



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PETROLOGIA MAGNÉTICA DAS ASSOCIAÇÕES MAGMÁTICAS
ARQUEANAS DA REGIÃO DE CANAÃ DOS CARAJÁS - PA**

Dissertação apresentada por:

FERNANDA GISELLE CRUZ DO NASCIMENTO

**BELÉM
2006**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

N244p Nascimento, Fernanda Giselle Cruz do
Petrologia magnética das associações magmáticas arqueanas de
Canaã dos Carajás-PA / Fernanda Giselle Cruz do Nascimento;
Orientador, Roberto Dall’Agnol. – 2006
ix; 183 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) –
Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Curso de Pós-
Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2006.

1. Petrologia magnética. 2. Associações magmáticas. 3.
Suscetibilidade magnética. 4. Minerais óxidos de Fe e Ti. 5.
Fugacidade de oxigênio. 6. Arqueanas. 7. Canaã dos Carajás-Pa
I.Universidade Federal do Pará II. Dall’ Agnol, Roberto, Orient. III.
Título.

CDD 20º ed.: 552.0098115



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

**PETROLOGIA MAGNÉTICA DAS ASSOCIAÇÕES
MAGMÁTICAS ARQUEANAS DE CANAÃ DOS CARAJÁS - PA**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

FERNANDA GISELLE CRUZ DO NASCIMENTO

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

Data de Aprovação: **22 / 09 / 2006**

Comitê de Dissertação:

ROBERTO DALL'AGNOL (Orientador)

MARÍLIA SACRAMENTO DE MAGALHÃES

GORKI MARIANO

Belém

***A minha mãe Madalena e irmã Michelle
por todo Carinho, incentivo e
credibilidade dedicados a mim durante
minha vida inteira.***

AGRADECIMENTOS

A autora expressa seu sincero e profundo agradecimento as pessoas e entidades que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

- A Deus;
- Aos meus familiares por todo o carinho e apoio ao longo desses anos;
- À Universidade Federal do Pará por toda infra-estrutura e ajuda financeira fornecida;
- À CAPES pela concessão da bolsa de estudo durante o decorrer desta pesquisa;
- Ao PRONEX/CNPq pelo apoio financeiro nas etapas de campo;
- Ao professor Roberto Dall’Agnol pela orientação, dedicação, paciência, amizade, pelas oportunidades e pelas broncas que só fizeram com que eu crescesse ao longo da minha vida acadêmica;
- Aos geólogos Alan C. B. Gomes, José Erimar Bezerra Soares, pelas discussões, coleta e fornecimento de amostras dos granitóides estudados.
- Ao geólogos Marco Aurélio Benevides Maia Figueiredo, Marcelo Augusto de Oliveira e Davis Carvalho de Oliveira pelos valorosos ensinamentos em termos de Petrologia Magnética;
- Ao geólogo Cláudio Nery Lamarão e à aluna Fabriciana Guimarães pela ajuda e incentivo durante o decorrer do trabalho;
- Aos colegas do GPPG (Arimatéia, Alex, Gilmara, Maryelle, Samantha, Antônio, Giovana, Joseana, Tayla, Luís, Mike, Kleber, e Régis) pelas discussões e sugestões, bem como pelo companheirismo e momentos de descontração;
- Aos colegas de curso que ingressaram comigo na graduação;
- Aos grandes amigos: Aderson, Thereza, Marcely, Bruno, Orlando, Creciane, André, Cícero, Wilson;
- A todos os amigos que conquistei ao longo do curso;
- Ao grupo de professores e funcionários do Centro de Geociências, destacando-se Carlos Alberto, José Esteves, Afonso Quaresma e Walter Pompeu.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	v
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1 - INTRODUÇÃO	5
1.1 - APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	5
1.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	5
1.3 - GEOLOGIA LOCAL	9
1.3.1 - Região de Serra Dourada (Sub-área I)	9
1.3.2 - Região a Leste de Canaã dos Carajás (Sub-área II)	13
1.4 - SÍNTESE DE ESTUDOS PRÉVIOS DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA (GRANITÓIDES ARQUEANOS DE CARAJÁS E RIO MARIA)	17
2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	21
3 - OBJETIVOS	22
4 - MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	23
4.2 - MAPEAMENTO GEOLÓGICO E AMOSTRAGEM	23
4.3 - SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA	23
4.4 - ESTUDOS PETROGRÁFICOS E MINERALÓGICOS	24
4.4.1 - Microscopia de Luz Transmitida	24
4.4.2 - Microscopia de Luz Refletida	25
4.4.3 - Microscopia Eletrônica de Varredura	25
4.5 - INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	26
5 - PRINCÍPIOS DA PETROLOGIA MAGNÉTICA	27
6 - QUESTÕES METODOLÓGICAS SOBRE AS MEDIDAS DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA	32
7 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	40
7.1 - TONALITO/QUARTZO-DIORITO DA REGIÃO DE SERRA DOURADA	40
7.1.1 - Aspectos Petrográficos	40
7.1.2 - Suscetibilidade Magnética	40
7.1.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti	44
7.2 - BIOTITA-GRANITO/LEUCOGRANITO MÉDIO A GROSSO DA REGIÃO DE SERRA DOURADA	50
7.2.1 - Aspectos Petrográficos	50
7.2.2 - Suscetibilidade Magnética	50
7.2.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti	54
7.3 - GRANITO FOLIADO	62
7.3.1 - Aspectos Petrográficos	62
7.3.2 - Suscetibilidade Magnética	62
7.3.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti	66
7.4 - GABRO	75
7.4.1 - Aspectos Petrográficos	75
7.4.2 - Suscetibilidade Magnética	75
7.4.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti	79
7.5 - TRONDHJEMITO	86
7.5.1 - Aspectos Petrográficos	86

7.5.2 - Suscetibilidade Magnética	86
7.5.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti	88
7.6 - GRANITO PLANALTO	92
7.6.1 - Aspectos Petrográficos	92
7.6.2 - Suscetibilidade Magnética	92
7.6.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti	97
7.7 - ASSOCIAÇÃO TONALÍTICA - TRONDHJEMÍTICA	104
7.7.1 - Aspectos Petrográficos	104
7.7.2 - Suscetibilidade Magnética	104
7.7.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti	106
7.8 - MICROGRANITO/ DACITO PÓRFIRO	112
7.8.1 - Aspectos Petrográficos	112
7.8.2 - Suscetibilidade Magnética	112
7.8.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti	113
8 - INTEGRAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS	117
9- COMPARAÇÕES ENTRE COMPORTAMENTO MAGNÉTICO DAS ASSOCIAÇÕES MAGMÁTICAS ESTUDADAS E OS DE ASSOCIAÇÕES MAGMÁTICAS ANÁLOGAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL	122
10 - CONCLUSÕES	134
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
ANEXO I - ANÁLISES SEMI-QUANTITATIVAS EDS (MEV) DE MINERAIS DAS ROCHAS ESTUDADAS.	145

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização das sub-áreas estudadas.	6
Figura 2 - Mapa Geológico Regional.	8
Figura 3 - Mapa Geológico da sub-área I.	10
Figura 4 - Mapa de Amostragem da sub-área I.	14
Figura 5 - Mapa Geológico da sub-área II.	15
Figura 6 - Mapa de amostragem da sub-área II.	18
Figura 7 - Diagrama Ternário do sistema TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 .	28
Figura 8 - Diagrama Log fO_2 - T.	29
Figura 9 - Foto da Sonda Portátil utilizada na obtenção de testemunhos.	34
Figura 10a - Comparação entre os valores de suscetibilidade magnética (SM) obtidos com diferentes sensores em amostras com alta e baixa SM.	38
Figura 10b - Comparação entre os valores de suscetibilidade magnética (SM) obtidos com diferentes sensores em amostras com alta SM.	39
Figura 11 - Histograma, Polígono de frequência e Gráfico de Probabilidade do Tonalito/Quartzo-Diorito.	43
Figura 12 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais subédricos de magnetita, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	46
Figura 13 - Fotomicrografia em luz refletida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais de magnetita corroídos e fracamente martitizados, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	47
Figura 14 - Fotomicrografia em luz refletida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais de ilmenita corroídos e alterados, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	48
Figura 15 - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais subédricos de pirita e calcopirita, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas	49
Figura 16 - Histograma, Polígono de Frequência e Gráfico de Probabilidade do Biotita-granito/Leucogranito médio a grosso.	53
Figura 17 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais de ilmenita associada a ferromagnesianos, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas	56
Figura 18 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais de magnetita associados a ilmenita P, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas	57
Figura 19 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de ilmenita individual substituída por rutilo e titanita, acompanhados de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	58
Figura 20 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de magnetita associada ilmenita tipo Cext, T e P, acompanhadas de espectros EDS das	59

principais fases minerais identificadas.

Figura 21 - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais de magnetita associados a ilmenita tipo S e T, acompanhadas de espectros EDS das principais fases minerais identificadas. 60

Figura 22 - Imagens de elétrons retro-espalhados obtidas em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de magnetita com ilmenita tipo C alterada, acompanhadas de espectros EDS das principais fases minerais identificadas. 61

Figura 23 - Histograma, Polígono de Freqüência e Gráfico de Probabilidade do Granito Foliado. 65

Figura 24 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais de magnetita associados com epidoto, biotita e apatita, acompanhadas de espectros EDS das principais fases minerais identificadas. 68

Figura 25 - Fotomicrografia em luz refletida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de magnetita fracamente martitzada, acompanhadas de espectros EDS das principais fases minerais identificadas. 69

Figura 26 - Fotomicrografia em luz refletida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura mostrando cristal de magnetita moderadamente martitzada sendo substituída por epidoto, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas. 70

Figura 27 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de magnetita associado com ilmenita tipo Cint bastante alterada, acompanhadas de espectros EDS das principais fases identificadas. 71

Figura 28 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais de magnetita associados com ilmenita tipo Cext bastante alterada, acompanhados de espectros EDS das principais fases identificadas. 72

Figura 29 - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases identificadas. Detalhe da figura anterior, mostrando alteração da ilmenita. 73

Figura 30 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais de magnetita com ilmenita tipo Cint, acompanhadas de espectros EDS das principais fases identificadas. 74

Figura 31 - Histograma, Polígono de Freqüência e Gráfico de Probabilidade do Gabro 78

Figura 32 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais subédricos de Ti-magnetita alterada com lamelas de exsolução de ilmenita T e ilmenitas P e Cext associadas, acompanhadas de espectros EDS das principais fases identificadas. 81

Figura 33 - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas. Detalhe da figura anterior, mostrando alteração da Ti-magnetita e ilmenita T e P. 82

Figura 34 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais subédricos de Ti-magnetita alterada com lamela de exsolução de ilmenita T e ilm S e 83

Cext associadas, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	
Figura 35 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais esqueléticos de Ti-magnetita transformados em intercrescimentos de magnetita e ilmenita em treliça nos quais a magnetita foi inteiramente substituída restando apenas as lamelas de ilmenita, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	84
Figura 36 - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais subédricos de ilmenita individual associados com anfibólio, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	85
Figura 37 - Histograma de Freqüência do Trondhjemito.	88
Figura 38 - Fotomicrografias em luz refletida, mostrando cristais de ilmenita individual bastante alterados para hematita, rutilo e titanita.	90
Figura 39 - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais de ilmenita individual fracamente alterados para titanita e associados a clorita, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	91
Figura 40 - Histograma, Polígono de Freqüência e Gráfico de Probabilidade do Granito Planalto.	96
Figura 41 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais de magnetita associados a biotita e titanita, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	98
Figura 42 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de magnetita parcialmente corroído associado com ilmenita composta externa e epidoto, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	99
Figura 43 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de magnetita, ilmenita composta externa e suas associações, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	100
Figura 44 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristais subédricos de magnetita associados com ilmenita alterada e anfibólio, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	101
Figura 45 - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura mostrando alteração da ilmenita (detalhe da figura anterior), acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas	102
Figura 46 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de ilmenita individual associado a anfibólio, zircão e apatita, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	103
Figura 47 - Histograma de Freqüência da Associação Tonalítica - Trondhjemítica.	106
Figura 48 - Fotomicrografias em luz refletida, mostrando cristais de ilmenita individual fracamente alterados e cristal de magnetita moderadamente martitizada.	107
Figura 49 - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de magnetita associado com biotita e feldspato potássico, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais	108

identificadas.

Figura 50 - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal anédrico de magnetita formando manto envolvendo a thorita, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	109
Figura 51 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal subédrico de magnetita com manchas localizadas de ilmenita, associado com quartzo e biotita, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	110
Figura 52 - Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando alteração da ilmenita (detalhe da figura anterior), acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	111
Figura 53 - Histograma de Frequência do Microgranito/Dacito Pórfiro.	113
Figura 54 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de magnetita com ilmenita em treliça alterada, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	114
Figura 55 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de magnetita com ilmenita em treliça e composta externa, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	115
Figura 56 - Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, mostrando cristal de ilmenita individual e suas associações, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.	116
Figura 57 - Histograma Comparativo dos dados de suscetibilidade magnética (SM) obtidos com bobina plana e cilíndrica nas rochas estudadas.	118
Figura 58 - Diagrama $T \times \log fO_2$.	120
Figura 59 - Histograma Comparativo referente aos dados de suscetibilidade magnética (SM) do Tonalito e Granodiorito Rio Maria.	123
Figura 60 - Histograma Comparativo referente aos dados de suscetibilidade magnética (SM) do Trondhjemito, Associação Tonalítica - Trondhjemítica, Tonalito Arco Verde, Complexo Tonalítico Caracol e Trondhjemito Água Fria.	125
Figura 61 - Histograma Comparativo referente aos dados de suscetibilidade magnética (SM) do Granito Planalto, Granito Estrela e Granito Serra do Rabo.	127
Figura 62 - Histograma Comparativo referente aos dados de suscetibilidade magnética (SM) do Gabro e Metagabros Águas Claras.	129
Figura 63 - Histograma Comparativo dos dados de suscetibilidade magnética (SM) do Biotita-granito/Leucogranito, Granito foliado e Granito Xinguara.	131
Figura 64 - Histograma Comparativo dos dados de suscetibilidade magnética (SM) do Microgranito/Dacito Pórfiro, Granito Santa Rosa e Diques da Região de Rio Maria.	132

TABELAS

Tabela 1 - Valores de suscetibilidade magnética (SM) obtidos em amostras com baixa SM usando diferentes sensores.	35
Tabela 2 - Valores de suscetibilidade magnética (SM) obtidos em padrões de alta SM fornecidos pelo IAG - USP.	37
Tabela 3 - Valores de suscetibilidade magnética (SM) obtidos em amostras com alta SM usando diferentes sensores.	37
Tabela 4 - Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Tonalito/ Quartzo-Diorito.	41
Tabela 5 - Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Tonalito/ Quartzo-Diorito.	42
Tabela 6 - Percentis dos dados de SM do Tonalito/ Quartzo-Diorito.	42
Tabela 7 - Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Biotita-granito/ Leucogranito.	51
Tabela 8 - Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Biotita-granito/ Leucogranito.	52
Tabela 9 - Percentis dos dados de SM do Biotita-granito/ Leucogranito.	52
Tabela 10 - Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Granito Foliado.	63
Tabela 11 - Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Granito Foliado.	64
Tabela 12 - Percentis dos dados de SM do Granito foliado.	64
Tabela 13 - Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Gabro.	76
Tabela 14 - Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Gabro.	77
Tabela 15 - Percentis dos dados de SM do Gabro.	77
Tabela 16 - Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Trondhjemito.	87
Tabela 17 - Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Granito Planalto.	93
Tabela 18 - Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Granito Planalto.	95
Tabela 19 - Percentis dos dados de SM do Granito Planalto.	95
Tabela 20 - Dados de SM da Associação Tonalítica - Trondhjemítica.	105
Tabela 21 - Dados de SM do Microgranito/Dacito Pórfiro.	112

RESUMO

As associações magmáticas estudadas estão localizadas na região de Serra Dourada entre as localidades de Vila Treze e Vila Planalto, no município de Canaã dos Carajás, e a leste da sede deste município. A região está inserida na zona de transição entre o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria e a Bacia Carajás próximo à porção extremo sudeste da estrutura sigmoidal da Falha Carajás.

Foram realizados testes metodológicos em amostras com baixa suscetibilidade magnética ($SM < 1 \times 10^{-3}$ Slv), os quais consistiram em comparações entre valores obtidos através dos sensores denominados bobina plana e bobina cilíndrica (SMS), e revelaram diferenças expressivas entre os valores de SM obtidos com os dois sensores mencionados. Notou-se que, quanto mais baixo o valor de SM, maior a diferença da bobina plana em relação à cilíndrica, porém as medidas obtidas não mostraram um padrão regular, impossibilitando o cálculo de um fator de correção, o qual permitiria compensar as diferenças verificadas. Testes realizados com padrões e amostras com valores relativamente elevados de SM ($> 1 \times 10^{-3}$ Slv), mostraram que, ao contrário do observado em amostras com baixa SM, os valores obtidos com as duas bobinas tendem a ser próximos, sendo, porém, sistematicamente mais baixos aqueles fornecidos pela bobina plana em relação à bobina cilíndrica. Isto revelou ser necessária a utilização de um fator de correção de 1,7 para compensar os valores mais baixos fornecidos pela bobina plana em relação à bobina cilíndrica. A partir dos resultados obtidos nestes testes, foram considerados neste trabalho apenas os valores de SM obtidos com bobina plana acima de 1×10^{-3} Slv multiplicados por 1,7, descartando-se aqueles inferiores a 1×10^{-3} Slv, por serem imprecisos. Procurou-se compensar isso realizando, em amostras de baixa SM, medidas através da bobina cilíndrica.

As rochas estudadas foram subdivididas em dois grupos principais: o primeiro com predominância de valores de SM elevados, composto por Biotita-granito/Leucogranito (SM média de $8,72 \times 10^{-3}$ Slv), Granito Foliado (SM média de $1,38 \times 10^{-2}$ Slv), Microgranito/ Dacito-Pórfiro (SM média de $9,28 \times 10^{-3}$ Slv) e o Gabro (SM média de $2,69 \times 10^{-2}$ Slv); e o segundo com predominância de valores mais baixos de SM, representados pelo Trondhjemito (Valor representativo de SM $7,54 \times 10^{-5}$ Slv) e pela Associação Tonalítica-Trondhjemítica (Valor representativo de SM $5,11 \times 10^{-5}$ Slv).

O Tonalito/Quartzo-Diorito e o Granito Planalto exibem características distintas dos demais grupos por apresentar grande variação de SM. O primeiro revela fortes evidências de neoformação de cristais de magnetita em condições *subsolidus*, os quais são responsáveis pelos altos valores de SM fornecidos por certas amostras. No segundo a causa das variações de SM ainda não foram esclarecidas, necessitando de estudos complementares.

Os principais minerais opacos identificados nas associações magmáticas estudadas foram: magnetita, ilmenita, hematita (martita) e, mais raramente, pirita e calcopirita. As rochas de mais altos valores de SM, Biotita-granito/Leucomonzogranito, Granito Foliado, Dacito Pórfiro e Gabro, são também as mais ricas em magnetita, a qual se encontra geralmente na forma de cristais preservados sem muita evidência de oxidação, podendo, por vezes, ocorrerem alterados incipientemente. Tais rochas foram formadas sob condições oxidantes, próximas às do tampão NNO. Os valores mais baixos de SM correspondem ao Trondhjemito e Associação Tonalítica - Trondhjemítica, rochas com conteúdos modais de magnetita relativamente baixos ou até mesmo nulos. Isto pode refletir, ainda, a desestabilização deste mineral através da ação de processos hidrotermais, processos estes freqüentes nas rochas estudadas. O mineral óxido de Fe e Ti predominante nestes grupos é a ilmenita. Tais características magnéticas revelam que estas rochas provavelmente se formaram em condições mais redutoras abaixo do tampão FMQ. Os estágios de evolução da magnetita e da ilmenita identificados nos granitóides oxidados foram: (1) a titanomagnetita e a ilmenita I e C se formaram em equilíbrio no estágio magmático; (2) a partir de processos de oxi-exsolução, a titanomagnetita evoluiu para intercrescimentos de magnetita pura com ilmenita em treliça (Ilm T) e em manchas (ilm P); (3) em amostras mais intensamente transformadas, a magnetita apresenta-se homogênea e desprovida de ilm T e houve reequilíbrio de ilmenita I e C; (4) em um estágio posterior, a ilmenita foi intensamente alterada para associações complexas de óxidos, indicando a presença de soluções fortemente oxidantes, sendo, porém, a magnetita pouco afetada por tais processos. Comparações entre as rochas estudadas e rochas similares da Província Mineral de Carajás, indicaram, de modo geral, semelhanças entre suas características magnéticas.

ABSTRACT

The studied magmatic associations are located in the Serra Dourada area between the localities of Vila Treze and Vila Planalto, or to the east of Canaã dos Carajás city. The studied areas are situated within the so called Transition Domain which lies between the Rio Maria Granite Greenstone Terrane and the Carajás Basin near the extreme southeast of the sigmoidal structure of the Carajás Fault.

Methodologic tests carried out on low magnetic susceptibility ($MS < 1 \times 10^{-3}$ Slv) samples consisted in comparisons between values acquired with flat and SMS cylindrical coils of SI-1 magnetic susceptibility meter. These tests revealed significant differences between the MS values acquired with the flat and cylindrical coils. In the samples with very low MS values, larger differences between the results were registered. Moreover, the obtained MS values did not show a regular pattern. This precluded the calculation of a correction factor in order to compensate for the different results. For samples with relatively high MS ($> 1 \times 10^{-3}$ Slv) values, the tests showed that, in contrast with the observed in low MS samples, the values obtained with the two mentioned coils were similar although systematically lower in those derived from the flat coil. This demonstrated the need of a correction factor, defined as 1.7, in order to compensate for the much lower values derived from the flat coil in comparison to the cylindrical coil measurements. From the results obtained in these tests, only the MS values obtained from the flat coil above 1×10^{-3} Slv multiplied by 1.7 were considered in this work. Those lower than 1×10^{-3} Slv were ignored as imprecise. This was compensated by employing the cylindrical coil for measurements in samples with low MS.

The studied rocks were subdivided into two principal groups: The first has predominance of relatively high MS values and is composed of biotite-granite/leucogranite (MS average 8.72×10^{-3} Slv), foliated granite (MS average 1.38×10^{-2} Slv), microgranite/dacite porphyry (MS average 9.28×10^{-3} Slv) and gabbro (MS average 2.69×10^{-2} Slv); the second has dominance of low MS values and is represented by trondhjemite (representative MS value of 7.54×10^{-5} Slv MS average 7.54×10^{-5} Slv) and tonalite-trondhjemite association (representative MS value of 5.11×10^{-5} Slv). The tonalite/quartz-diorite and the Planalto Granite display distinct

characteristics from the other groups as they present strong variation in MS. In the Tonalite-quartz diorite there are strong evidence for neoformation of magnetite crystals under *subsolidus* conditions, these are responsible for the high MS values shown for some samples of this group. In the case of the Planalto Granite the reasons for the large MS variations are not yet clear understood and require additional studies.

