18	14,01	13,90	13,92	14,12	14,31	14,17	13,96	14,11	14,08	14,14	14,27	14,27	14,24
P	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
Ca	0,11	0,04	0,06	0,12	0,04	0,17	0,05	0,11	0,06	0,30	0,07	0,05	0,09	0,06	0,09	0,07
Y	0,68	0,54	0,40	0,43	0,31	0,42	0,35	0,51	0,63	0,40	0,55	0,51	0,45	0,19	0,69	0,41
Zr	56,19	56,01	56,58	56,00	56,53	55,17	56,36	56,63	56,39	55,42	55,99	55,97	55,80	56,33	57,09	56,52
Nb	2,03	2,11	2,22	2,08	2,19	2,51	2,17	2,27	1,82	2,33	2,33	2,06	2,17	2,40	2,28	2,44
Ba	0,18	0,56	0,33	0,16	0,31	0,26	0,35	0,42	0,33	0,26	0,24	0,35	0,25	0,12	0,24	0,32
Ce	0,62	0,29	0,28	0,47	0,57	0,30	0,25	0,36	0,28	0,23	0,44	0,68	0,38	0,37	0,45	0,26
Hf	2,01	2,49	1,33	1,95	2,02	2,01	1,68	1,84	1,71	2,80	2,76	1,70	2,29	1,85	1,81	1,99
Ta	0,37	0,75	0,88	0,69	0,72	0,91	0,74	0,47	0,56	0,61	0,73	0,74	0,78	0,91	0,95	0,64
Th	0,13	0,13	0,09	0,23	0,09	0,22	0,14	0,14	0,11	0,05	0,30	0,27	0,00	0,07	0,07	0,03
U	0,20	0,21	0,20	0,15	0,13	0,08	0,27	0,20	0,28	0,25	0,01	0,07	0,25	0,22	0,20	0,23

ANEXO I – COMPLEXO ESTRELA

Mineral: Anf	Amostra: CAP25				Amostra: CN55			Amostra: CN22		Amostra: CN24		Amostra: VI62		Amostra: CAP41	
	Análise	16	18	19	20	6	7	9	41	52	32	33	18	28	20
SiO2	38,52	39,36	38,64	38,04	39,96	39,69	40,20	38,34	38,62	38,75	38,12	40,58	40,08	39,37	38,81
TiO2	1,89	0,82	0,57	0,77	1,99	1,48	1,71	1,57	1,37	1,23	1,14	1,60	1,16	1,09	1,07
Al2O3	10,11	11,57	12,49	12,13	12,16	12,57	12,40	11,20	11,23	10,81	11,14	9,54	9,74	10,92	11,00
FeO	32,64	31,33	31,24	31,81	26,52	27,11	26,30	33,37	32,72	32,66	33,09	32,59	33,63	33,16	33,62
MgO	1,50	1,44	1,15	1,39	3,91	3,62	3,84	0,83	0,75	1,43	1,42	1,27	1,18	0,40	0,46
MnO	0,24	0,11	0,15	0,29	0,12	0,23	0,37	0,32	0,33	0,08	0,15	0,19	0,10	0,55	0,41
CaO	11,39	11,43	11,74	11,42	11,60	11,77	11,76	10,46	11,11	11,06	11,11	10,81	10,54	10,91	10,97
Na2O	1,52	1,45	1,32	1,63	1,42	1,30	1,21	1,96	1,73	1,85	1,47	1,79	1,71	1,66	1,84
K2O	2,21	2,48	2,69	2,51	2,31	2,23	2,20	1,97	2,13	2,12	2,36	1,64	1,85	1,94	1,83
Si	6,15	6,24	6,15	6,06	6,20	6,16	6,23	5,00	0,00	6,15	6,05	6,42	6,33	6,29	6,20
Al(IV)	1,85	1,76	1,85	1,94	1,80	1,84	1,77	3,00	8,00	1,85	1,95	1,58	1,67	1,71	1,80
Soma T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al(VI)	0,05	0,40	0,50	0,34	0,42	0,46	0,50	-2,89	-8,00	0,18	0,13	0,20	0,14	0,34	0,27
Fe3+	0,46	0,29	0,21	0,42	0,15	0,22	0,07	1,96	1,73	0,59	0,79	0,41	0,76	0,31	0,46
Ti	0,23	0,10	0,07	0,09	0,23	0,17	0,20	1,89	0,00	0,15	0,14	0,19	0,14	0,13	0,13
Mg	0,36	0,34	0,27	0,33	0,91	0,84	0,89	0,34	0,00	0,34	0,34	0,30	0,28	0,10	0,11
Mn	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03	0,05	1,57	1,37	0,01	0,02	0,02	0,01	0,07	0,06
Fe2+	3,87	3,85	3,93	3,77	3,27	3,27	3,29	2,13	9,90	3,73	3,58	3,88	3,67	4,04	3,97
Soma C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ca	1,95	1,94	2,00	1,95	1,93	1,96	1,95	0,82	0,00	1,88	1,89	1,83	1,78	1,87	1,88
Na	0,05	0,06	0,00	0,05	0,07	0,04	0,05	1,18	2,00	0,12	0,11	0,17	0,22	0,13	0,12
Soma B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Na	0,42	0,39	0,41	0,45	0,35	0,35	0,32	-0,27	-2,00	0,45	0,34	0,38	0,31	0,38	0,45
K	0,45	0,50	0,55	0,51	0,46	0,44	0,44	0,09	0,00	0,43	0,48	0,33	0,37	0,39	0,37
Soma A	0,87	0,89	0,96	0,96	0,81	0,79	0,75	-0,18	-2,00	0,88	0,82	0,71	0,68	0,78	0,82
Fe/(Fe+Mg)	0,92	0,92	0,93	0,92	0,78	0,80	0,79	0,86	1,00	0,92	0,91	0,93	0,93	0,98	0,97
Mg/(Mg+Fe)	0,08	0,08	0,07	0,08	0,22	0,20	0,21	0,14	0,00	0,08	0,09	0,07	0,07	0,02	0,03