The opaque minerals identified in the studied magmatic associations are magnetite, ilmenite, hematite (martite), and rarely, pyrite, and chalcopyrite. The rocks of the high MS group, biotite granite/leucomonzogranite, foliated granite, dacite porphyry and gabbro are, compared to low MS group, also enriched in magnetite which is generally preserved or sometimes incipiently altered. These rocks were formed under oxidizing conditions, probably near the NNO buffer. The low MS group includes the trondhjemite and the tonalite-trondhjemite association which contain low modal or are devoid of magnetite. Ilmenite is the predominant Fe-Ti oxide mineral in this group of rocks. The magnetic characteristics reveal that these rocks probably formed in reducing conditions below the FMQ buffer. In the oxidized granitoids, the identified stages of magnetite and ilmenite evolution comprise: (1) the titanomagnetite and individual and composite ilmenite were formed in equilibrium during the magmatic stage; (2) Oxidation processes transformed the titanomagnetite in intergrowths of pure magnetite with *trellis* and *patch* ilmenite; (3) in more intensely altered samples, the magnetite is homogeneous and devoid of *trellis* ilmenite and composite and individual ilmenite were reequilibrated; (4) in a later stage, ilmenite was intensely altered to complex oxide associations, indicating the presence of strongly oxidizing solutions, that do not intensely affected the magnetite. Comparisons between the studied rocks and similar granitoids found in the Carajás Metallogenic Province indicate that, in general, their magnetic characteristics are not distinct.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A Província Mineral de Carajás (PMC) é caracterizada pela sua grande variedade de recursos minerais, destacando-se os depósitos de ferro, ouro, manganês, níquel e cobre (DOCEGEO 1988). O conhecimento sobre a geologia da PMC deve-se em grande parte a trabalhos de mapeamento geológico e prospecção executados pelas equipes da DOCEGEO e CPRM. O Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG) e o Laboratório de Geologia Isotópica do Centro de Geociências da UFPA destacaram-se nos últimos anos pelos trabalhos detalhados na região, em particular sobre as rochas granitóides.

As principais associações magmáticas estudadas estão localizadas na região de Serra Dourada entre as localidades de Vila Treze e Vila Planalto (Figura 1), no município de Canaã dos Carajás (sub-área I; Soares 2002), e a leste da sede deste município (sub-área II; Gomes 2003; Gomes & Dall'Agnol 2003, 2004, submetido; Gomes *et al.* 2004), sendo os dados obtidos neste estudo integrados com aqueles da sub-área III (Oliveira 2003). Todas as pesquisas aqui mencionadas estão vinculadas ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides, ao qual se relaciona igualmente o presente trabalho. Este foi desenvolvido em colaboração com os pesquisadores responsáveis por cada uma das sub-áreas. A presente dissertação está vinculada igualmente ao Núcleo PRONEX "Magmatismo, evolução crustal e metalogênese da Província Mineral de Carajás e províncias adjacentes", coordenado pelo Centro de Geociências da UFPA. Ela representa um aprofundamento dos estudos previamente desenvolvidos pela autora da presente dissertação (Nascimento 2003).

1.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Mineral de Carajás é constituída por unidades litoestratigráficas que, na sua grande maioria, possuem idade arqueana conforme dados geocronológicos de Machado *et al.* (1991), Macambira & Lafon (1995) e Macambira & Lancelot (1996). Para Costa *et al.* (1995) existem na região três domínios tectônicos: Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria (TGGRM), limitado a norte e a sul pelos Cinturões de Cisalhamento Itacaiúnas (CCI) e Pau D'arco (CCPD), respectivamente. Entretanto, para

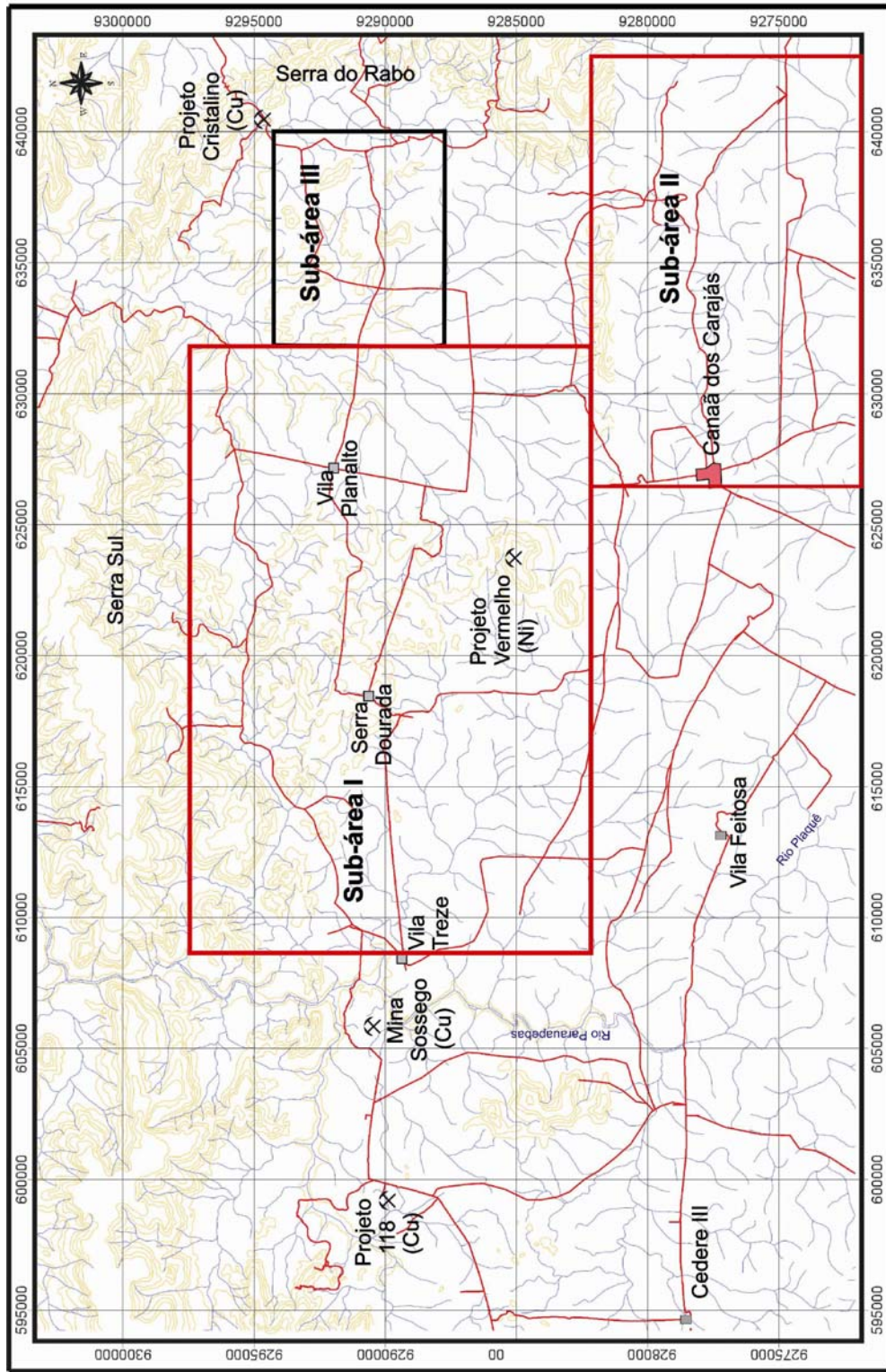


Figura 1: Mapa de Localização das sub-áreas de estudo do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides na região de Canaã dos Carajás. Sub-área I - Serra Dourada - doutoramento de J.E.B. Soares (em andamento); Sub-área II - Leste de Canaã dos Carajás - Mestrado de A.C.B. Gomes (Gomes 2003); Sub-área III - TCC de M.A.Oliveira (Oliveira 2003). Base cartográfica cedida pela CVRD.

Althoff (1996) e Dall'Agnol *et al.* (1996, 2006), o CPPD é somente uma extensão para sul do TGGRM, que se prolongaria, pelo menos, até as cercanias de Redenção. Tal hipótese foi reforçada por estudos recentes de Rolando & Macambira (2002, 2003) na região de Inajá.

Souza *et al.* (1996) e Dall'Agnol *et al.* (2006) subdividiram a Província Mineral de Carajás em dois domínios tectônicos: TGGRM e Bloco Carajás (BC), que corresponde aproximadamente ao Cinturão de Cisalhamento Itacaúnas de Costa *et al.* (1995). Os limites entre esses dois blocos ainda não estão estabelecidos, não devendo estar situados imediatamente a sul do Granito Xinguara como interpretado por Costa *et al.* (1995) e sim a norte do *greenstone belt* de Sapucaia (Souza *et al.* 1996), conforme demonstrado por Leite (2001). Para Dall'Agnol *et al.* (2006), a região entre Xinguara e a porção sul da Bacia de Carajás, embora pertencendo ao TGGRM, seria uma zona de transição entre este e a Bacia Carajás (BC). Araújo & Maia (1991) (Figura 2) incluem, no Cinturão Itacaúnas, os Complexos Pium e Xingu, o Complexo Granítico Estrela, os grupos Sapucaia, Grão Pará e Rio Novo, bem como a Suíte Plaquê, e dividem este cinturão em dois domínios estruturais: O Domínio Imbricado que se estende da borda sul da Serra dos Carajás até a região situada a sul da cidade de Xinguara e o Domínio Transcorrente localizado na Serra dos Carajás. Por outro lado, Leite (2001) demonstrou que o TGGRM se estende pelo menos até a N da faixa de *greenstone* de Sapucaia (Supergrupo Andorinhas).

O embasamento da Bacia Carajás e do Domínio de Transição entre esta bacia e o TGGRM é formado pelos complexos Pium (3002±14 Ma, Pidgeon *et al.* 2000) e Xingu (2859±2 Ma, Machado *et al.* 1991). As rochas supracrustais do Supergrupo Itacaúnas (2732±3 Ma, 2761±3 Ma, 2759±3 Ma – Machado *et al.* 1991) formam o preenchimento da Bacia Carajás. O magmatismo máfico - ultramáfico é representado pelo complexo Luanga (2763±6 Ma, Machado *et al.* 1991). Estas unidades são recobertas pelas rochas sedimentares da formação Águas Claras (Araújo & Maia 1991, Nogueira 1995, Pinheiro 1997). Os granitos tipo S (?) da Suíte Plaquê, com idade de 2736±24 Ma (Avelar *et al.* 1999), estão restritos ao Domínio de Transição (Araújo & Maia 1991). Granitos subalcalinos tipo A, subdivididos em mais antigos - Complexo Granítico Estrela (2763±7

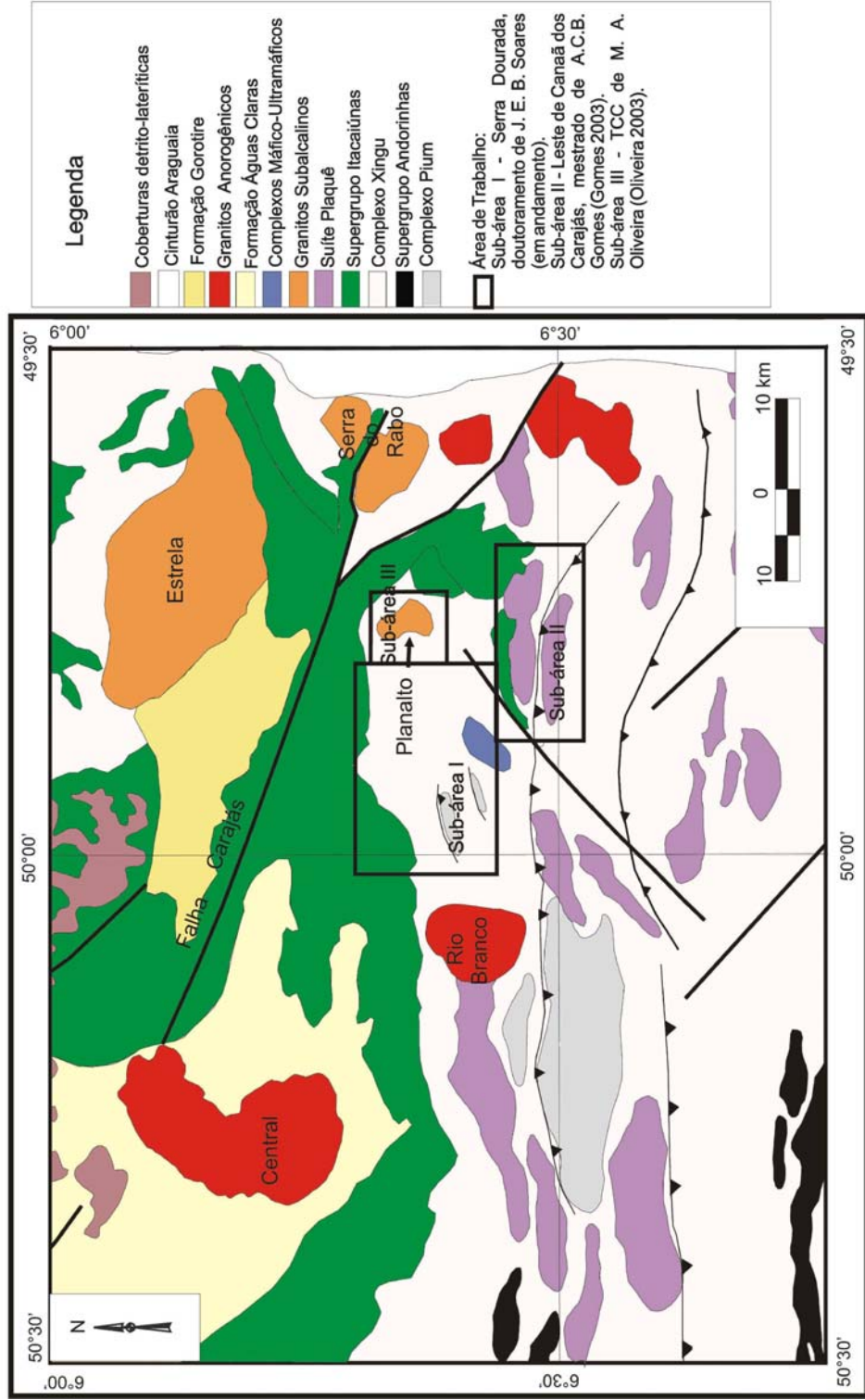


Figura 2: Mapa Geológico da Bacia Carajás e Domínio de Transição (Araújo & Maia 1991, Modificado de Gomes 2003).

Ma, Barros *et al.* 2001), é formado predominantemente por monzogranitos deformados (Barros 1991; Barros e Dall’Agnol 1994; Barros *et al.* 1997), granitos Serra do Rabo ($2743 \pm 1,6$ Ma, Sardinha & Barros 2002, Sardinha 2002) e Planalto (2747 ± 2 Ma, Huhn *et al.* 1999; 2734 ± 4 Ma Sardinha *et al.* 2004, Sardinha 2005) – e mais jovens tipo Old Salobo (2573 ± 2 Ma, Machado *et al.* 1991), ocorrem tanto na Bacia Carajás como no Domínio de transição. Para Barros & Barbey (1998), a colocação do Complexo Granítico Estrela teria sido controlada por mecanismos de inchamento (*ballooning*), sendo influenciada ainda por esforços regionais coaxiais concomitantes. No Paleoproterozóico ocorreu o magmatismo gerador dos granitos anorogênicos, similares aos do TGGRM, representados na região estudada pela Suíte Serra dos Carajás (1880 ± 2 Ma, Machado *et al.* 1991). As rochas sedimentares da Formação Gorotire recobrem as rochas mencionadas (Pinheiro 1997, Lima & Pinheiro 2001, Lima 2002).

1.3 - GEOLOGIA LOCAL

1.3.1 - Região de Serra Dourada (Sub-área I)

A região de Serra Dourada está inserida na porção extremo sudeste da estrutura sigmoidal de Carajás, onde ocorrem rochas metaultramáficas, metavulcânicas félsicas, metamáficas, tonalitos/trondhjemitos, granitos, gabros/dioritos e xistos, possivelmente arqueanos, além de microgranito porfirítico paleoproterozóico (?), conforme trabalhos feitos na área pela equipe de geólogos da Mineração Serra do Sossego e levantamentos geológicos vinculados à tese de doutorado de José Erimar Bezerra Soares. A seguir serão sumarizadas as características geológicas das principais associações litológicas, com base em Soares (2002) (Figura 3):

Seqüência Máfica-Ultramáfica - Nas proximidades de Serra Dourada e ao longo do Córrego da Viúva, ocorrem talco-xistos, metabasaltos e dacitos, que podem representar uma seqüência máfica-ultramáfica correlacionável ao Supergrupo Itacaiúnas ou então restos de *greenstone belts* similares aos identificados na região de Rio Maria. Essas rochas estão alteradas hidrotermalmente.

Tonalito/Quartzo-Diorito - Esta associação ocupa grande parte da porção norte da sub-área e provavelmente representa, dentre os granitóides, o grupo de rochas mais antigo da região de Serra Dourada. Ocorre na forma de lajedos e blocos, constituindo

relevos de serras e colinas. Trata-se de rochas cinza, de granulação variando de fina a grossa, geralmente contendo enclaves máficos, que apresentam graus variados de alteração hidrotermal. Na porção NW da sub-área, ocorrem rochas tonalíticas de granulação fina, com efeitos de metamorfismo de contato, isoladas dentro de um corpo de biotita-granito mais jovem, representando, possivelmente, megaenclaves. Nas proximidades da Vila Planalto as rochas dessa associação exibem granulação mais grossa e parecem estar menos alteradas hidrotermalmente do que aquelas que afloram mais a W.

Deformação tectônica e processos hidrotermais afetaram intensamente esse grupo de rochas, dificultando muitas vezes sua identificação, em função da transformação das litologias primárias em hidrotermalitos (brechas, biotita-xistos e hidrotermalitos a escapolita, biotita, magnetita, apatita, etc).

Trondhjemito - As rochas trondhjemíticas afloram a sul de Vila Planalto e se estendem por uma faixa estreita em direção a oeste. Também ocorrem associadas aos tonalitos e gabros no domínio NW da área. Contrariamente aos tonalitos, ocorrem em geral em afloramentos pouco salientes no relevo, na forma de blocos e lajedos de dimensões métricas, comumente deformados e de aspecto sujo. As rochas são, geralmente, esbranquiçadas com eventuais pontuações rosadas devidas à alteração hidrotermal. Exibem granulação média, graus variáveis de alteração hidrotermal, alternando-se zonas intensamente fraturadas, com zonas pouco ou nada fraturadas. As rochas mais fraturadas estão mais alteradas hidrotermalmente.

Granito Foliado - Esta associação de rochas está restrita à porção sul da sub-área, onde tem ampla distribuição. Ocorre na forma de lajedos e blocos em relevo relativamente plano ou então constitui colinas suaves e morros arredondados. As rochas que constituem este grupo são biotita-granitos cinza-rosados e cinza. Os tipos cinza rosados são dominantes e possuem caráter inequigranular e granulação variável de grossa a fina. Apresentam foliação segundo o *trend* regional E-W, sendo que localmente exibem foliação N-S. Os tipos cinza são subordinados, possuem granulação média a fina, pelo fato de estarem mais deformados. As rochas de granulação mais fina correspondem a milonitos.

Biotita Granito/Leucogranito Médio a Grosso - Ocorre na porção central da área mapeada e constitui um *stock* alongado na direção E-W, que está inserido, geralmente, em relevo algo acidentado (colinas suaves). Esse *stock* granítico é constituído por rochas isotrópicas, de cor rosa claro, granulação média a grossa, que apresentam graus variáveis de alteração hidrotermal. Leucogranitos de granulação fina a média, além de veios pegmatíticos ocorrem associados. Além disso, alguns leucogranitos finos a médios, similares ao granito Xinguara estudado por Leite (2001), também ocorrem na área, podendo representar uma fácies de borda ou, menos provavelmente, pequenos corpos de origem distinta.

Gabro/Diorito - Representam, na área de estudo, rochas intrusivas nos litotipos acima descritos, formando pequenos corpos alongados na direção E-W, geralmente não representáveis na escala de mapeamento adotada. São rochas isotrópicas, localmente foliadas, com arranjos subofíticos a ofíticos, de cor preta e esverdeada, granulação fina a média, sendo que, localmente, ocorrem tipos grossos subordinados. As ocorrências desses corpos hipabissais são bastante comuns na sub-área I, principalmente na sua porção norte. Os gabros mapeados são intrusivos nas rochas granitóides, de idade, provavelmente, arqueana, e tal como as rochas granitóides, são afetados pelas transformações hidrotermais.

Vulcânicas da Formação Parauapebas - Nas porções extremo norte e noroeste da sub-área, tem-se um relevo de grandes serras, já no contexto do Bloco Carajás, onde não há exposição de rochas frescas. Porém, trabalhos realizados pela MSS (sondagens) registraram, além de metabasaltos dominantes, dacitos porfiríticos, isotrópicas a foliados, e alterados hidrotermalmente. Grande parte dessas rochas vulcânicas foi transformada em xistos, sendo consideradas como pertencentes ao Grupo Grão Pará.

Corpo Máfico-Ultramáfico do Vermelho - Na porção sul da sub-área, tem-se um platô laterítico alongado na direção NE, onde ocorre a jazida de Ni do Vermelho. Segundo DOCEGEO (1988), trata-se de um corpo máfico-ultramáfico, composto por metagabros, gabros, piroxenitos, peridotitos e dunitos. De acordo com DOCEGEO (1988), este corpo é intrusivo em rochas do Complexo Xingu (granito-gnaiss,

ortognaisse, quartzo-diorito e anfibolitos), que foram denominadas informalmente de granito foliado (Soares 2002).

Microgranito Porfirítico/Dacito Pórfiro - Ocorrem na forma de diques, orientados segundo NNE, de pequena possança, cortando as unidades supra descritas. Apresentam textura porfirítica, coloração cinza rosado, matriz fina e, provavelmente, representam diques tardios de idade paleoproterozóica.

A distribuição e localização das amostras estudadas se encontram no mapa de amostragem (Figura 4). Todas as amostras, assim como a classificação e os grupos litológicos são devidos a Soares (2002).

1.3.2 - Região a Leste de Canaã dos Carajás (Sub-área II)

Conforme descrito por Gomes (Gomes 2003; Gomes & Dall'Agnol 2003, submetido; Gomes *et al.* 2004, Sardinha *et al.* 2004; Figura 5), foram identificadas nesta região rochas supracrustais (seqüências metavulcano-sedimentares), rochas básicas, diversas associações granitóides e coberturas lateríticas. As rochas supracrustais correspondem ao Supergrupo Itacaiúnas; as rochas básicas são anfibolitos e gabros (deformados e não deformados). As associações granitóides foram divididas em: granitóides indiferenciados; leucomonzogranito (LMzG); granitos subalcalinos correlacionados ao Granito Planalto; e Associação Tonalítica-Trondhjemítica (ATTr).

Anfibolitos - Estas rochas ocorrem como enclaves no Leucomonzogranito e no Granito Planalto. Afloram na forma de matacões de coloração cinza-escuro e granulação fina a muito fina. São rochas bastante deformadas, apresentam segregação mineral, com níveis ricos em anfibólio, biotita, clinopiroxênio e outros quartzo-feldspáticos. São consideradas as rochas mais antigas presentes na área de estudo.

Granitóides Indiferenciados - Afloram na forma de lajedos e apresentam uma deformação, aparentemente análoga às dos demais granitóides identificados na sub-área, indicando que a colocação dos mesmos possa ser sincrônica. Esta unidade pode representar, possivelmente, os granitóides mais antigos da área.

Leucomonzogranito (LMzG) - O LMzG corresponde a um granitóide potássico de afinidade cálcico-alcálica (Gomes *et al.* 2004). Aflora no WSW da sub-área II (Fig. 5),

na forma de lajedos, sendo as rochas desta unidade anteriormente cartografadas como complexo Xingu (Araújo & Maia 1991, Figura 2; Lima 2002; Oliveira 2002), Gomes (2003) estima que o LMzG seja recoberto pelo Supergrupo Itacaiúnas e cortado pelo Granito Planalto, Associação Tonalítica-Trondhjémítica e Gabros. Essa hipótese foi fortalecida em função da idade de $2928 \pm 1\text{Ma}$ (Pb-Pb em zircão por evaporação), obtida por Sardinha et al. (2004) para essa unidade.

Supergrupo Itacaiúnas - São seqüências supracrustais cortadas pelo GP e recobrem as rochas do LMzG. Estão presentes no norte da área mapeada. Geomorfologicamente correspondem a serras com cristas bem desenvolvidas, alongadas em direção próxima de E-W. Estas seqüências são formadas por formações ferríferas, metabasaltos e talco-xistos. Machado *et al.* (1991) obtiveram idades de $2761 \pm 3\text{Ma}$ e $2759 \pm 2\text{Ma}$ para rochas desta unidade (U-Pb em zircão).

Associação Tonalítica-Trondhjémítica (ATTr) - Esta associação (Gomes & Dall'Agnol submetido) é formada por dois pequenos corpos (Figura 5). No corpo sul da sub-área, anteriormente mapeados como Suíte Plaquê, estão expostas rochas intensamente deformadas com bandamento magmático marcante alternando níveis tonalíticos e trondhjémíticos. No corpo de noroeste, antes mapeado como Complexo Xingu, afloram rochas na forma de matacões com coloração cinza (tonalito) a esbranquiçada (trondhjémito) com textura equigranular isotrópica. Rochas da ATTr, datadas por Sardinha *et al.* (2004) pelos métodos Pb-Pb e U-Pb em zircão, forneceram idades de $2750 \pm 3\text{Ma}$ e $2765 \pm 39\text{Ma}$, sendo assumido que sejam pouco mais jovens que o Supergrupo Itacaiúnas e algo mais antigas que o Granito Planalto.

Granito Planalto (GP) - Constitui-se de quatro corpos alongados na direção E-W subparalelos entre si, os quais foram anteriormente cartografados como Suíte Plaquê (Araújo & Maia 1991, Fig. 2; Lima 2002) e, por vezes, como Complexo Xingu (Oliveira 2002). Seus afloramentos são formados geralmente por matacões, ocorrendo pequenos lajedos nas encostas ou pé de serras. Suas rochas se distinguem das demais por serem leucocráticas, de cor rosada com pontos escuros, granulação predominantemente média a grossa, variando de moderada a intensamente deformadas. São granitos subalcalinos do tipo A que forneceram idade de $2734 \pm 4\text{Ma}$ (Pb-Pb em zircão por evaporação, Sardinha *et al.* 2004), e foram correlacionados por

sua idade e características geoquímicas (Gomes *et al.* 2004) ao Granito Planalto, cuja área-tipo se situa na sub-área III (Figs. 1 e 2).

Gabros - Os gabros presentes na área são divididos em gabros deformados e gabros não deformados. Os gabros deformados afloram na forma de um dique com direção próxima de E-W, intrusivo no LMzG, no vale entre duas serras do Granito Planalto, no centro da sub-área II. São rochas de coloração cinza-escuro, granulação fina, cuja deformação é visível apenas em escala microscópica. Já os gabros não deformados formam diques orientados segundo NNW, identificados na porção E da sub-área (Figura 5).

A distribuição e localização das amostras estudadas se encontram no mapa de amostragem (Figura 6).

1.4 - SÍNTESE DE ESTUDOS PRÉVIOS DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA SOBRE OS GRANITÓIDES ARQUEANOS DE CARAJÁS E RIO MARIA

O estudo de suscetibilidade magnética (SM) de rochas granitóides em conjunto com o de minerais óxidos de Fe e Ti vem se tornando uma ferramenta de grande aplicação em diversas áreas de pesquisa geológica face aos resultados positivos que vem fornecendo. A seguir, são destacadas algumas aplicações desse tipo de estudo na Região de Carajás e Rio Maria.

Magalhães (1991) utilizou os valores de SM do Granodiorito Rio Maria, como indicadores da extensão da zona de magnetita na auréola de contato, tomando por base que as amostras mais magnéticas desse corpo concentram-se nas regiões mais próximas ao contato com as intrusões graníticas Musa e Jamon, enquanto que o restante das amostras apresenta SM inferior. A referida autora assumiu que o metamorfismo de contato acarretou a formação de magnetita.

Magalhães & Dall'Agnol (1992), Figueiredo & Magalhães (1993), Magalhães *et al.* (1994), Soares (1996), Figueiredo (1997) e Leite *et al.* (1997), a partir de estudos de granitóides arqueanos no sudeste do Pará (Granodiorito Rio Maria, Tonalito Arco Verde e Granito Garantã, Complexo Tonalítico Caracol e Trondhjemito Água Fria), seccionados por granitos anorogênicos paleoproterozóicos (Musa e Jamon), destacam

a utilização dos valores de SM na caracterização e definição da extensão da auréola de contato de intrusões graníticas.

Soares (1997) realizou um estudo envolvendo petrografia, química mineral e suscetibilidade magnética nos Metagabros de Águas Claras, caracterizando os sucessivos eventos hidrotermais que afetaram as rochas primitivas de modo e intensidade diferentes.

Ferreira & Barros (2001) e Ferreira *et al.* (2002a, b) observaram no Complexo Granítico Estrela uma correlação positiva entre os valores de SM e o conteúdo de opacos. Uma correlação análoga foi também nitidamente observada nas rochas granitóides do Japão (Ishihara 1981). A presença marcante da ilmenita nas fácies petrográficas estudadas é uma característica compatível com granitos da série ilmenita, na classificação de Ishihara (1977, 1981). Já no Granito Serra do Rabo, Ferreira *et al.* (2002a,b) observaram um comportamento particular. Este granito apresenta baixos valores de SM. No entanto, possui conteúdos modais de opacos maiores que 0,1%, fazendo com que este granito não se enquadre nos campos dos granitos das séries magnetita e ilmenita, definidos por Ishihara (1981). Este comportamento pode ser devido à imprecisão nas medidas de SM realizadas com bobina plana em amostras com baixa SM, conforme discutido adiante (Capítulo 6).

Nascimento (2003) realizou um estudo prévio sobre o comportamento magnético dos granitóides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, onde esses granitóides foram subdivididos em dois grupos: (1) grupo com altos valores de SM ($>1 \times 10^{-3}$ SIv), contendo quantidades significativas de cristais de magnetita bem preservados e supostamente reunindo corpos magmáticos formados em condições de fO_2 relativamente altas; (2) grupo com valores relativamente baixos de SM ($<1 \times 10^{-3}$ SIv) e conteúdos muito pequenos ou nulos de magnetita, indicando sua cristalização em condições mais redutoras (baixa fO_2).

Oliveira (2003) desenvolveu um estudo preliminar envolvendo suscetibilidade magnética e opacos nas diferentes fácies do Granito Planalto. Este apresenta valores de SM moderados quando comparado a outros corpos granitóides da Amazônia Oriental. Não foi observada, naquele trabalho, uma boa correlação entre SM e conteúdo de opacos das fácies do Granito Planalto. As amostras da fácies biotita-

hornblenda-monzogranito são as mais ricas em magnetita preservada e apresentam os maiores valores de SM. Já as amostras da fácies hornblenda-biotita-monzogranito, apesar de possuírem conteúdo modal de opacos expressivo, apresentam ilmenita como opaco dominante, resultando em baixos valores de SM.

2 - APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A região de Canaã dos Carajás é uma área de ocorrência de rochas magmáticas arqueanas bastante diversificadas, tendo se especulado sobre a possível influência destas na geração das mineralizações de Cu e Au identificadas na região. O mapeamento geológico, bem como a caracterização petrográfica e geoquímica dos granitóides, vêm sendo desenvolvidos pelos geólogos José E. B. Soares, Alex Souza Sardinha e Alan C. B. Gomes ao longo das teses de doutorado dos dois primeiros (Soares 2002, Sardinha 2005) e da dissertação de mestrado do último (Gomes 2003).

Estudos de petrologia magnética, envolvendo medidas de suscetibilidade magnética, associados com a caracterização dos minerais óxidos de Fe e Ti, vêm sendo bastante utilizados em pesquisas de cunho petrológico e metalogenético (Ishihara 1981; Lapointe *et al.* 1986; Magalhães 1991; Magalhães *et al.* 1994; Leite *et al.* 1997; Dall'Agnol *et al.* 1997; Figueiredo 1999; Oliveira *et al.* 2001; Oliveira 2003 e Nascimento 2003), tendo recebido especial atenção do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitóides (GPPG), ao qual se vincula o presente estudo.

Não obstante a sua grande importância para a compreensão da evolução petrológica e para a avaliação do potencial metalogenético de diferentes associações magmáticas, tem-se poucas informações sobre o comportamento magnético em termos de suscetibilidade magnética (SM), minerais óxidos de Fe e Ti, bem como sobre as condições de fugacidade de oxigênio nas quais foram formadas as diferentes rochas magmáticas já identificadas na região de Canaã dos Carajás. O estudo de Nascimento (2003) foi, em parte, limitado pelo reduzido número de amostras disponíveis. Com a disponibilidade de um maior número de amostras, a perspectiva de aprofundamento do estudo mineralógico através do uso do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), e a possibilidade futura de integração dos dados de SM com os dados geoquímicos (gerados ou a serem gerados pelos demais pesquisadores do GPPG), pretende-se melhorar o conhecimento da petrologia magnética e, até mesmo, metalogenético das rochas desta região. A presente dissertação representa um esforço inicial nessa direção.

3 - OBJETIVOS

Tendo por base a disponibilidade de amostras e as informações sobre a geologia das várias associações de rocha a serem estudadas, são propostos para a presente pesquisa os seguintes objetivos:

- Caracterizar o comportamento magnético das diferentes rochas magmáticas identificadas nas sub-áreas I e II da região de Canaã dos Carajás (Figura I), estabelecendo comparações entre os valores de SM das mesmas;
- Caracterizar os minerais óxidos de Fe e Ti ocorrentes nas diferentes rochas e suas associações, procurando correlacionar estes dados com aqueles de SM;
- Avaliar os efeitos das alterações hidrotermais no comportamento da SM e dos minerais óxidos de Fe e Ti;
- Confirmar a natureza e as características dos minerais opacos presentes nas rochas, e aprofundar o estudo das suas relações texturais, através de observações em microscópio eletrônico de varredura (MEV);
- Avaliar as condições de fugacidade de oxigênio (fO_2) reinantes ao longo da cristalização e evolução das rochas estudadas com base nos dados de SM, associações de minerais de óxidos de Fe e Ti e fases máficas;
- Estabelecer comparações entre as associações estudadas e demais associações arqueanas similares da Província Mineral de Carajás, em termos de petrologia magnética.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Foi realizado um levantamento bibliográfico referente à geologia da região de Canaã dos Carajás e áreas adjacentes e sobre temas relacionados à petrologia magnética, suscetibilidade magnética e minerais opacos em rochas ígneas, bem como sobre o comportamento da SM em áreas mineralizadas e suas aplicações.

4.2 - MAPEAMENTO GEOLÓGICO E AMOSTRAGEM

A presente pesquisa está vinculada ao desenvolvimento da tese de doutorado de J.E.B Soares na região de Serra Dourada e a dissertação de mestrado de A.C.B Gomes na região imediatamente a leste de Canaã dos Carajás. Sendo assim, foi possível contar com amostras oriundas da realização do mapeamento geológico das mesmas, o qual envolveu diversas campanhas de campo. A autora da presente pesquisa participou de uma destas etapas. Dispunha-se, portanto, previamente, de amostragem de rochas representativas das principais unidades que afloram nas áreas estudadas.

4.3 - SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

As medidas de SM foram realizadas tanto em amostras de mão, serradas e com superfícies planas através da bobina plana (183 medidas), quanto em testemunhos de rochas (54 medidas) com tamanho variando entre 1,7 e 3 cm por meio da bobina cilíndrica SMS. Em ambos os casos, as amostras medidas eram representativas de cada associação de rocha estudada. Estes testemunhos foram utilizados em testes metodológicos visando avaliar a precisão e reprodutibilidade de medidas em amostras com baixa SM utilizando os diferentes tipos de sensores (Capítulo 6). As medidas foram realizadas empregando-se o suscetibilímetro SI-1, fabricado pela *SAPHIRE INSTRUMENTS*, disponível no laboratório de Petrologia Magnética do Centro de Geociências da UFPA, que permite medidas em materiais com SM variando de 1×10^{-6} a > 1 cgsv. Este aparelho possibilita, ainda, a elaboração de medidas de anisotropia de suscetibilidade magnética. O medidor SI-1 é um equipamento portátil que pode realizar medidas tanto no campo quanto em laboratório, neste caso envolvendo amostras de superfície ou de furos de sondagem, devido aos diversos tipos de sensores (bobinas)

que podem ser acoplados a ele. A SM da rocha é determinada pelo SI-1 através de medidas comparativas de indutância. O procedimento consiste primeiramente na obtenção das indutâncias da bobina em contato direto com o ar (sem amostra) e posteriormente em contato com a amostra, sendo a SM representativa de cada amostra calculada através da razão entre as medidas de indutância do ar e as medidas realizadas na amostra. Em cada amostra foi realizado um número variável de medidas, em função da superfície disponível, tomando-se, a média aritmética das medidas obtidas em cada amostra como representativa. Para as amostras com valores de SM > 1×10^{-3} Slv, os resultados assim obtidos foram, a seguir, multiplicados por um fator de correção (1,7) calculado com base em medidas efetuadas em amostras-padrão fornecidas pelo IAG-USP (Ver Capítulo 6). Este fator de correção visa eliminar diferenças entre medidas feitas empregando-se bobina cilíndrica, com fator de correção de volume definido, e bobina plana, sem fator de correção de volume definido. Os parâmetros utilizados para a realização das medidas de SM, para proporcionar uma melhor confiabilidade dos dados, foram: tempo (T) = 4s; número de repetições (N) = 2; volume (V) = 64,2; fator de calibração (CF) = 21,2 e unidade (U) = Slv.

O tratamento dos dados foi realizado com o programa "Statystic" versão 5.0, através da elaboração de diagramas de probabilidade e histogramas de frequência.

4.4 - ESTUDOS PETROGRÁFICOS E MINERALÓGICOS.

4.4.1 - Microscopia de Luz Transmitida.

As informações petrográficas apresentadas neste trabalho, referentes aos grupos de rochas estudados na região de Canaã dos Carajás, têm como base estudos feitos pelos geólogos José Erimar Bezerra Soares (Soares 2002) e Alan Cardek Brunelli Gomes (Gomes 2003), vinculados à realização de sua tese de doutorado e dissertação de mestrado, respectivamente. Entretanto, as amostras de mão e lâminas delgadas selecionadas para estudo de petrologia magnética foram igualmente examinadas pela autora, porém priorizando compreender a relação entre os minerais óxidos de Fe e Ti e os demais minerais formadores das rochas.

4.4.2 - Microscopia de Luz Refletida.

Com base nos dados de suscetibilidade magnética, geologia e petrografia existentes e a partir de amostras previamente selecionadas, foram confeccionadas lâminas polidas as quais foram analisadas em microscópio petrográfico em luz refletida e confrontadas com as observações em luz transmitida, com o intuito de caracterizar as associações e demais características texturais dos minerais de óxidos de Fe e Ti, bem como compreender o papel desses minerais ao longo da evolução dos corpos estudados.

4.4.3 - Microscopia Eletrônica de Varredura.

Esta etapa foi realizada no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LABMEV) do Centro de Geociências da UFGA, utilizando-se equipamento LEO modelo 1430, sob condições de voltagem de 20 kv. Os estudos foram desenvolvidos em lâminas polidas de amostras representativas das diversas unidades, as quais foram preparadas e metalizadas a carbono. Foram realizadas análises semi-quantitativas nas fases minerais de maior interesse para a pesquisa (Anexo 1), por meio de espectrometria de energia dispersiva de raios-x (EDS), acessório essencial para caracterização composicional dos minerais.

Os princípios gerais de funcionamento do MEV são descritos em Reed (1996). Em resumo, um feixe de elétrons ao incidir sobre um mineral excita os elétrons mais externos dos átomos e os íons constituintes, deslocando-os para outros níveis energéticos. Ao retornarem para sua posição inicial, esses elétrons liberam a energia adquirida, a qual é emitida na forma de comprimento de onda no espectro de raios-x. Um detector instalado na câmara de vácuo do MEV mede a energia associada a esses elétrons. Como os elétrons de um determinado átomo possuem energias distintas é possível, no ponto de incidência do feixe, determinar quais elementos químicos estão presentes naquele local e, assim, conhecer a composição química do mineral que está sendo observado. Isso permitiu uma melhor caracterização das principais fases minerais com ênfase nos minerais opacos presentes nas rochas estudadas, bem como nas suas relações texturais e evolução ao longo da cristalização das rochas e das suas transformações *subsolidus*.

4.5 - INTEGRAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Nesta etapa, foram feitas a integração e interpretação dos dados obtidos, e estabelecidas comparações com as informações disponíveis sobre a petrologia magnética de outras rochas magmáticas arqueanas da PMC.

5 - PRINCÍPIOS DA PETROLOGIA MAGNÉTICA.

A Petrologia Magnética integra estudos de suscetibilidade magnética, 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).

A suscetibilidade magnética (SM) de uma rocha está diretamente ligada à quantidade, tamanho dos grãos e modo de distribuição dos minerais ferromagnéticos nela contidos. Esses minerais, cujo equilíbrio é controlado pelas condições físico-químicas, são responsáveis pela intensidade e estabilidade da SM no decorrer do tempo.

Destaca-se, ainda, que 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 (Clark 1999).

Os minerais magnéticos formadores de rocha, mais importantes e comuns, podem ser representados dentro de três sistemas químicos (Haggerty 1979): a) FeO-TiO₂-Fe₂O₃ (Fig.7); b) sulfetos: Fe-Ni-S; e c) ligas metálicas: Fe-Ni-Co. Além destes, destacam-se os oxi-hidróxidos de ferro, geralmente representados por minerais como goethita e lepidocrocita. Entre os componentes de cada sistema podem existir, ainda, soluções sólidas e as propriedades magnéticas dos minerais formadores variam em função do grau de solubilidade do sólido. As composições dos minerais individuais são controladas por suas temperaturas iniciais de formação, pela composição química da rocha, pela presença do *solvus* ao longo da solução sólida e pela fO₂ e fS₂ (Haggerty 1979).

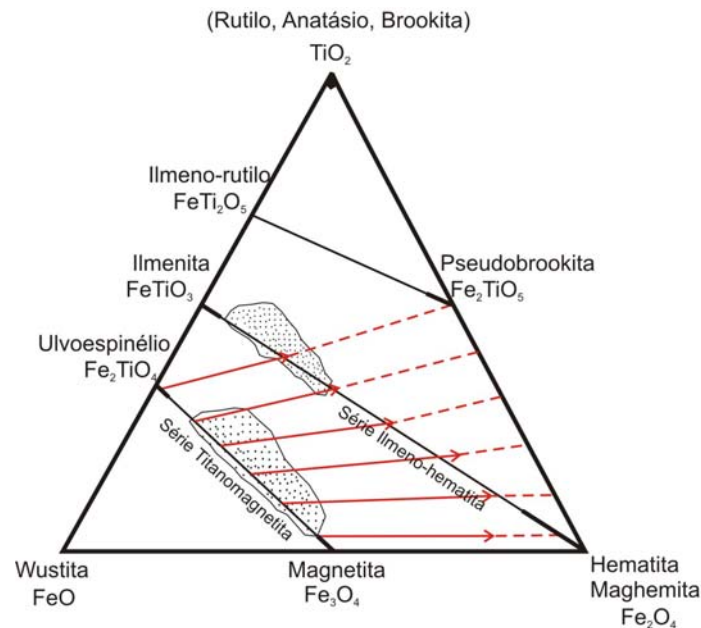
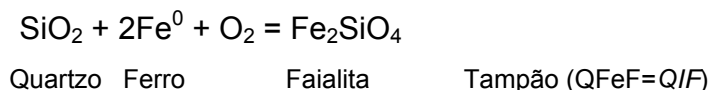
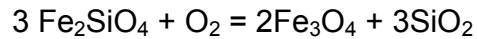


Figura 7: Diagrama Ternário do sistema $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$, mostrando os minerais óxidos de Fe e Ti mais comuns. Os campos pontilhados representam as composições químicas das soluções sólidas dos referidos óxidos encontrados na maioria das rochas ígneas. As setas indicam a direção do aumento da oxidação com razão Fe e Ti constante; as barras representam as composições dos minerais extremos das soluções sólidas e as linhas pretas às soluções sólidas entre: 1) magnetita-ulvoespinélio e 2) hematita-ilmenita, conforme Tarling (1971).

A fugacidade de oxigênio ($f\text{O}_2$) é o parâmetro físico mais influente na formação dos minerais magnéticos. É uma variável termodinâmica, medida em unidade de pressão e definida como atividade química do oxigênio (Clark 1999). Pode ser controlada em laboratório e caracterizada a partir de uma assembléia mineral. Este parâmetro é usado em sistemas geológicos para indicar o potencial de oxidação ou redução do Fe (Frost 1991; Fig. 8). Em condições de baixas fugacidades de oxigênio, tais como aquelas encontradas no núcleo da terra e em meteoritos, o Fe está presente como metal (Fe^0). Em fugacidades comparativamente mais elevadas e em sistemas portadores de sílica, o ferro ocorre como cátion divalente, sendo incorporado principalmente nos silicatos, conforme a reação:

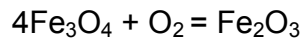


Em fugacidade ainda mais elevada, o Fe está presente no estado ferroso (divalente) e férrico (trivalente) e é incorporado principalmente na magnetita, conforme a reação:



Faialita Magnetita Quartzo Tampão (FMQ)

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



Magnetita Hematita Tampão (HM)

Para o sistema Fe-O-SiO₂ (Fig.8), as reações FMQ e QFeF marcam, respectivamente, os limites superior e inferior de estabilidade da faialita, assim como, as reações FMQ e HM delimitam, respectivamente, os limites inferior e superior de fugacidade de oxigênio e temperatura para a estabilidade da magnetita. Essas reações, conhecidas como tampões, controlam a relação entre fugacidade de oxigênio e temperatura. As assembléias minerais que definem essas reações funcionam como um tampão de oxigênio, ou seja um regulador da fugacidade agindo da seguinte maneira: Se faialita, magnetita e quartzo (FMQ) coexistem na rocha, a fO₂ evolui com o decréscimo da temperatura sobre a referida curva tampão, independente da presença de outras fases sólidas, permitindo assim estimar relativamente às condições de fO₂ nas quais as rochas se formaram. Além das reações tampões citadas anteriormente, outras como magnetita-wustita (MW), níquel-óxido de níquel (NNO), quartzo, ulvoespinélio, ilmenita e faialita (QUIF) são importantes para o estudo das condições de equilíbrio dos óxidos.