*Formula estrutural calculada para 23 oxigênios e recalculados para 13eCNK.

Mineral: Anf	Amostra: CAP5				Amostra: CAP 40			Amostra: CAP35		Amostra: CN23			
	Análise	1	4	15	29	26	28	34	39	45	1	2	3
SiO2	39,20	38,57	39,30	38,94	43,20	43,11	42,82	38,98	38,96	38,88	38,73	38,92	38,45
TiO2	1,50	0,38	1,17	1,21	1,74	1,81	1,86	1,40	1,05	1,65	1,66	0,93	0,91
Al2O3	10,12	12,02	10,33	10,59	9,64	9,54	9,54	11,22	11,76	10,62	10,83	10,80	12,11
FeO	33,34	32,24	32,75	33,04	24,76	24,98	24,85	31,33	31,20	32,40	32,02	32,56	32,09
MgO	0,88	0,85	0,90	0,89	5,73	5,66	5,72	1,86	1,70	1,29	1,35	1,42	1,10
MnO	0,39	0,36	0,55	0,39	0,20	0,29	0,20	0,23	0,19	0,29	0,29	0,19	0,16
CaO	10,97	11,49	11,32	11,18	11,48	11,38	11,81	11,07	11,32	11,29	11,38	11,16	11,51
Na2O	1,54	1,35	1,46	1,55	1,64	1,62	1,57	1,74	1,59	1,56	1,51	1,72	1,10
K2O	2,05	2,74	2,22	2,21	1,61	1,61	1,62	2,18	2,24	2,01	2,23	2,30	2,57
Si	6,26	6,17	6,30	6,23	6,59	6,58	6,56	6,16	6,16	6,19	6,17	6,19	6,10
Al(IV)	1,74	1,83	1,70	1,77	1,41	1,42	1,44	1,84	1,84	1,81	1,83	1,81	1,90
Soma T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al(VI)	0,16	0,44	0,25	0,22	0,33	0,30	0,28	0,25	0,35	0,18	0,21	0,22	0,37
Fe3+	0,47	0,29	0,22	0,39	0,07	0,10	0,01	0,47	0,42	0,41	0,33	0,52	0,49
Ti	0,18	0,05	0,14	0,15	0,20	0,21	0,22	0,17	0,13	0,20	0,20	0,11	0,11
Mg	0,21	0,20	0,22	0,21	1,31	1,30	1,32	0,44	0,40	0,31	0,32	0,34	0,26
Mn	0,05	0,05	0,07	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02
Fe2+	3,92	3,98	4,10	3,97	3,06	3,05	3,15	3,64	3,68	3,86	3,90	3,79	3,75
Soma C	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ca	1,87	1,97	1,94	1,91	1,88	1,86	1,94	1,87	1,92	1,92	1,94	1,90	1,96
Na	0,13	0,03	0,06	0,09	0,12	0,14	0,06	0,13	0,08	0,08	0,06	0,10	0,04
Soma B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Na	0,35	0,39	0,40	0,40	0,36	0,34	0,41	0,41	0,40	0,41	0,41	0,43	0,30
K	0,42	0,56	0,45	0,45	0,31	0,31	0,32	0,44	0,45	0,41	0,45	0,47	0,52
Soma A	0,77	0,95	0,85	0,85	0,68	0,65	0,72	0,85	0,86	0,82	0,86	0,90	0,82
Fe/(Fe+Mg)	0,95	0,95	0,95	0,95	0,70	0,70	0,71	0,89	0,90	0,93	0,92	0,92	0,93
Mg/(Mg+Fe)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,30	0,30	0,29	0,11	0,10	0,07	0,08	0,08	0,07