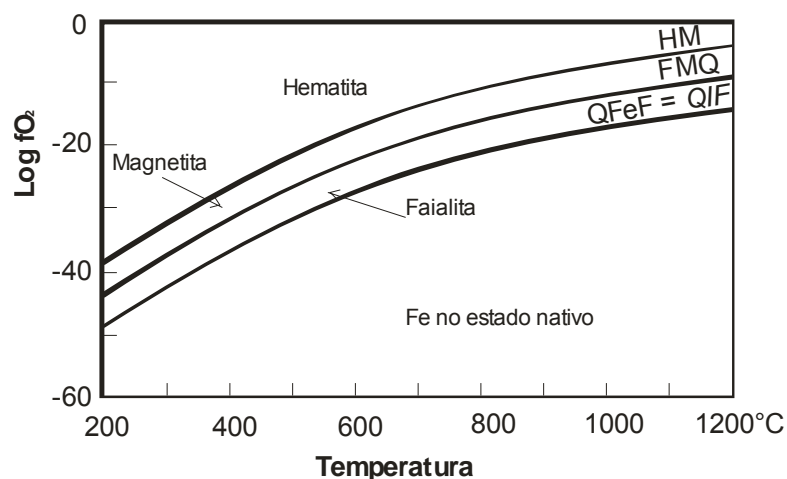
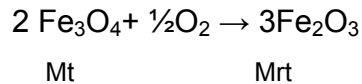


Figura 8: Diagrama Log fO₂ - T mostrando os domínios de estabilidade das diferentes fases portadoras de Fe, em função dos seus vários estados de oxidação, no sistema Fe-Si-O (Frost 1991).

Os demais estágios baseiam-se fundamentalmente no grau de oxidação da ilmenita resultante do processo de oxi-exsolução.

Outro aspecto importante é o processo de oxidação da magnetita pobre em titânio, que conduz a formação de martita. Esse processo está presente em maior ou menor grau nas rochas estudadas. Pode ser representado pela reação:



A ilmenita pode, de acordo com os autores citados acima, ocorrer em diferentes tipos texturais, associados ou não a cristais de magnetita, os quais serão resumidamente descritos a seguir: A ilmenita em treliça (Ilm T) corresponde as lamelas submilimétricas (<1-10 µm) que se desenvolvem normalmente nos planos {111} da magnetita, em até três direções distintas de partição e mais expressivamente ao longo dos limites dos cristais. Sua origem foi explicada por Buddington & Lindsley (1964) como sendo decorrência do processo de oxi-exsolução que afetou as titanomagnetitas primárias durante ou após a cristalização magmática.

A ilmenita composta (Ilm C) ocorre na forma de inclusão ou colada a cristais de magnetita (Mt) hospedeira. Pode ser denominada interna ou externa, conforme a forma em que o cristal se encontra associado a magnetita, e raramente está orientada.

A ilmenita sanduíche (Ilm S) corresponde às lamelas de ilmenita mais espessas (25-50 µm) que as Ilm T, em geral restritas a uma direção dos planos {111} da Mt. São diferentes da Ilm T, pois raramente apresentam lados paralelos ou terminações estreitas.

A ilmenita individual (Ilm I) corresponde aos cristais de ilmenita que ocorrem isoladamente. Este tipo textural é geralmente considerado como produto de cristalização magmática.

A ilmenita *patch* (Ilm P) ou em manchas é a ilmenita de forma irregular que cristaliza nas bordas ou no interior dos cristais de Mt, geralmente em torno de inclusões.

6 - QUESTÕES METODOLÓGICAS SOBRE AS MEDIDAS DE SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

Tendo em vista o surgimento de dúvidas sobre a precisão e reprodutibilidade das medidas em amostras com baixa suscetibilidade magnética (SM) efetuadas com o sensor bobina plana do susceptímetro SI-1, no Laboratório de Petrologia Magnética (LPM/CG-UFGA), em relação às obtidas com outros sensores desse mesmo equipamento, foram realizados testes metodológicos, com amostras de baixa SM ($<1 \times 10^{-3}$ SIv) previamente selecionadas. Participaram das discussões a autora da presente dissertação juntamente com os pesquisadores Roberto Dall'Agnol, Davis Carvalho de Oliveira, Marília Sacramento de Magalhães e Marcelo Augusto de Oliveira.

As amostras utilizadas nestes testes foram as pertencentes às sub-áreas I e II em estudo, além de amostras do Granodiorito Rio Maria (Magalhães 1991; Dias & Dall'Agnol 2004, sendo as medidas obtidas por Magalhães (1991) realizadas a partir do equipamento CTU-2) e uma amostra padrão de baixa SM fornecida por pesquisadores do Instituto de Astronomia e Geofísica (IAG) da USP para testes suplementares. Essa amostra padrão possui uma superfície plana e vários testemunhos cilíndricos, dos quais dispunham-se dos valores de SM obtidos no IAG por meio de bobina cilíndrica (sensor MS2; Bartington). Foram efetuadas novas medidas de SM nessa amostra, utilizando tanto a bobina cilíndrica (sensor SMS) quanto a bobina plana do SI-1, para controle da precisão das medidas efetuadas com diferentes sensores no LPM.

As medidas de SM foram realizadas com o equipamento SI-1 utilizando tanto a bobina plana em amostras de mão serradas, quanto à bobina cilíndrica em testemunhos de sondagem de tamanhos variáveis (altura de 1,7-2,0 ou 3,5 cm; diâmetro de 2,3 cm), os quais foram retirados de amostras de mão com a utilização de uma sonda portátil da marca JLO (Fig. 9). Para evitar os efeitos de diferença de volume e poder comparar os valores obtidos em testemunhos com altura de 1,7-2,0 e 3,5 cm, obtidos de uma mesma amostra, optou-se por dividir os valores de SM dos testemunhos com 3,5 cm por 2 (Tab.1). As medidas obtidas a partir das duas bobinas foram posteriormente comparadas (Tabelas 1, 2, e 3), sendo que estas comparações revelaram diferenças expressivas entre os valores de SM obtidos com os dois sensores mencionados. Constatou-se de modo geral que, quanto mais baixo o valor de SM, maior a diferença

entre os valores de SM obtidos com a bobina plana em relação aos obtidos com a cilíndrica (Fig. 10a). É nítido que para amostras com $SM > 1 \times 10^{-3}$ Slv, a diferença entre os valores obtidos com os diferentes equipamentos é pequena (Figs. 10a,b). Isso não se verifica com as amostras com $SM < 1 \times 10^{-3}$ Slv, cujos valores obtidos com a bobina cilíndrica se encontram no intervalo de 1×10^{-5} Slv a 1×10^{-4} Slv (Tab. 1; Fig. 10a), e se distinguem acentuadamente dos obtidos com a bobina plana, a qual forneceu valores relativamente uniformes e sempre acima de 1×10^{-4} Slv, até mesmo para aquelas amostras que não apresentaram indícios de cristais de magnetita (mineral diretamente ligado à assinatura magnética de uma rocha).

Estes testes demonstraram que, para esse intervalo de medidas ($< 1 \times 10^{-3}$ Slv), o sensor a ser utilizado com maior precisão seria o de bobina cilíndrica (sensor SMS), não sendo confiáveis os valores obtidos com a bobina plana. Por outro lado, testes com padrões de alta SM fornecidos pelo IAG-USP e com amostras apresentando valores relativamente elevados de SM ($> 1 \times 10^{-3}$ Slv), realizados por pesquisadores do GPPG (consultar Figueiredo *et al.* 2003, para uma descrição mais detalhada do método empregado e justificativas), revelaram, ao contrário do observado com as medidas em amostras de baixa SM, que os valores obtidos nas duas bobinas tendem a ser próximos, sendo, porém, sistematicamente mais baixos aqueles fornecidos pela bobina plana em relação à bobina cilíndrica (Fig. 10b). Como a variação segue um padrão, foi possível estimar um fator de correção de 1,7 para compensar os valores mais baixos fornecidos pela bobina plana em relação à bobina cilíndrica (Figueiredo *et al.* 2003). Concluiu-se, a partir dos testes efetuados, que, para amostras com $SM > 1 \times 10^{-3}$ Slv, uma vez aplicado o fator de correção, a bobina plana fornece valores confiáveis de SM, da mesma ordem de grandeza do que os obtidos com bobina cilíndrica. Justifica-se, portanto, devido a sua maior praticidade, o emprego da bobina plana nessas amostras.

Dessa forma, as medidas efetuadas com a bobina plana em amostras com $SM < 1 \times 10^{-3}$ Slv foram empregadas apenas para selecionar amostras para estudos complementares com bobina cilíndrica. Isso trouxe um notável ganho de precisão nas medidas, porém, como a maioria das amostras de mão não permitiu a obtenção de testemunhos cilíndricos, acarretou como desvantagem a redução de medidas em unidades com baixa SM. Para superar essa limitação, terá que se enfrentar este

problema já na etapa de campo em futuros estudos, com a coleta de amostras com dimensões maiores. Tais amostras devem possibilitar a obtenção em laboratório de testemunhos, além da realização de medidas em superfícies planas. Outras possibilidades seriam: execução de um rastreamento de campo com o sensor FMS do SI-1, o qual permite efetuar medidas de SM em afloramentos; coleta no campo de testemunhos orientados por meio de mini-sonda rotativa portátil, tal como empregado em estudos de anisotropia de suscetibilidade magnética e paleomagnetismo.



Figura 9: Sonda Portátil utilizada na obtenção de testemunhos.

Tabela 1: Valores de suscetibilidade magnética obtidos em amostras com baixa SM, usando diferentes sensores (continua).

Amostras	Bobina Plana	Bobina Cilíndrica	Bobina Cilíndrica	Bobina Cilíndrica	Bobina Cilíndrica	Bobina Cilíndrica	Altura	Diâmetro
	(LPM)	SI-1 (LPM)	SI-1 (LPM)	SI-1 (LPM)	SI-1 (LPM)	MS2 (Bartington; IAG)	aproximada dos Testemunhos	Testemunhos
AER-57A	$8,1154 \times 10^{-4}$	Testem. = 3,5 cm	Testem. = 2,0 cm	$6,4666 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
ERF-66G	$7,7146 \times 10^{-4}$			$5,0521 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
MFR-33B	$1,1737 \times 10^{-3}$			$4,9317 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
F-55Or	$1,1697 \times 10^{-4}$	$8,3298 \times 10^{-4}$		$4,1649 \times 10^{-4}$ (a)			3,5cm	2,3cm
AC-30	$4,9395 \times 10^{-4}$	$8,0866 \times 10^{-4}$		$4,0433 \times 10^{-4}$ a			3,5cm	2,3cm
AER-3	$9,8744 \times 10^{-4}$			$3,7943 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
AER-41C	$8,6325 \times 10^{-4}$			$3,0705 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
AC-35B	$3,4500 \times 10^{-4}$	$5,8306 \times 10^{-4}$		$2,9153 \times 10^{-4}$ (a)			3,5cm	2,3cm
ERF-113C	$9,9902 \times 10^{-4}$			$2,6530 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
AC-26	$3,8003 \times 10^{-4}$	$4,9357 \times 10^{-4}$		$2,4678 \times 10^{-4}$ (a)			3,5cm	2,3cm
MFR-62A	$8,7042 \times 10^{-4}$			$2,3044 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
HRM-246	$3,3922 \times 10^{-4}$			$2,1723 \times 10^{-4}$	$2,1613 \times 10^{-4}$		2,0cm	2,3cm
AMR-188	$6,8882 \times 10^{-4}$			$1,9755 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
AER-18A	$4,6907 \times 10^{-4}$			$1,9453 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
HRM-264	$3,4698 \times 10^{-4}$			$1,9056 \times 10^{-4}$	$2,7393 \times 10^{-4}$		2,0cm	2,3cm
AER-43H	$6,1582 \times 10^{-4}$			$1,8797 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
ERF-18D	$1,0986 \times 10^{-3}$			$1,8262 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
MFR-65	$9,3996 \times 10^{-4}$			$1,7978 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
HRM-25	$2,4288 \times 10^{-4}$			$1,2932 \times 10^{-4}$	$2,4880 \times 10^{-4}$		2,0cm	2,3cm
MFR-26A	$9,1596 \times 10^{-4}$			$1,1137 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
AL-166A	$7,1281 \times 10^{-4}$			$1,0448 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
AER-22C	$7,2791 \times 10^{-4}$			$1,0383 \times 10^{-4}$			2,0cm	2,3cm
AER-75A	$6,7422 \times 10^{-4}$			$8,3813 \times 10^{-5}$			2,0cm	2,3cm
F-47O	$7,5475 \times 10^{-4}$	$1,6243 \times 10^{-4}$		$8,1215 \times 10^{-5}$ (a)			3,5cm	2,3cm
F-35C	$7,0710 \times 10^{-4}$	$1,4501 \times 10^{-4}$		$7,2505 \times 10^{-5}$ (a)			3,5cm	2,3cm

Amostras	(conclusão)									
	Bobina Plana (LPM)	Bobina Cilíndrica Si-1 (LPM) Testem. = 3,5 cm	Bobina Cilíndrica Si-1 (LPM) Testem. = 2,0 cm	Bobina Cilíndrica S-1 (LPM)	Bobina Cilíndrica MS2 (Bartington; IAG)	Altura aproximada dos Testemunhos	Diâmetro aproximado dos Testemunhos			
HRM-34	$1,1096 \times 10^{-4}$		$7,0641 \times 10^{-5}$	$7,0369 \times 10^{-5}$		2,0cm	2,3cm			
HRM-194	$1,3597 \times 10^{-4}$		$6,7520 \times 10^{-5}$	$6,0316 \times 10^{-5}$		2,0cm	2,3cm			
ERF-98A	$7,0861 \times 10^{-4}$		$6,2576 \times 10^{-5}$			2,0cm	2,3cm			
1+2 (b)		$8,0733 \times 10^{-5}$					2,3cm			
2+4 (b)		$7,7815 \times 10^{-5}$					2,3cm			
1+4 (b)	$7,2988 \times 10^{-4}$ (d)	$7,5870 \times 10^{-5}$				3,5cm	2,3cm			
1+3 (b)		$6,9061 \times 10^{-5}$					2,3cm			
2+3 (b)		$6,8088 \times 10^{-5}$					2,3cm			
3+4 (b)		$5,9334 \times 10^{-5}$					2,3cm			
ERF-99	$9,4417 \times 10^{-4}$		$5,7388 \times 10^{-5}$			2,0cm	2,3cm			
AER-18A	$6,6654 \times 10^{-4}$		$5,7307 \times 10^{-5}$			2,0cm	2,3cm			
AER-43B	$7,1554 \times 10^{-4}$		$5,5345 \times 10^{-5}$			2,0cm	2,3cm			
ERF-103	$5,7154 \times 10^{-4}$		$5,4227 \times 10^{-5}$			2,0cm	2,3cm			
ERF-97	$5,0622 \times 10^{-4}$		$5,3887 \times 10^{-5}$			2,0cm	2,3cm			
AER-72B	$4,8620 \times 10^{-4}$		$5,1147 \times 10^{-5}$			2,0cm	2,3cm			
2 (c)			$4,2230 \times 10^{-5}$		$4,6500 \times 10^{-5}$	1,7 cm	2,3cm			
1 (c)	$7,2988 \times 10^{-4}$ (d)		$4,0447 \times 10^{-5}$		$5,1500 \times 10^{-5}$	1,7cm	2,3cm			
4 (c)			$3,9718 \times 10^{-5}$		$3,7500 \times 10^{-5}$	1,7cm	2,3cm			
3 (c)			$3,3550 \times 10^{-5}$		$4,4700 \times 10^{-5}$	1,7 cm	2,3cm			
AER-61	$5,2997 \times 10^{-4}$		$2,3911 \times 10^{-5}$			2,0cm	2,3cm			
AMR-187	$5,9529 \times 10^{-4}$		$1,2726 \times 10^{-5}$			2,0cm	2,3cm			
AMR-181B	$6,3587 \times 10^{-4}$		$1,0456 \times 10^{-5}$			2,0cm	2,3cm			

(a) Valores obtidos com a bobina cilíndrica em testemunhos de 3,5 cm, divididos por 2, para comparações com os valores obtidos em testemunhos de 2,0 cm; (b) Corresponde a medidas efetuadas em dois testemunhos com 1,7 cm cada, superpostos, resultando em 1 de ~3,5 cm; (c) Testemunhos com 1,7cm; (d) Valor médio obtido em superfície plana da amostra padrão. Em vermelho medidas de Magalhães (1991) obtidas com o equipamento CTU-2 (bobina plana) e S-1 (bobina cilíndrica). Em azul, valores obtidos em amostra e testemunhos padrões de baixa SM; LPM - Medidas Efetuadas pela autora no Laboratório de Petrologia Magnética; IAG - Medidas efetuadas no Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) em padrões (em azul) elaborados naquela instituição.

Tabela 2: Valores de suscetibilidade magnética obtidos com diferentes sensores em padrões de alta SM fornecidos pelo IAG-USP.

Amostras	Bobina Cilíndrica Bartington (IAG)	Bobina Cilíndrica SI-1 (IAG)	Bobina Plana SI-1 (LPM)	Bobina Plana x Fator de Calibração 1,7	Bobina Plana x Fator de Calibração 2,2
DY-292	$3,0130 \times 10^{-2}$	$3,3400 \times 10^{-2}$	$1,3759 \times 10^{-2}$	$2,3390 \times 10^{-2}$	$3,0270 \times 10^{-2}$
GR-25	$2,8034 \times 10^{-2}$	$3,0628 \times 10^{-2}$	$1,5230 \times 10^{-2}$	$2,5891 \times 10^{-2}$	$3,3506 \times 10^{-2}$
GR-88	$1,4730 \times 10^{-2}$	$1,6269 \times 10^{-2}$	$8,7059 \times 10^{-3}$	$1,4800 \times 10^{-2}$	$1,9152 \times 10^{-2}$

LPM - Medidas Efetuadas pela autora no Laboratório de Petrologia Magnética.

IAG - Medidas efetuadas no Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) em padrões elaborados naquela instituição.

Tabela 3: Valores de suscetibilidade magnética obtidos com diferentes sensores em amostras com alta SM

Amostras	Bobina Plana (LPM)	Bobina Cilíndrica	Bobina Cilíndrica	Altura	Diâmetro
		SI-1 (LPM) Testem. = 3,5 cm	SI-1 (LPM) Testem. = 2,0 cm	Aproximada dos testemunhos	Aproximado dos testemunhos
ADR-8A	$4,1689 \times 10^{-3}$		$4,2995 \times 10^{-3}$	2,0cm	2,3cm
ADR-4C	$2,2166 \times 10^{-3}$		$3,2644 \times 10^{-3}$	2,0cm	2,3cm
AMR-83B	$1,03562 \times 10^{-3}$		$2,1901 \times 10^{-3}$	2,0cm	2,3cm
F-42	$2,8103 \times 10^{-3}$	$4,3728 \times 10^{-3}$	$2,1864 \times 10^{-3}$ (a)	3,5cm	2,3cm
HRM-200	$1,6875 \times 10^{-3}$		$1,2211 \times 10^{-3}$	2,0cm	2,3cm
HRM-59	$1,2241 \times 10^{-3}$		$9,2301 \times 10^{-4}$	2,0cm	2,3cm
ADR-5	$2,0649 \times 10^{-3}$		$8,7379 \times 10^{-4}$	2,0cm	2,3cm

LPM - Medidas Efetuadas pela autora no Laboratório de Petrologia Magnética; Em vermelho medidas obtidas por Magalhães (1991) com o aparelho CTU-2.
(a) Valores obtidos com a bobina cilíndrica em testemunhos de 3,5 cm, divididos por 2, para comparações com os valores obtidos em testemunhos de 2,0 cm.

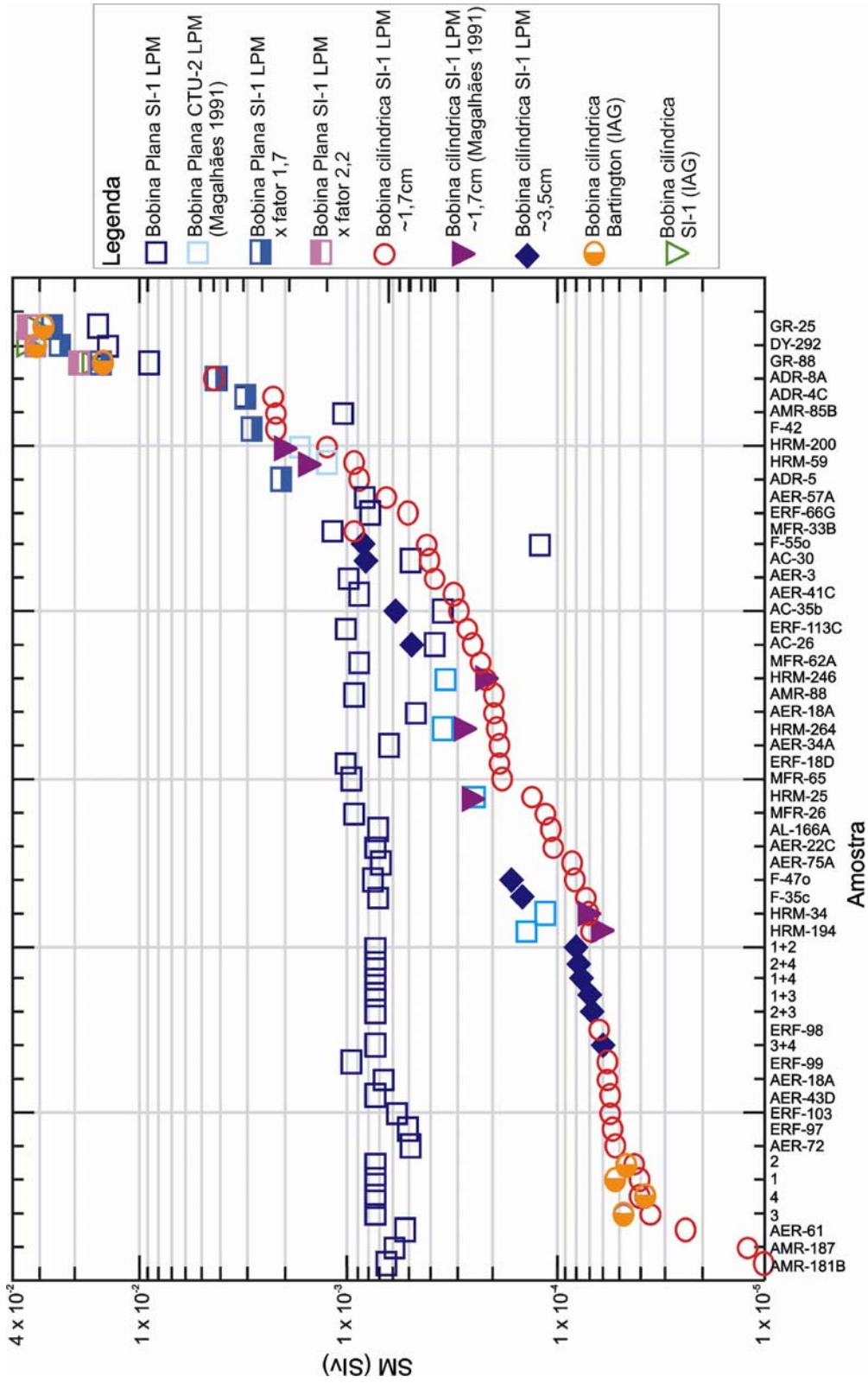


Figura 10a: Comparação entre os valores de suscetibilidade magnética (SM) obtidos com diferentes sensores em amostras com alta e baixa SM.

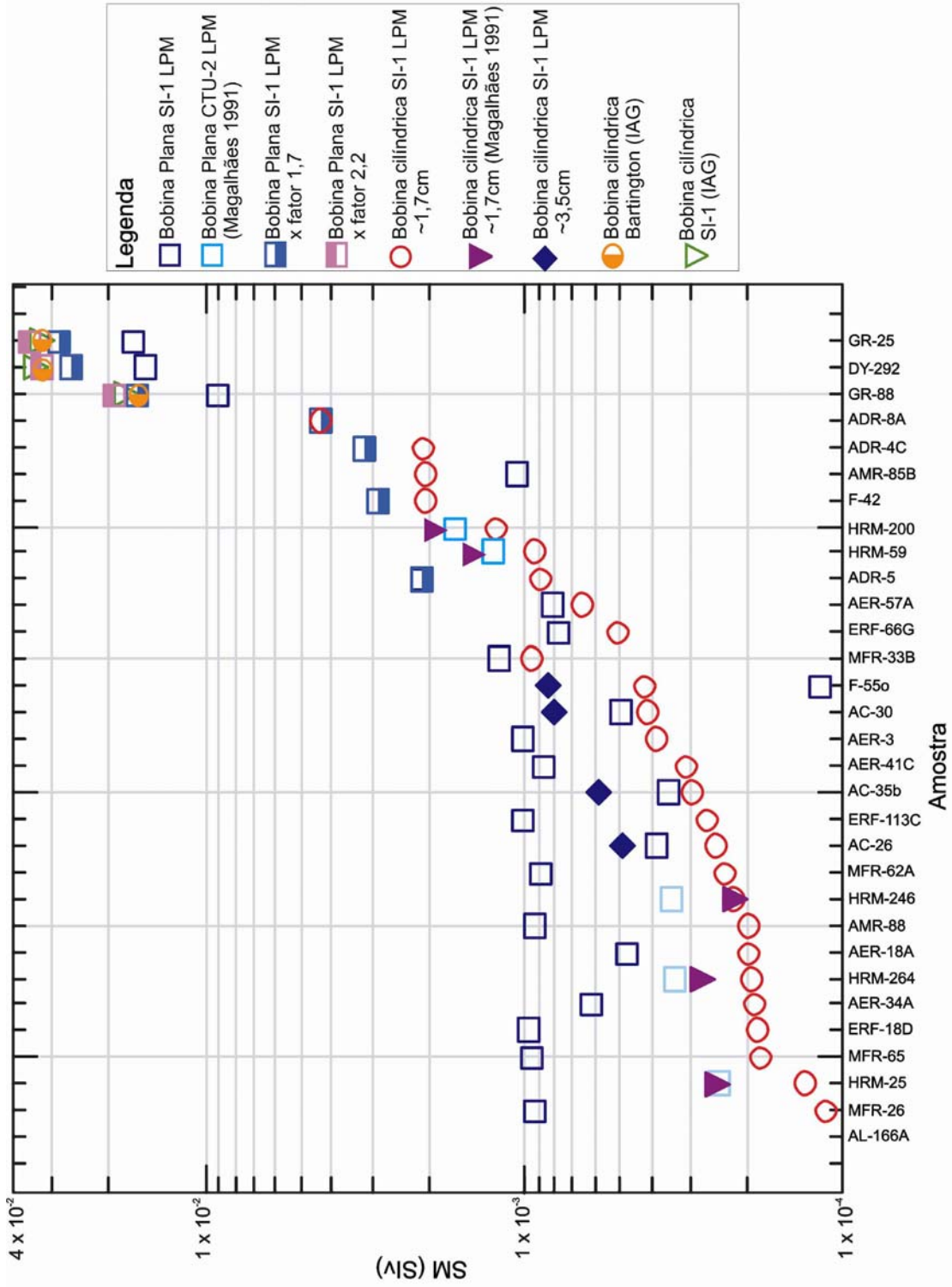


Figura 10b: Comparação entre os valores de suscetibilidade magnética (SM) obtidos com diferentes sensores em amostras com alta SM, detalhe da figura anterior.

7- APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

7.1 - TONALITO/QUARTZO-DIORITO DA REGIÃO DE SERRA DOURADA

7.1.1 - Caracterização Petrográfica

Este grupo compreende rochas de composição quartzo-diorítica a tonalítica, com tipos monzograníticos a granodioríticos subordinados, aflorantes na porção norte da Região de Serra Dourada (Fig. 3). Apresentam coloração cinza e granulação fina a média. Exibem foliação magmática e transformações hidrotermais de intensidade variada. Uma característica peculiar deste conjunto litológico é a ocorrência de enclaves máficos. Sob o microscópio óptico essas rochas exibem textura granular hipidiomórfica, parcialmente ou totalmente obliterada por transformações hidrotermais e tectônicas.

7.1.2 - Suscetibilidade Magnética

Apresenta suscetibilidade magnética predominante variando de $2,17900 \times 10^{-3}$ SIv (valor mínimo) a $3,80610 \times 10^{-2}$ SIv (valor máximo) (Tab.4), com média de $1,560 \times 10^{-2}$ SIv (Tab. 5). Oito amostras apresentaram valores de $SM < 1 \times 10^{-3}$ SIv (Tab. 4). Estes valores não foram considerados nas discussões pela falta de precisão, uma vez que foram obtidos a partir da bobina plana e, como foi visto anteriormente (Capítulo 6), através de testes realizados com os diversos sensores (bobinas plana e cilíndrica), as amostras com $SM < 1 \times 10^{-3}$ SIv (baixa SM) apresentaram valores discordantes, além disso, não foi possível estabelecer um fator de correção confiável. Concluiu-se, então, que a bobina cilíndrica fornece valores mais precisos do que a bobina plana para esse intervalo ($SM < 1 \times 10^{-3}$). Para compensar isso, foram realizadas medidas através da bobina cilíndrica em três amostras com baixa SM. Os valores obtidos variam entre $2,65 \times 10^{-4}$ e $3,79 \times 10^{-4}$, sendo bastante discrepantes dos obtidos com bobina plana (Fig.11). Os parâmetros estatísticos estão sumarizados na tabela 5 e as variações percentuais dos dados são apresentadas na tabela 6. Nesta nota-se que aproximadamente 35% das amostras possuem SM superior ao valor médio deste grupo.

A análise dos dados de SM, a partir de histograma e polígono de frequência (Fig. 11a), revela que a distribuição do conjunto de amostras é claramente bimodal sendo estas distribuídas entre os valores de log -1,4 e -2,8, com o máximo entre log -1,8 e -2,0. Estes dados, quando plotados em gráficos de probabilidade normal (Fig. 11b),

mostram, baseados nos diferentes segmentos de reta, quatro populações A, B, C e D, com diferentes características magnéticas. A mais magnética, D, apresenta valores de SM que se situam no intervalo de log -1,419 a -1,744; a população C, composta por 37% das amostras, apresenta valores intermediários de SM localizados no intervalo de log -1,81 a -1,93; a população B, com valores de SM no intervalo de -2,096 a -2,275, é composta por 21% das amostras estudadas; e a população A é a menos magnética, composta por duas amostras, com SM variando entre log -2,577 e -2,661.

Tabela 4- Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Tonalito/Quartzo-Diorito.

População	Amostras	Variedade	SM ₁ Slv	LOG SM ₁	SM ₂ Slv	LOG SM ₂
D	AER-33 B	Qtz/Diorito	3,80610 x 10 ⁻²	-1,41951		
	AER-4A*	Tonalito	3,63470 x 10 ⁻²	-1,43953		
	AER-29 A2	Tonalito	3,04790 x 10 ⁻²	-1,51599		
	AER-33 A	Qtz/Diorito	2,65330 x 10 ⁻²	-1,57621		
	AER-33 D	Qtz/Diorito	2,14620 x 10 ⁻²	-1,66832		
	AER-9 B	Qtz/Diorito	1,80260 x 10 ⁻²	-1,74410		
C	ERF-127A*	Tonalito	1,53140 x 10 ⁻²	-1,81491		
	AER-63 A	Qtz/Diorito	1,50290 x 10 ⁻²	-1,82306		
	JES-30 C ₂	Tonalito	1,45250 x 10 ⁻²	-1,83788		
	AER-40 B*	Qtz/Diorito	1,33600 x 10 ⁻²	-1,87419		
	ERF-134 A	Tonalito	1,21020 x 10 ⁻²	-1,91714		
	AER-40 D	Qtz/Diorito	1,17480 x 10 ⁻²	-1,93003		
	AER-29 A	Tonalito	1,16600 x 10 ⁻²	-1,93330		
B	AER-8*	Qtz/Diorito	8,00360 x 10 ⁻³	-2,09671		
	JES-30 A	Tonalito	7,37250 x 10 ⁻³	-2,13238		
	AAM-215	Qtz/Diorito	6,56770 x 10 ⁻³	-2,18258		
	ERF-119	Tonalito	5,30850 x 10 ⁻³	-2,27502		
A	AER-29B	Tonalito	2,64310 x 10 ⁻³	-2,57788		
	JES-30 D	Tonalito	2,17900 x 10 ⁻³	-2,66174		
	ERF-113C	Tonalito	9,99020 x 10 ⁻⁴	-3,00042	2,6530 x 10 ⁻⁴	-3,57626
	AER-3*	Tonalito	9,87440 x 10 ⁻⁴	-3,00549	3,7943 x 10 ⁻⁴	-3,42086
	AER-41 C	Tonalito	8,63250 x 10 ⁻⁴	-3,06386	3,0705 x 10 ⁻⁴	-3,51279
	AER-54 D	Tonalito	8,21440 x 10 ⁻⁴	-3,08542		
	AER-54 A	Tonalito	7,93060 x 10 ⁻⁴	-3,10069		
	AER-55 B	Tonalito	7,26430 x 10 ⁻⁴	-3,13881		
	AER-55 A	Tonalito	7,18010 x 10 ⁻⁴	-3,14387		
	ERF-136A	Tonalito	6,97670 x 10 ⁻⁴	-3,15634		

* Amostras com seções polidas; Em vermelho, amostras com baixos valores de SM não consideradas no tratamento dos dados; SM₁ Medidas obtidas com a bobina plana** e SM₂ Medidas obtidas com bobina cilíndrica.

** SM₁ Medidas com bobina plana x 1,7 (fator de correção) p/ amostras com SM > 1x10⁻³Slv e s/ correção p/ amostras com SM < 1x10⁻³Slv.

Tabela 5: Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Tonalito/Quartzo-Diorito

Parâmetros estatísticos (Número de amostras = 19)	SM (Siv)
Média	$1,560 \times 10^{-2}$
Mediana	$1,340 \times 10^{-2}$
Média Geométrica	$1,210 \times 10^{-2}$
Variância	$1,130 \times 10^{-4}$
Desvio Padrão	$1,060 \times 10^{-2}$
Valor mínimo	$2,1790 \times 10^{-3}$
Valor máximo	$3,8060 \times 10^{-2}$

Tabela 6- Percentis dos dados de SM do Tonalito/ Quartzo - Diorito

Percentagens	Percentis
90	$3,63470 \times 10^{-2}$
80	$2,15620 \times 10^{-2}$
70	$1,80260 \times 10^{-2}$
65	$1,53140 \times 10^{-2}$
60	$1,50290 \times 10^{-2}$
55	$1,45250 \times 10^{-2}$
50	$1,33600 \times 10^{-2}$
45	$1,21020 \times 10^{-2}$
40	$1,74800 \times 10^{-2}$
35	$1,16600 \times 10^{-2}$
30	$8,00360 \times 10^{-2}$
25	$7,37250 \times 10^{-3}$
20	$6,56770 \times 10^{-3}$
15	$5,30850 \times 10^{-3}$
10	$2,64310 \times 10^{-3}$

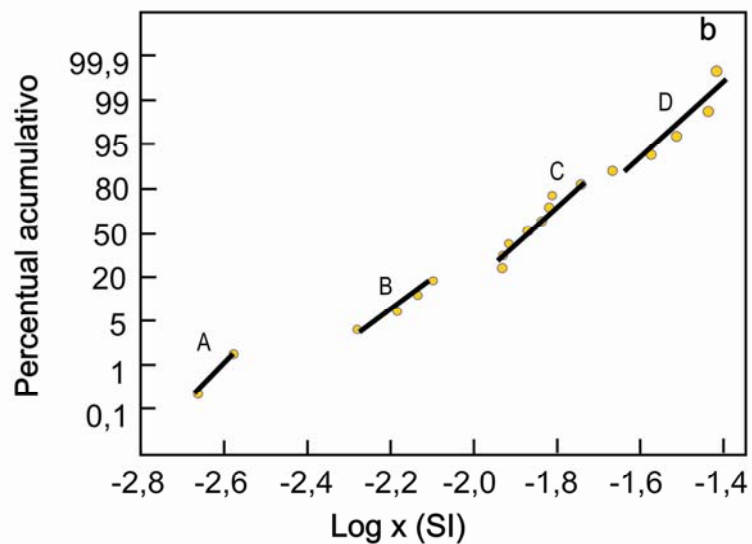
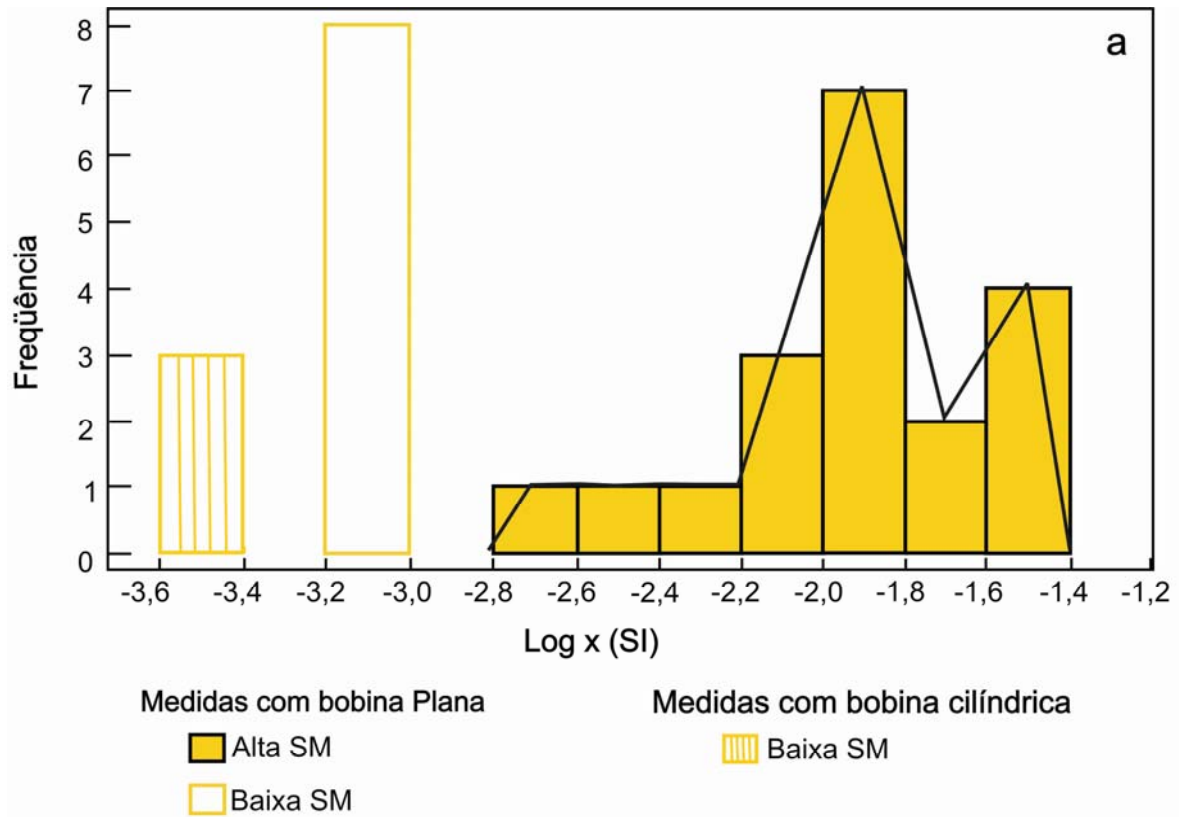


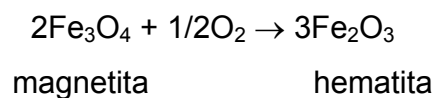
Figura 11: a) Histograma e polígono de freqüência e b) Gráfico de probabilidade referentes aos dados de suscetibilidade magnética do Tonalito/Quartzo-Diorito.

7.1.3 – Minerais Óxidos de Fe e Ti.

Os minerais óxidos de Fe e Ti constituintes do Tonalito/Quartzo-Diorito são, essencialmente, magnetita, hematita, ilmenita e calcopirita, sendo que esta última ocorre em proporções muito reduzidas e é mais freqüente nas amostras de mais baixa SM. Os demais ocorrem em conteúdos relativamente elevados e são geralmente encontrados inclusos ou associados a minerais ferromagnesianos, tais como biotita e anfibólio, e também a félsicos, como plagioclásio e quartzo.

A magnetita (Mt) ocorre predominantemente como cristais subédricos e mais raramente euédricos, geralmente maciços, desprovidos de lamelas de ilmenita em treliça e sem muita evidência de oxidação (Fig. 12). Por vezes, assumem a forma de veios (Fig. 12), sugerindo que esses cristais foram provavelmente neoformados a partir, de processos hidrotermais, já que esse grupo de rocha é, dentre os granitóides estudados na sub-área I, o mais afetado por esses processos, em um estágio posterior a formação desta rocha. Ocorrem ainda cristais de magnetita com bordas parcialmente corroídas (Fig. 13), demonstrando sua desestabilização e sugerindo caráter primário para esses cristais. Em ambos os casos, apresentam martitização incipiente. 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 (1991), 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:



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

A Ilmenita apresenta-se como cristais anédricos, bastante transformados e pseudomorfizados, com coloração branco acinzentado. Os pseudomorfos são formados por diversos minerais resultantes da oxidação intensa da ilmenita no estágio *subsolidus*, capazes de desestabilizar a ilmenita, porém sem alterar a magnetita. Dentre estes

minerais destaca-se principalmente o rutilo. A ilmenita também ocorre parcialmente substituída por titanita (Fig. 14) ou até mesmo por associações heterogêneas, de diversas fases minerais. De acordo com a terminologia definida por Buddington & Lindsley (1964), Haggerty (1981a) e Dall'Agnol *et al.* (1997) para descrever os tipos texturais de ilmenita, foi observada apenas ilmenita do tipo individual (Ilm I; Figura 14), a qual é considerada pelos referidos autores como sendo produto da cristalização magmática.

Localmente têm-se cristais subédricos de pirita e calcopirita (Fig. 15), que ocorrem associados, geralmente, a ferromagnesianos, quartzo e feldspato potássico ou disseminados na matriz. Estes sulfetos são mais freqüentes em amostras que apresentam valores baixos de SM.

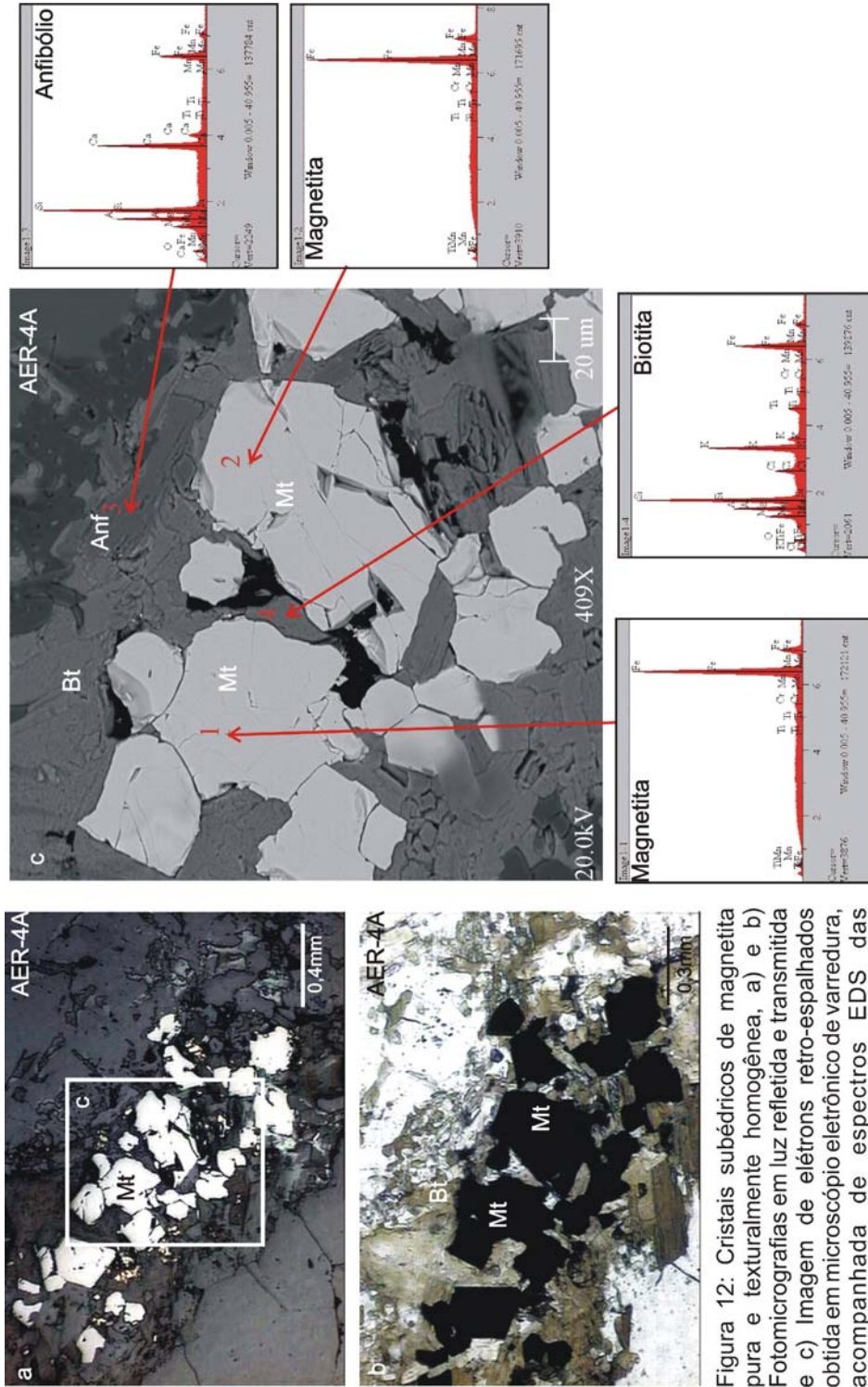


Figura 12: Cristais subédricos de magnetita pura e texturalmente homogênea, a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e c) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases mineralis identificadas. (Análises semi-quantitativas no Anexo I).

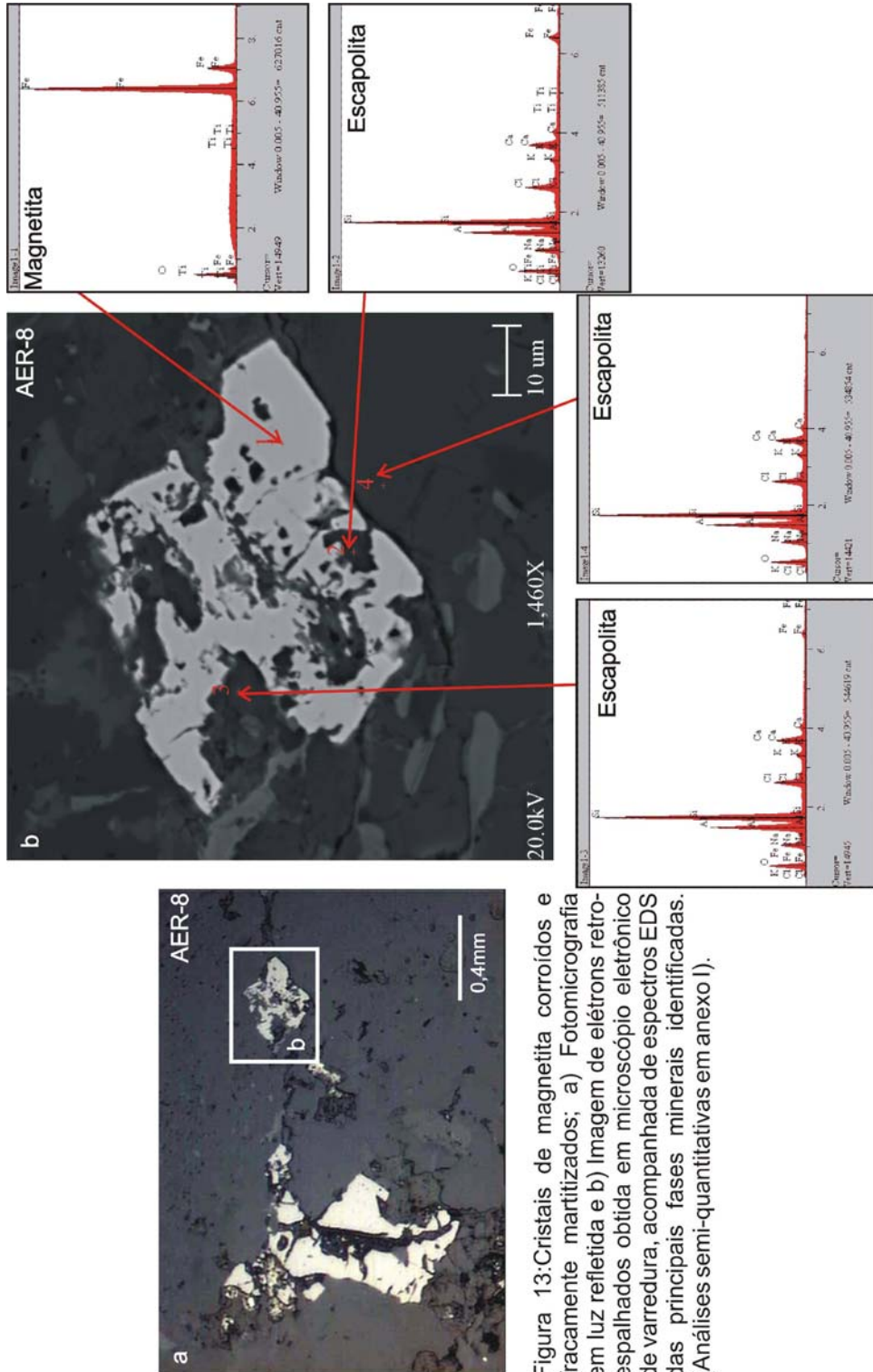


Figura 13: Cristais de magnetita corroídos e fracamente martilizados; a) Fotomicrografia espalhada em luz refletida e b) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas. (Análises semi-quantitativas em anexo I).

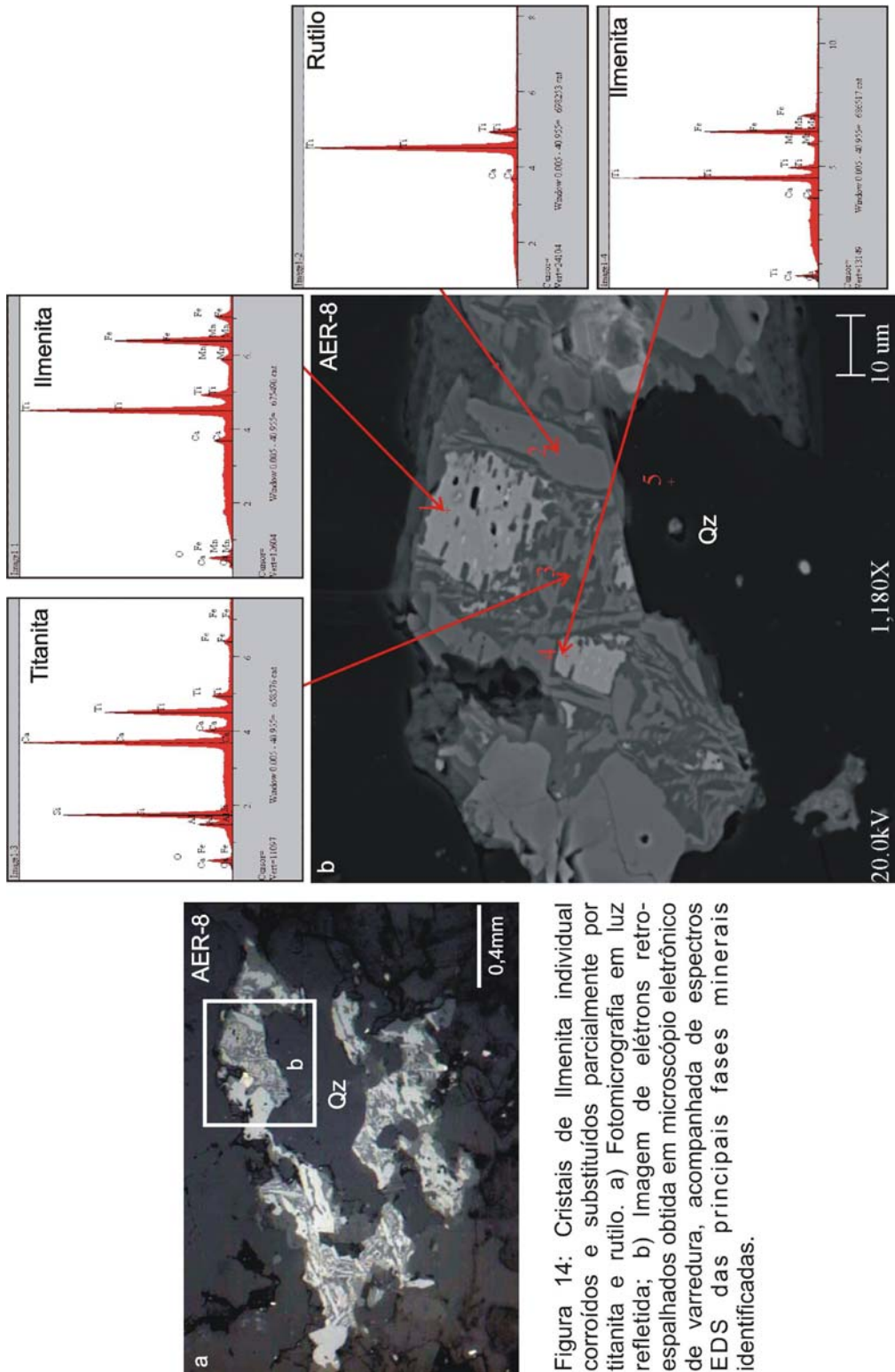


Figura 14: Cristais de Ilmenita individual corroídos e substituídos parcialmente por titanita e rutilo. a) Fotomicrografia por luz refletida; b) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.

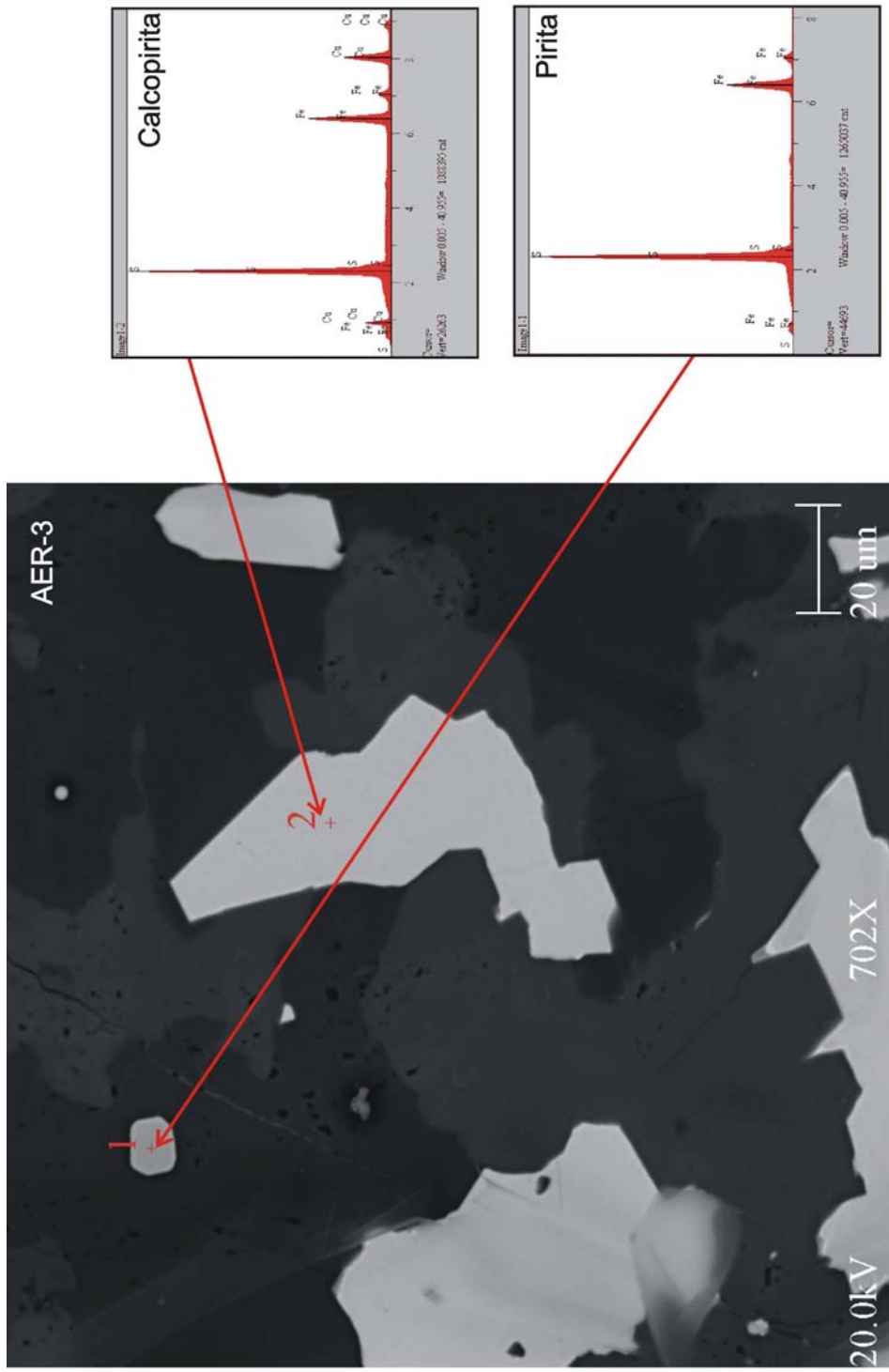


Figura 15: Cristais subédricos de calcopirita e pirita, Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases mineralis identificadas.

7.2 - BIOTITA-GRANITO/LEUCOGRANITO MÉDIO A GROSSO DA REGIÃO DE SERRA DOURADA

7.2.1 – Caracterização Petrográfica

São rochas de composição granítica *stricto sensu* intrusivas nas rochas quartzodioríticas/ tonalíticas já descritas. Geralmente, são compostas por rochas de coloração rosada, equigranulares de granulação média a grossa. São constituídas essencialmente por plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo, biotita e outros minerais provenientes de alteração hidrotermal. São comuns tipos cisalhados, bem como a presença de diques aplíticos e pegmatíticos associados. Em geral são rochas fracamente magnéticas, sendo que, localmente, têm-se a presença de minerais magnéticos, constatados através de caneta-ímã.

7.2.2 - Suscetibilidade Magnética

Estes granitos apresentam valor de suscetibilidade magnética (SM) médio de $8,872 \times 10^{-3}$ Slv, variando de $1,73380 \times 10^{-3}$ Slv (valor mínimo) a $2,56320 \times 10^{-2}$ Slv (valor máximo) (Tab. 7). Nas tabelas 8 e 9 pode-se observar que cerca de 50% das amostras estudadas apresentam valores de SM superiores ao valor médio de SM destes granitóides. Além disso, doze amostras apresentaram $SM < 1 \times 10^{-3}$. Elas correspondem, em sua maioria, a amostras de leucomonzogranito, e foram, como no grupo anterior, retiradas da discussão devido à imprecisão das medidas com bobina plana. Quatro destas amostras foram medidas através da bobina cilíndrica e os resultados obtidos se situam no intervalo $6,466 \times 10^{-4}$ a $5,534 \times 10^{-5}$ (Tab. 7; Fig. 16), os quais representam os verdadeiros valores de SM das amostras com baixa SM desse grupo de rochas.

A análise de histograma e polígono de freqüência (Figura 16a) revela uma maior concentração das amostras no intervalo log -2,2 a -1,8, e uma distribuição bimodal das medidas. Os dados de SM, quando plotados no gráfico de probabilidade normal (Figura 16b), definem, através de diferentes segmentos de reta, três populações magnéticas distintas: uma mais magnética, no intervalo log -1,591 a -2,209 (população C); uma intermediária (população B) no intervalo log -2,365 a -2,462; e outra menos magnética (população A), no intervalo log -2,655 a -2,761.

Tabela 7- Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Biotita-granito/Leucogranito (continua).

População	Amostras	Variedade	SM ₁ Slv	LOG SM ₁	SM ₂ Slv	LOG SM ₂
	ERF-87A	Bt-granito	2,56320 x 10 ⁻²	-1,59121		
	AER-53*	Bt-granito	2,03910 x 10 ⁻²	-1,69056		
	AER-19 A	Leucogranito	1,71810 x 10 ⁻²	-1,76495		
	AER-47 E*	Leucogranito	1,53950 x 10 ⁻²	-1,81262		
	AER-46A	Bt-granito	1,39660 x 10 ⁻²	-1,85493		
C	AER-30 B*	Bt-granito	1,22370 x 10 ⁻²	-1,91232		
	AER-60*	Bt-granito	1,20430 x 10 ⁻²	-1,91923		
	AER-62	Bt-granito	1,20100 x 10 ⁻²	-1,92042		
	ERF-93	Gr. albitizado	1,16960 x 10 ⁻²	-1,93196		
	AER-35 A	Leucogranito	1,10050 x 10 ⁻²	-1,95840		
	AER-59*	Leucogranito	1,00730 x 10 ⁻²	-1,99684		
	ERF-18C	Granito	9,79310 x 10 ⁻³	-2,00907		
	AER-19 C	Leucogranito	9,46810 x 10 ⁻³	-2,02373		
	AER-21	Bt-granito	8,98170 x 10 ⁻³	-2,04664		
	ERF-83A	Leucogranito	8,55380 x 10 ⁻³	-2,06784		
	JES-68*	Bt-granito	7,73430 x 10 ⁻³	-2,11157		
	ERF-94	Gr. albitizado	6,89530 x 10 ⁻³	-2,16144		
	AER-20 A	Leucogranito	6,17540 x 10 ⁻³	-2,20933		
	AER-56 A	Leucogranito	4,31420 x 10 ⁻³	-2,36509		
	ERF-92	Gr. albitizado	4,25000 x 10 ⁻³	-2,37161		
B	AER-49	Bt-granito	4,18840 x 10 ⁻³	-2,37795		
	AER-30 C1	Leucogranito	3,54430 x 10 ⁻³	-2,45046		
	AER-20C	Bt-granito	3,45540 x 10 ⁻³	-2,46150		
	ERF-115A	Gr. albitizado	3,44600 x 10 ⁻³	-2,46268		
	AER-22 A	Leucogranito	2,21010 x 10 ⁻³	-2,65558		
A	JES-73	Leucogranito	2,04110 x 10 ⁻³	-2,69013		
	AER-46B	Leucogranito	1,80890 x 10 ⁻³	-2,74258		
	AER-30 C	Bt-granito	1,73380 x 10 ⁻³	-2,76100		
	AER-28A	Leucogranito	9,33320 x 10 ⁻⁴	-3,02996		
	AER-57 A	Leucogranito	8,11540 x 10 ⁻⁴	-3,09069	6,4666 x 10 ⁻⁴	-3,18932
	AER-27*	Leucogranito	7,73680 x 10 ⁻⁴	-3,11144		
	AER-22 C	Leucogranito	7,27910 x 10 ⁻⁴	-3,13792	1,0383 x 10 ⁻⁴	-3,98367
	AER-43 B	Leucogranito	7,15540 x 10 ⁻⁴	-3,14537	5,5345 x 10 ⁻⁵	-4,25692
	AER-48 A	Bt-granito	6,92520 x 10 ⁻⁴	-3,15957		
	AAM-212	Leucogranito	6,90300 x 10 ⁻⁴	-3,16096		
	ERF-85A	Bt-granito	6,82770 x 10 ⁻⁴	-3,16572		
	AER-43H	Leucogranito	6,15820 x 10 ⁻⁴	-3,21055	1,8797 x 10 ⁻⁴	-3,72591
	AER-25 B	Leucogranito	5,54710 x 10 ⁻⁴	-3,25593		

População	Amostras	Variedade	SM ₁ Slv	LOG SM ₁	SM ₂ Slv	(conclusão) LOG SM ₂
	AER-43 G	Leucogranito	5,46020 x 10 ⁻⁴	-3,26279		
	ERF-91A	Bt-granito	5,45030 x 10 ⁻⁴	-3,26357		

* Amostras com seções polidas; Em vermelho, amostras com baixos valores de SM não consideradas no tratamento dos dados; SM₁ Medidas obtidas com a bobina plana** e SM₂ Medidas obtidas com bobina cilíndrica.

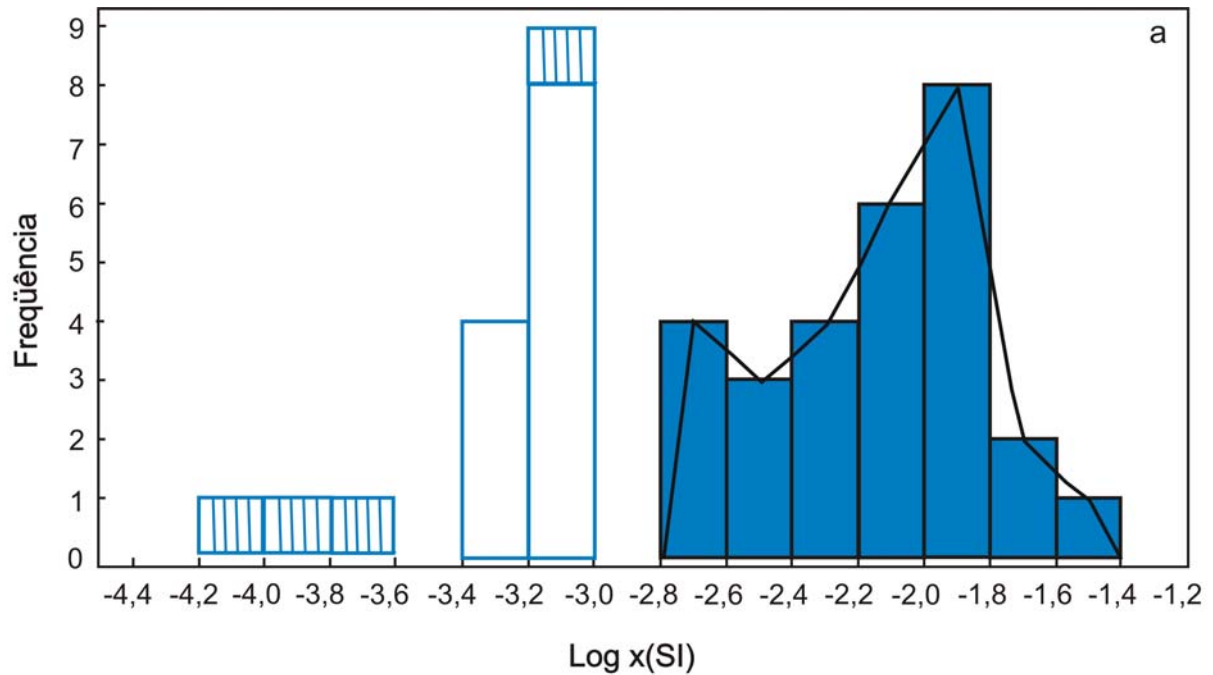
** SM₁ Medidas com bobina plana x 1,7 (fator de correção) p/ amostras com SM > 1x10⁻³Slv e s/ correção p/ amostras com SM < 1x10⁻³Slv.

Tabela 8: Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Biotita-granito/Leucogranito

Parâmetros estatísticos	SM (Slv)
(Número de amostras = 28)	
Média	8,872 x 10 ⁻³
Mediana	8,767 x 10 ⁻³
Média Geométrica	6,968 x 10 ⁻³
Variância	3,500 x 10 ⁻⁵
Desvio Padrão	5,911 x 10 ⁻³
Valor mínimo	1,7338 x 10 ⁻³
Valor máximo	2,5632 x 10 ⁻²

Tabela 9- Percentis dos dados de SM do Biotita-granito/Leucogranito

Percentagens	Percentis
90	1,71810 x 10 ⁻²
80	1,22370 x 10 ⁻²
70	1,16960 x 10 ⁻²
65	1,10050 x 10 ⁻²
60	9,79310 x 10 ⁻³
55	9,46810 x 10 ⁻³
50	8,55380 x 10 ⁻³
45	7,73430 x 10 ⁻³
40	6,89530 x 10 ⁻³
35	4,31420 x 10 ⁻³
30	4,25000 x 10 ⁻³
25	3,55430 x 10 ⁻³
20	3,45540 x 10 ⁻³
15	3,44600 x 10 ⁻³
10	2,04110 x 10 ⁻³



Medidas com bobina plana Medidas com bobina cilíndrica
 ■ SM elevada ▨ SM baixa
 □ SM baixa

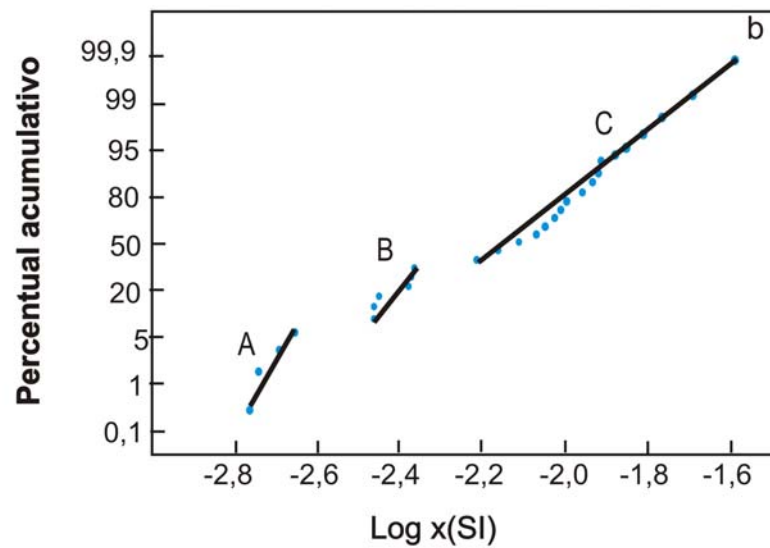


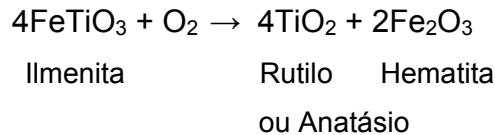
Figura 16: a) Histograma e polígono de frequência e b) Gráfico de probabilidade referentes aos dados de suscetibilidade magnética do Biotita-granito/Leucogranito.

7.2.3 – Minerais óxidos de Fe e Ti

Os opacos constituintes do biotita-granito/leucogranito são representados por magnetita, Ilmenita, hematita e pirita, e estão geralmente associados a biotita, anfibólio (Fe-hastingsita), plagioclásio e quartzo (Fig. 17).

A magnetita é predominantemente subédrica (Fig. 18), com martitização incipiente e seus cristais aparecem geralmente isolados, associados a anfibólio e biotita (Figs. 20, 21 e 22). Apresentam-se maciços, mas em alguns casos, têm-se cristais com bordas levemente corroídas (Figs. 21 e 22).

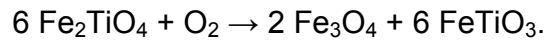
A Ilmenita apresenta-se como cristais subédricos e anédricos, por vezes bastante alterados e substituídos por rutilo, hematita e titanita (Figs. 19, 21 e 22). Isto ocorre principalmente nas amostras de mais baixa SM, pois, contrariamente, nas de alta SM, os cristais de ilmenita não apresentam nenhum sinal de alteração (Figs. 17 e 20). Por vezes, os cristais de ilmenita ocorrem entremeados com biotita e clorita (Figs. 17 e 19). Os minerais branco-acinzentados secundários (rutilo, hematita e ilmeno-hematita) ou cinza-escuro (titanita e clorita), presentes no interior das ilmenitas devem se formar em estágios mais avançados de transformação (Haggerty 1991). Uma das reações típicas envolvendo a desestabilização da ilmenita pode ser assim representada:



Os tipos texturais observados foram: Ilmenita individual (Ilm I; Figs. 17 e 19); *composite* ou composta, correspondendo aos cristais de Ilmenita em contato com a magnetita externamente (Ilm Cext; Fig. 20) ou internamente (Ilm Cint; Fig. 22); *Patch* ou em manchas (Ilm P; Fig. 20), na forma de manchas irregulares no interior da magnetita; *Trelis* ou Treliça (Ilm T; Figs. 20 e 21) que se desenvolve em até três planos distintos em um mesmo cristal de magnetita; e em sanduíche (Ilm S; Figura 21), como faixas contínuas no interior da magnetita.

A ilmenita I, como foi discutido no Tonalito estudado anteriormente, é provavelmente de origem magmática. A Ilmenita T foi explicada por Buddington & Lindsley (1964) e Haggerty (1981) como decorrência do processo de oxi-exsolução que

afetou as titanomagnetitas primárias durante ou após a cristalização magmática segundo a reação:



Ulvoespinélio Magnetita Ilmenita

A ilmenita tipo C, segundo Buddington & Lindsley (1964), originou-se da mesma forma que a ilmenita T. Entretanto, Haggerty (1981), 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. Dall'Agnol *et al.* (1997) também assumiram uma origem magmática para a ilmenita composta presente no granito Jamon.

A hematita é produto de alteração da magnetita, exibindo formas irregulares e desenvolvendo-se geralmente a partir da borda do cristal de magnetita, sob a forma de martita. A hematita ocorre ainda como alteração da ilmenita.

A pirita ocorre na forma de cristais muito finos, disseminados na lâmina e associados à magnetita.

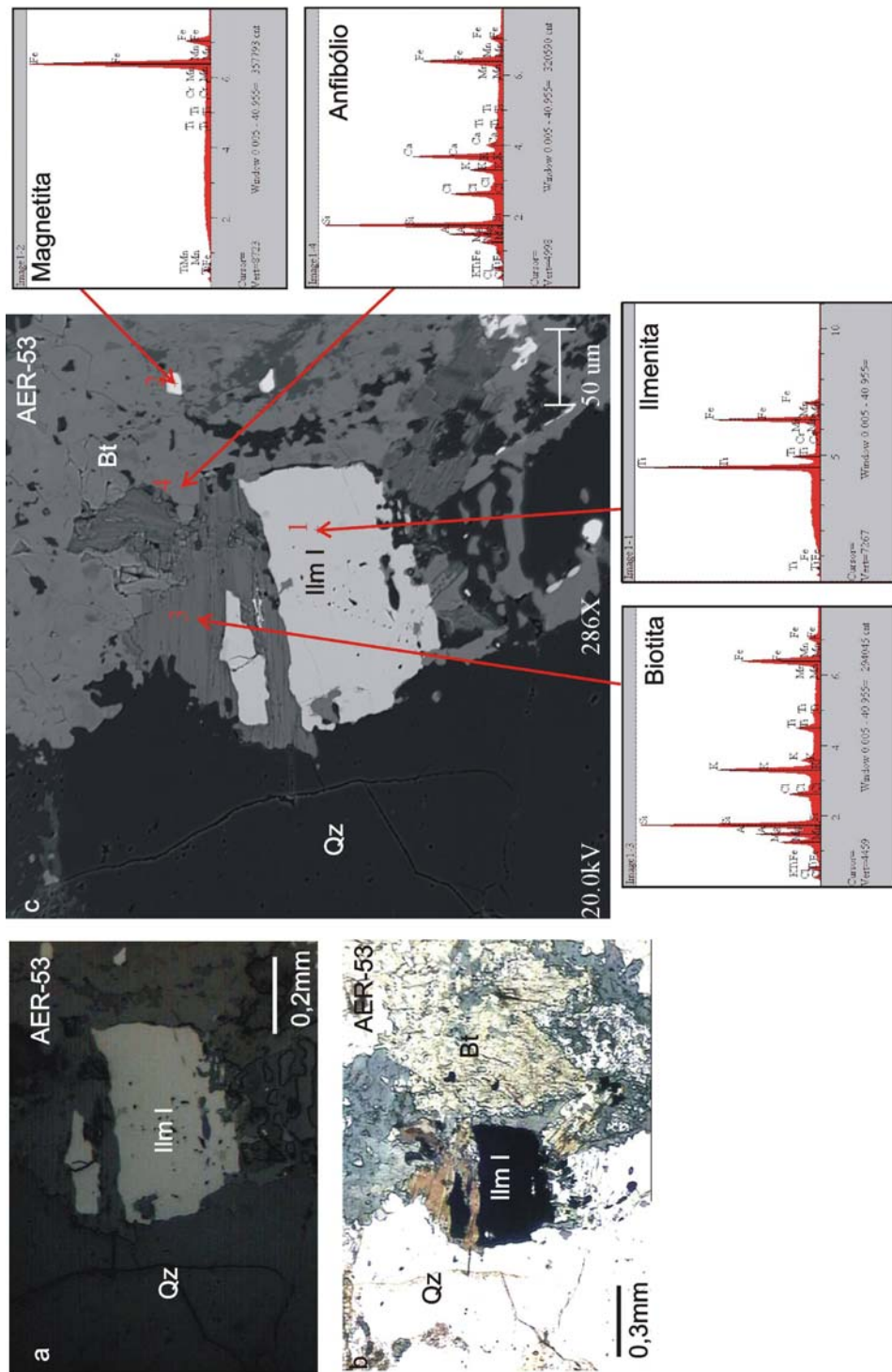


Figura 17: Cristal de ilmenita Individual (Ilm I) e grânulos diminutos de magnetita (secundária?) associados a minerais ferromagnesianos, a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e c) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.

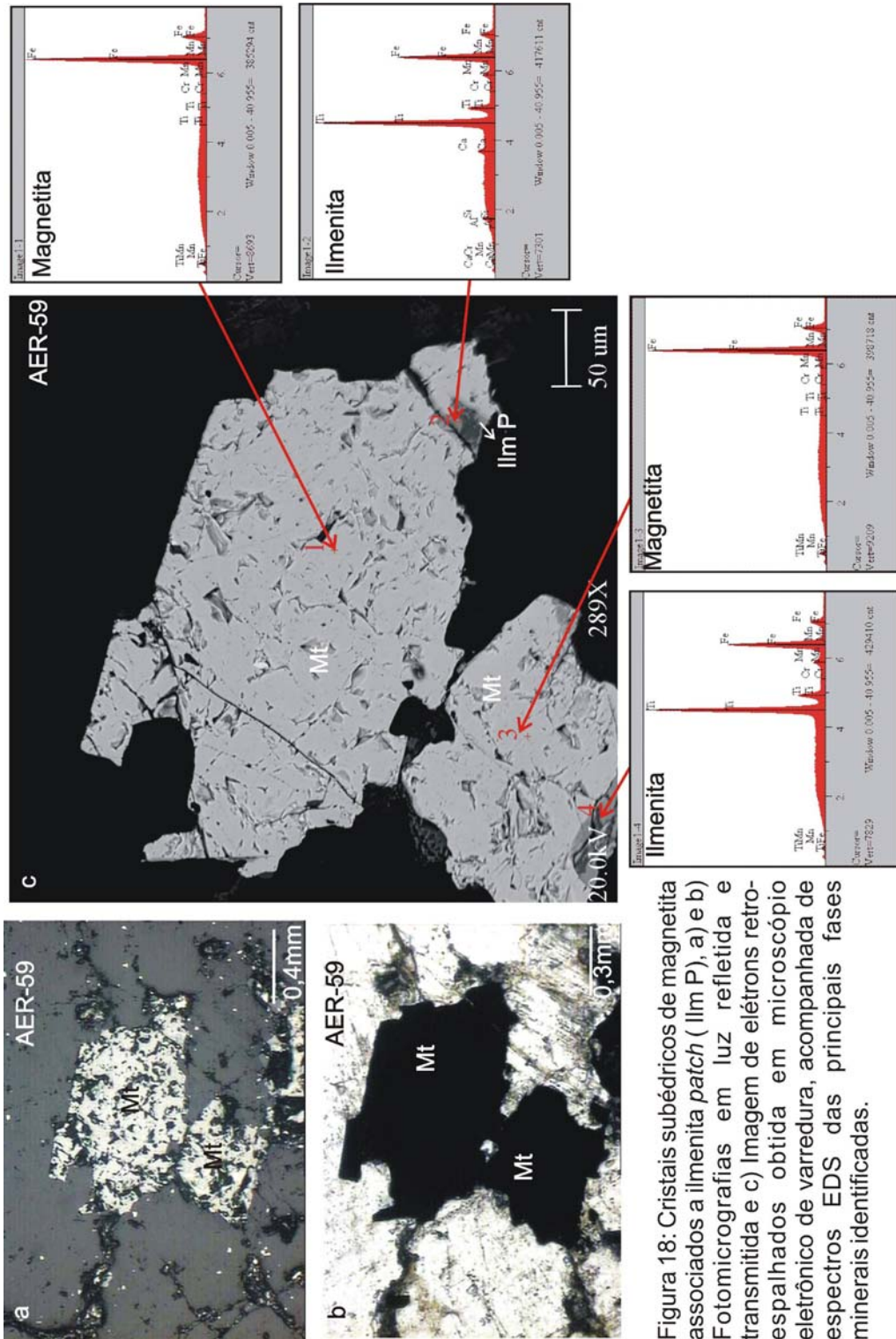


Figura 18: Cristais subédricos de magnetita associados a ilmenita *patch* (Ilm P), a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e c) Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases mineralis identificadas.

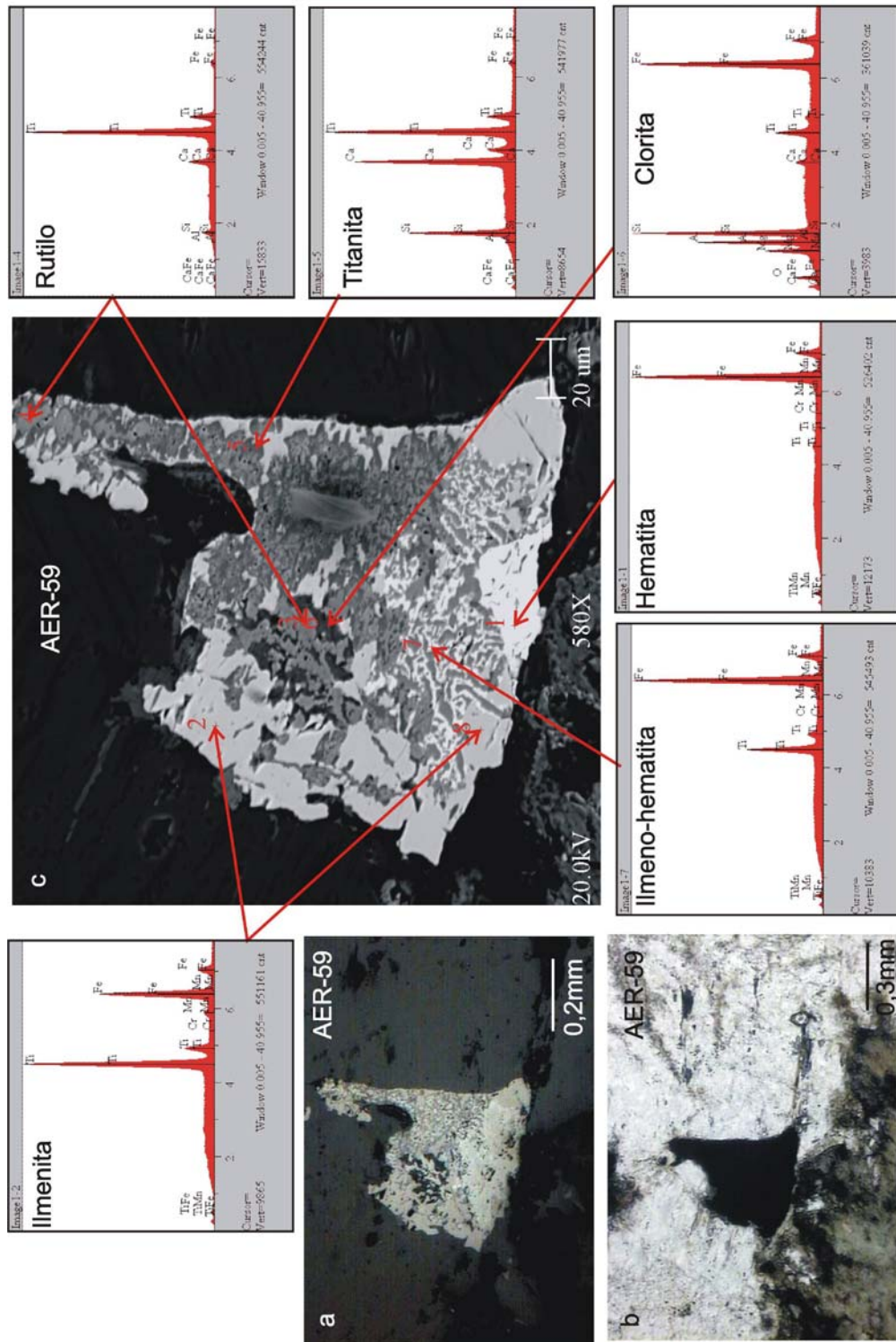


Figura. 19: Cristal de ilmenita individual (Im 1), substituído parcialmente por rutilo e titanita, a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e c) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases mineralis identificadas.

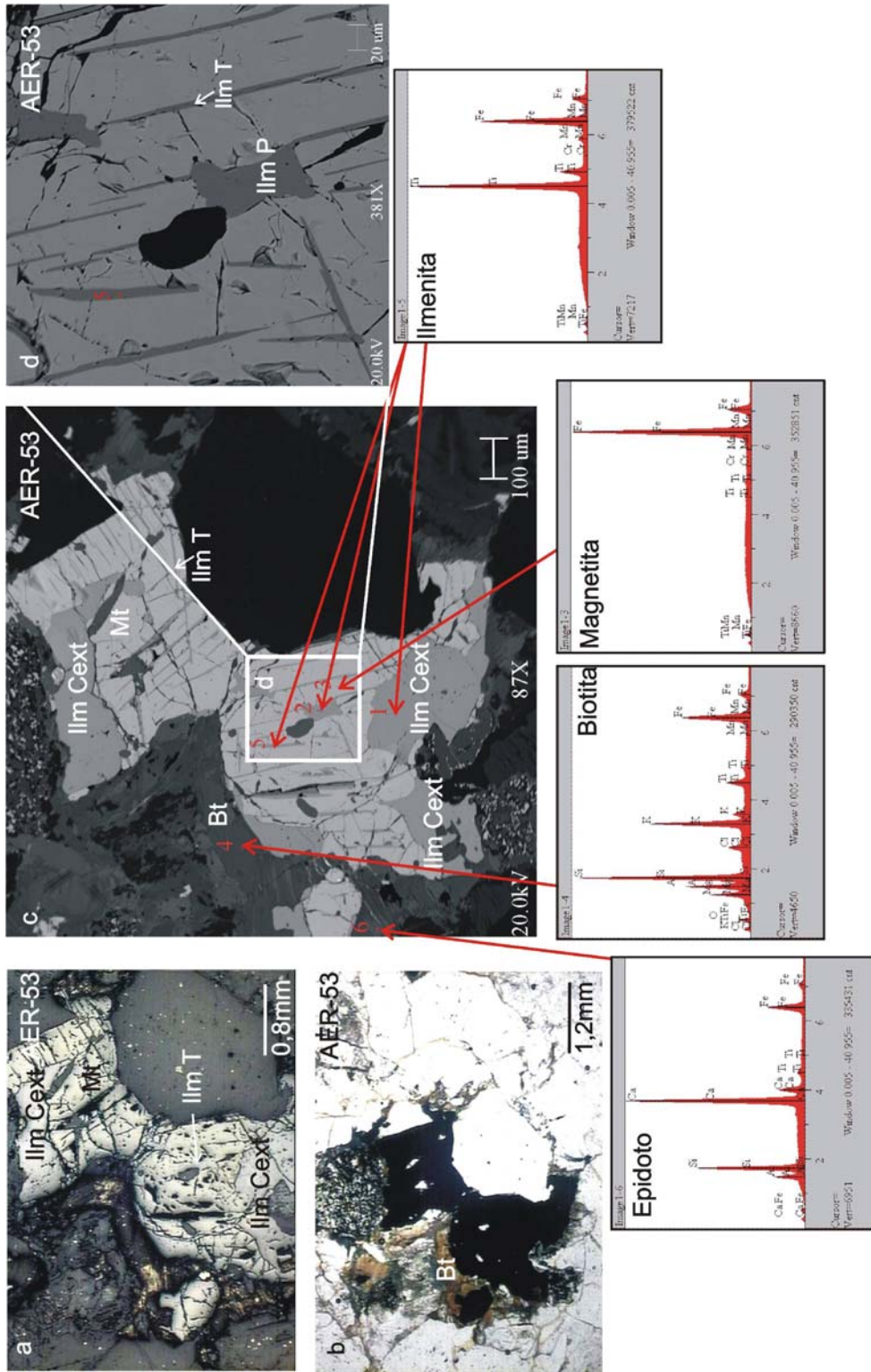


Figura 20: Cristal de magnetita associado a ilmenita Composta externa (Ilm Cext), Treliza (Ilm T) e Patch (Ilm P), a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida, respectivamente, c) e d) Imagens de elétrons retroespalhados obtidas em microscópio eletrônico de varredura, acompanhadas de espectros EDS, sendo a figura d detalhe da c.

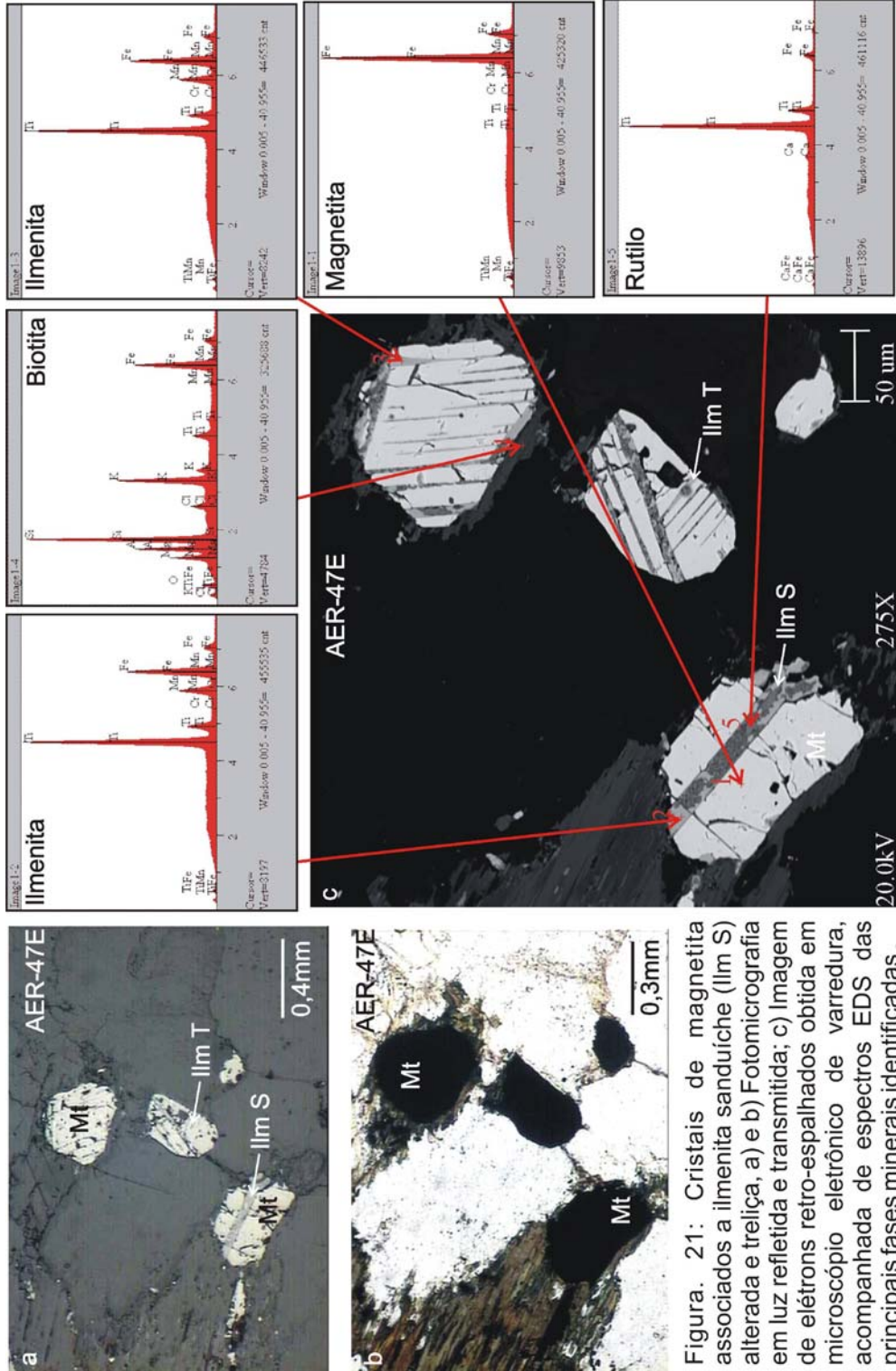


Figura. 21: Cristais de magnetita associados a ilmenita sanduíche (Ilm S) alterada e trelíça, a) e b) Fotomicrografia em luz refletida e transmitida; c) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases mineralógicas identificadas .

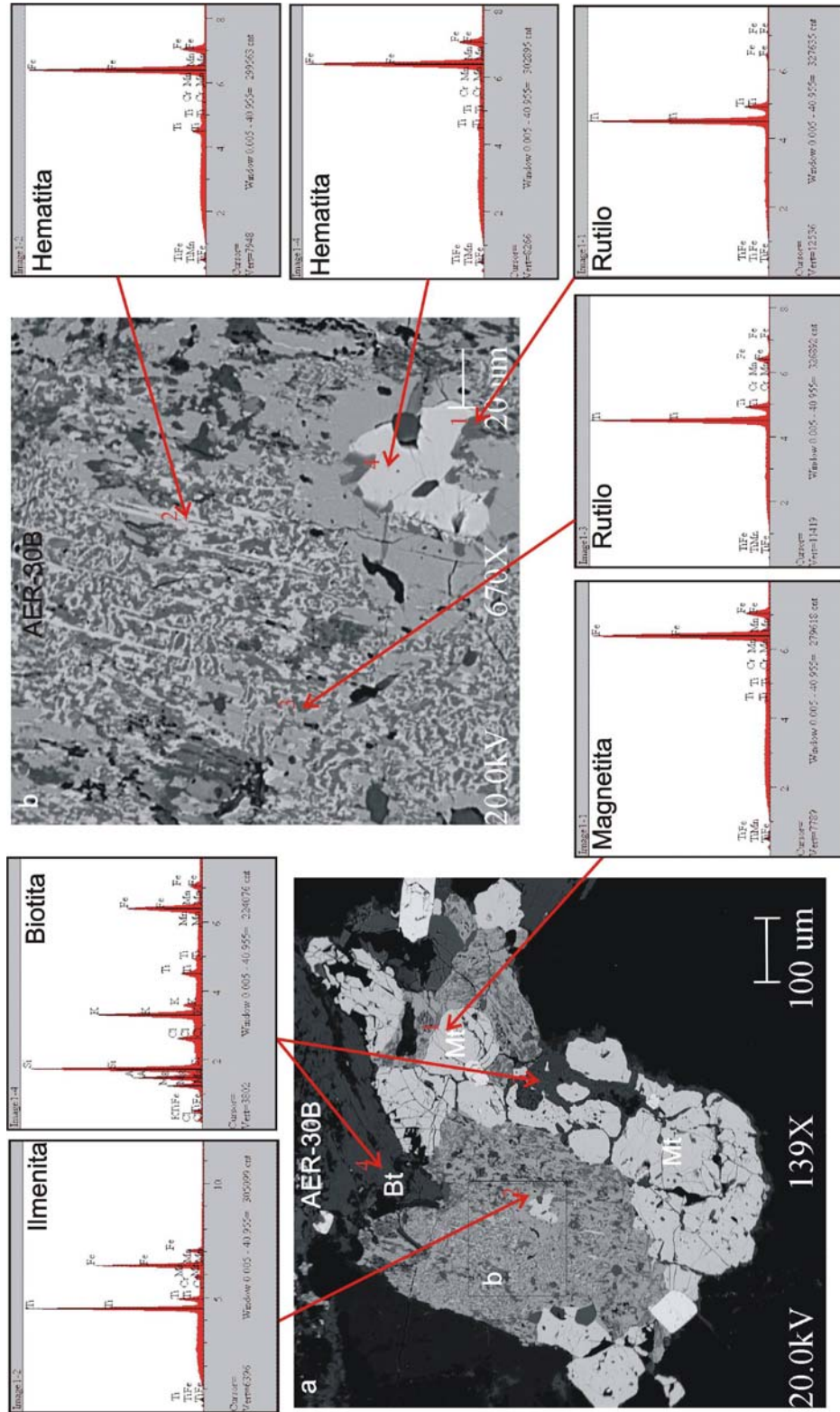


Figura. 22: a) Cristais de magnetita associados a ilmenita composta (ilm C int) bastante alterada, a) e b) imagens de elétrons retro-espalhados obtidas em microscópio eletrônico de varredura, acompanhadas de espectros EDS das principais fases mineralis identificadas, sendo b detalhe da figura a.

7.3 - GRANITO FOLIADO

7.3.1 – Aspectos Petrográficos

Este grupo de rochas, descrito originalmente por Soares (2002), aflora na porção sul da área de Serra Dourada (Fig. 3). É constituído por rochas graníticas, de coloração rósea a cinza, granulação grossa a média, geralmente apresentando graus variados de deformação, que pode culminar com a geração de verdadeiros milonitos. A foliação está em conformidade com o padrão regional E-W, sendo que localmente tem-se o registro de foliação N-S. Além dessa foliação, foram observados *boudins* e dobras, bem como enclaves máficos. Sua mineralogia é composta por feldspato potássico, plagioclásio, quartzo, biotita, zircão, allanita, apatita, opacos, titanita, epidoto e clorita. Os três últimos são secundários e não são constantes em todas as amostras.

7.3.2 - Suscetibilidade Magnética

O granito foliado apresenta suscetibilidade magnética (SM) média de $1,3800 \times 10^{-2}$ SIv com valores que variam de $1,8676 \times 10^{-3}$ SIv (valor mínimo) a $4,3778 \times 10^{-2}$ SIv (valor máximo) (Tabs. 10 e 11). Dentre as amostras estudadas neste grupo, três apresentaram $SM < 1 \times 10^{-3}$ (Tab. 10) e foram todas medidas através da bobina cilíndrica. Os valores obtidos variam entre $8,3813 \times 10^{-5}$ e $1,9453 \times 10^{-4}$ e são representativos das amostras com baixa SM ($< 1 \times 10^{-3}$ SIv) desse conjunto litológico. As variações percentuais dos dados de SM são apresentadas na tabela de percentis (Tab. 12; amostras com $SM > 1 \times 10^{-3}$ SIv), a partir da qual observa-se que 40% das amostras possuem SM acima do valor médio. A análise de histograma e polígono de frequência (Fig. 23a), assim como do gráfico de probabilidade (Fig. 23b), sugere a distribuição das medidas de SM em três populações, designadas A, B e C, partindo dos menores para os maiores valores de SM, as quais podem ser observadas a partir dos diferentes segmentos de reta na Fig. 23b. O histograma revela uma distribuição polimodal das amostras, com três picos, correspondendo, de modo geral, as populações A, B e C reveladas pelo gráfico de probabilidade.

A população A é a menos magnética e é representada por 32% das amostras estudadas, distribuídas em um intervalo de log -2,728 a -2,300. A população B apresenta-se em um intervalo de log - 2,147 a -1,760 e compreende 44% das amostras

estudadas. A população C corresponde à população mais magnética, englobando 24% das amostras distribuídas em um intervalo de log -1,645 a -1,358.

Tabela 10- Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Granito Foliado.

População	Amostras	SM ₁ (Siv)	LOG SM ₁	SM ₂ (Siv)	LOG SM ₂
C	AER-16B	4,37780 x 10 ⁻²	-1,35874		
	ERF-17G	3,84340 x 10 ⁻²	-1,52528		
	ARC-58B	2,89180 x 10 ⁻²	-1,53882		
	ERF-122A	2,88090 x 10 ⁻²	-1,54047		
	AER-17B	2,84340 x 10 ⁻²	-1,54615		
	AER-16 A*	2,26180 x 10 ⁻²	-1,64553		
B	AER-65C	1,73480 x 10 ⁻²	-1,76073		
	AER-17E	1,57550 x 10 ⁻²	-1,80257		
	ERF-101	1,45830 x 10 ⁻²	-1,83613		
	AER-17A	1,41110 x 10 ⁻²	-1,85044		
	AER-65 A	1,29050 x 10 ⁻²	-1,88922		
	ERF-102	1,06750 x 10 ⁻²	-1,97163		
	AER-17D	1,00590 x 10 ⁻²	-1,99742		
	AER-15A	8,73510 x 10 ⁻²	-2,05873		
	AER-123	7,97840 x 10 ⁻³	-2,09808		
	ERF-65 E	7,92710 x 10 ⁻³	-2,10088		
	AER-65 B	7,12250 x 10 ⁻³	-2,14736		
	A	AER-79A	5,00480 x 10 ⁻³	-2,30061	
AER-14*		4,08830 x 10 ⁻³	-2,38845		
AER-76 E		3,99340 x 10 ⁻³	-2,39865		
ERF-124A		3,69970 x 10 ⁻³	-2,43183		
AER-76 C		3,13970 x 10 ⁻³	-2,50310		
AER-79C		2,32010 x 10 ⁻³	-2,63448		
ERF-125A		1,88730 x 10 ⁻³	-2,72415		
ERF-18D		1,86760 x 10 ⁻³	-2,72871		
ERF-66G		7,71460 x 10 ⁻⁴	-3,11268	5,05221 x 10 ⁻⁴	-3,29652
AER-75A		6,74220 x 10 ⁻⁴	-3,17119	8,3813 x 10 ⁻⁵	-4,07668
AER-18A	4,69070 x 10 ⁻⁴	-3,32876	1,9453 x 10 ⁻⁴	-3,71101	

* Amostras com seções polidas; Em vermelho, amostras com baixos valores de SM não consideradas no tratamento dos dados; SM₁ Medidas obtidas com a bobina plana** e SM₂ Medidas obtidas com bobina cilíndrica.

** SM₁ Medidas com bobina plana x 1,7 (fator de correção) p/ amostras com SM > 1x10⁻³Siv e s/ correção p/ amostras com SM < 1x10⁻³Siv.

Tabela 11: Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Granito Foliado

Parâmetros estatísticos (Número de amostras = 25)	SM (Slv)
Média	$1,3800 \times 10^{-2}$
Mediana	$1,0059 \times 10^{-2}$
Média Geométrica	$9,4000 \times 10^{-3}$
Variância	$1,3900 \times 10^{-4}$
Desvio Padrão	$1,1800 \times 10^{-2}$
Valor mínimo	$1,8676 \times 10^{-3}$
Valor máximo	$4,3778 \times 10^{-2}$

Tabela 12- Percentis dos dados de SM do Granito Foliado

Percentagens	Percentis
90	$2,89180 \times 10^{-2}$
80	$2,84340 \times 10^{-2}$
70	$1,57550 \times 10^{-2}$
65	$1,45830 \times 10^{-2}$
60	$1,41110 \times 10^{-2}$
55	$1,06750 \times 10^{-2}$
50	$1,00590 \times 10^{-2}$
45	$8,73510 \times 10^{-3}$
40	$7,92710 \times 10^{-3}$
35	$7,12250 \times 10^{-3}$
30	$5,00480 \times 10^{-3}$
25	$4,08830 \times 10^{-3}$
20	$3,99340 \times 10^{-3}$
15	$3,13970 \times 10^{-3}$
10	$2,32010 \times 10^{-3}$

7.3.3 – Minerais óxidos de Fe e Ti

Os minerais opacos observados nestas rochas ocorrem inclusos ou associados à biotita, allanita, plagioclásio e quartzo (Fig. 24), sendo representados por magnetita, Ilmenita, hematita e, mais raramente, pirita.

A magnetita é predominantemente subédrica (Figs. 25 - 30), apresentando-se geralmente em cristais maciços, fraturados, moderadamente martitizados. Distingue-se da magnetita descrita nas rochas anteriores por apresentar um grau de oxidação mais acentuado, traduzido em uma martitização mais intensa. Esta se desenvolve tanto nas bordas, na forma de finas lentes orientadas e descontínuas (Fig. 25), como nas porções mais internas dos cristais, na forma de manchas (Figs. 26, 27 e 30). Quando associados a biotita, allanita e epidoto, os cristais de magnetita ocorrem entremeados com esses minerais, apresentando contatos retilíneos ou mais localmente irregulares com os mesmos (Figs. 24 e 26). A composição da magnetita é muito pura, sendo desprovida de conteúdos expressivos de Ti e outros elementos, além do Fe (Anexo I).

A Ilmenita apresenta-se como cristais subédricos e anédricos, bastante alterados e quase que inteiramente substituídos por misturas complexas de fases em que se destacam hematita e rutilo (Figs. 27, 29 e 30). Os tipos texturais observados foram: composta externa (Fig. 28) e interna (Fig. 27 e 30) e individual, sendo esta última menos freqüente.

A hematita ocorre com freqüência substituindo a magnetita através do processo de martitização. Exibe formas irregulares desenvolvendo-se geralmente a partir da borda do cristal de magnetita (Fig. 25), segundo reações descritas anteriormente. Em alguns casos este processo é mais intenso e as manchas de martita chegam a substituir grandes porções dos cristais de magnetita (Fig. 26 e 27). A martita é sempre composicionalmente pura (Anexo 1) e não mostra nas análises semi-quantitativas por EDS contrastes composicionais nítidos com a magnetita (Figs. 26b, 27c e 30c; Anexo 1). Além da martita, hematita com conteúdos expressivos de Ti (Figs. 27c e 28c; Anexo 1) pode ser encontrada, freqüentemente, como produto de alteração da ilmenita, ocorrendo na forma de manchas espalhadas por todo o cristal (Figs. 27 - 30).

Os dados de SM e as características dos minerais óxidos de Fe e Ti revelam que o Granito Foliado formou-se em condições oxidantes (associação de magnetita e

ilmenita primárias (Figs. 28 - 30). No domínio de estabilidade da magnetita, portanto entre os tampões FMQ e HM (Fig. 8). Pode-se estimar que o granito cristalizou em condições de fO_2 similares às do tampão NNO, tendo evoluído no estágio *subsolidus* para condições fortemente oxidantes, acima do tampão HM, como indica a forte martitização da magnetita (Figs. 26 e 27) e a transformação da ilmenita para associação de rutilo e hematita (Figs. 27 - 30) cf. (Haggerty 1991). O fato de a magnetita mostrar-se sempre muito pura em termos composicionais e, deixando de lado a martita de formação secundária, bastante homogênea, sem associação com ilmenita em treliça, em manchas e sanduíche, demonstra que ela foi reequilibrada durante o estágio *subsolidus*.

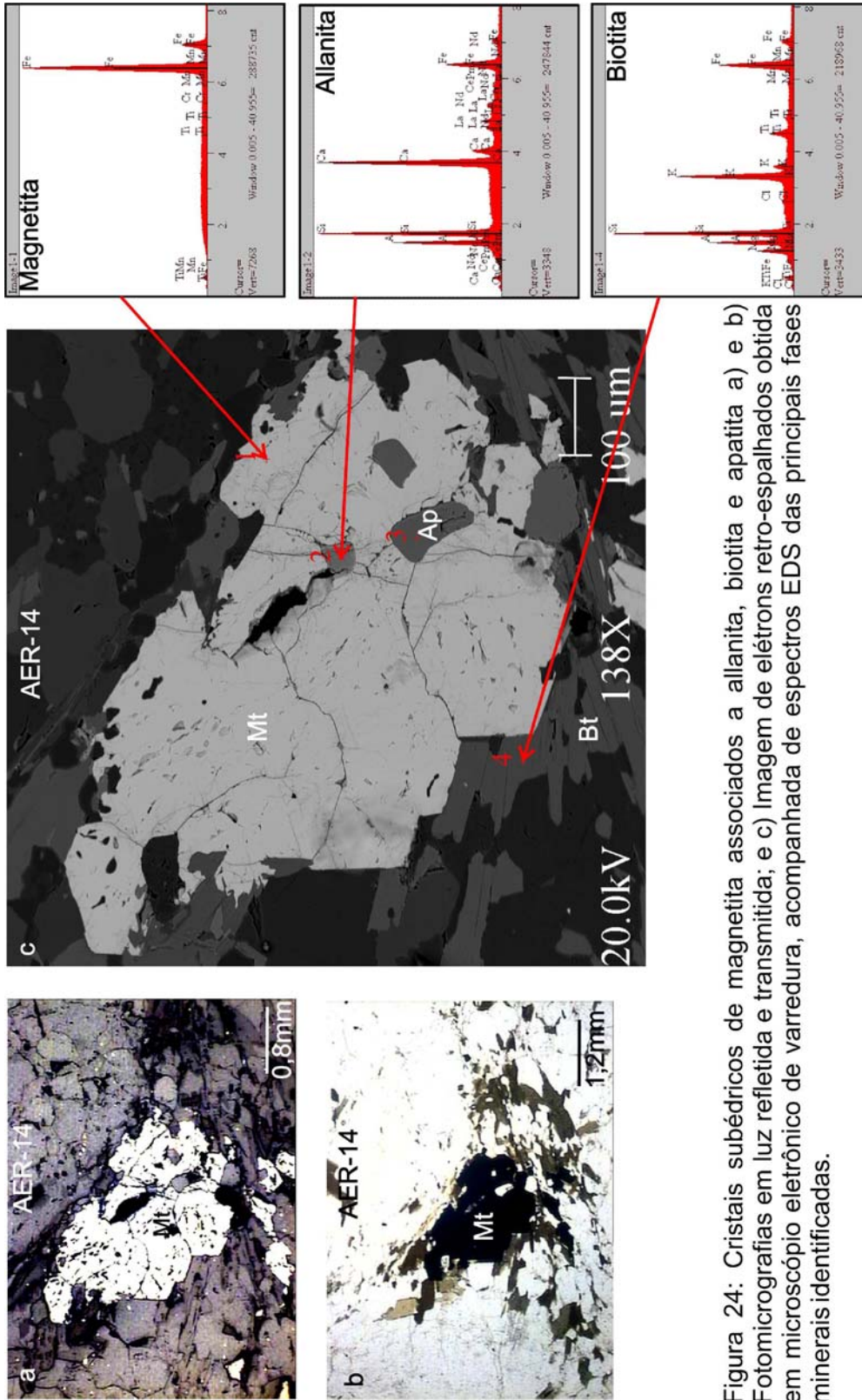


Figura 24: Cristais subédricos de magnetita associados a allanita, biotita e apatita a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida; e c) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.

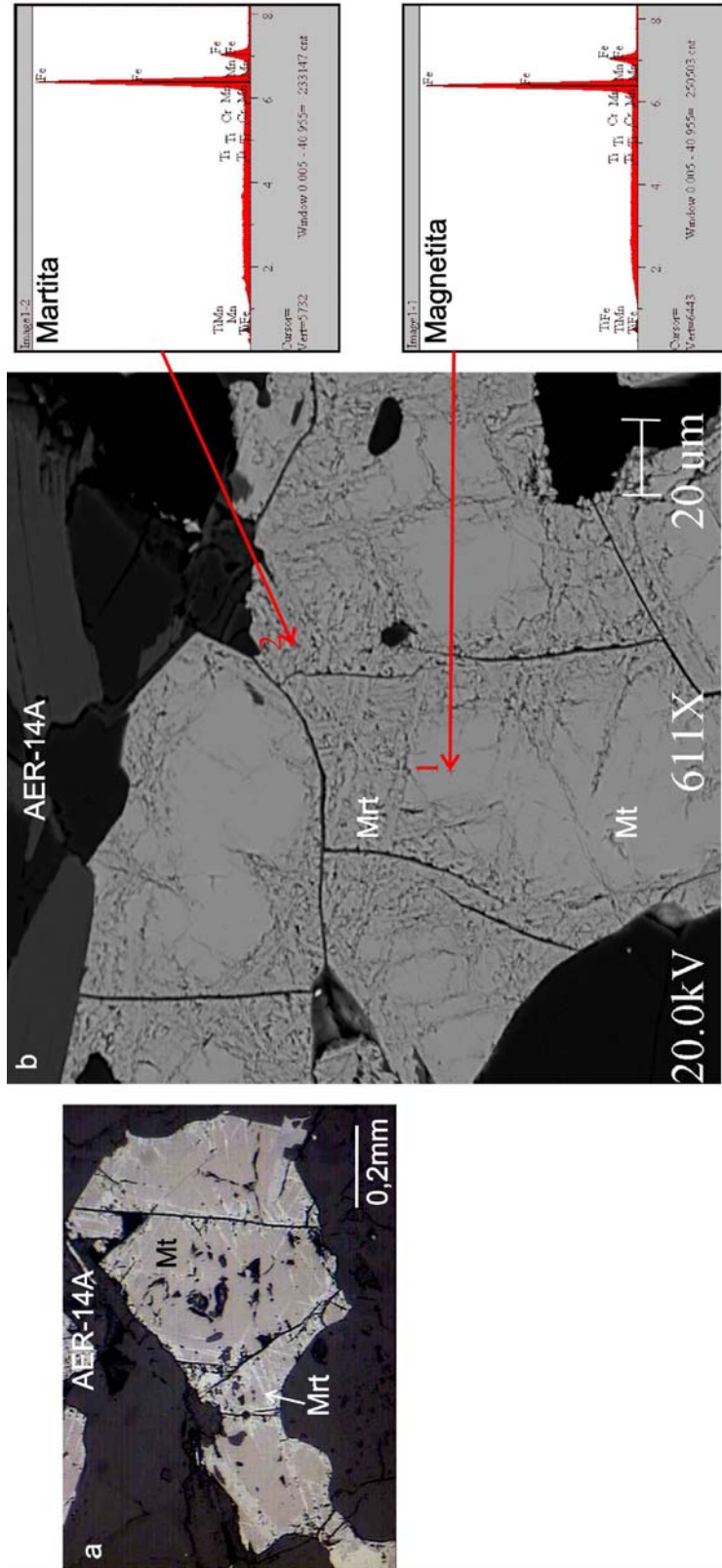


Figura 25 : Cristais subédricos de magnetita fraturados e moderadamente martitizados a) Fotomicrografia em luz refletida; b) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS. Fotomicrografia e imagem de locais distintos.

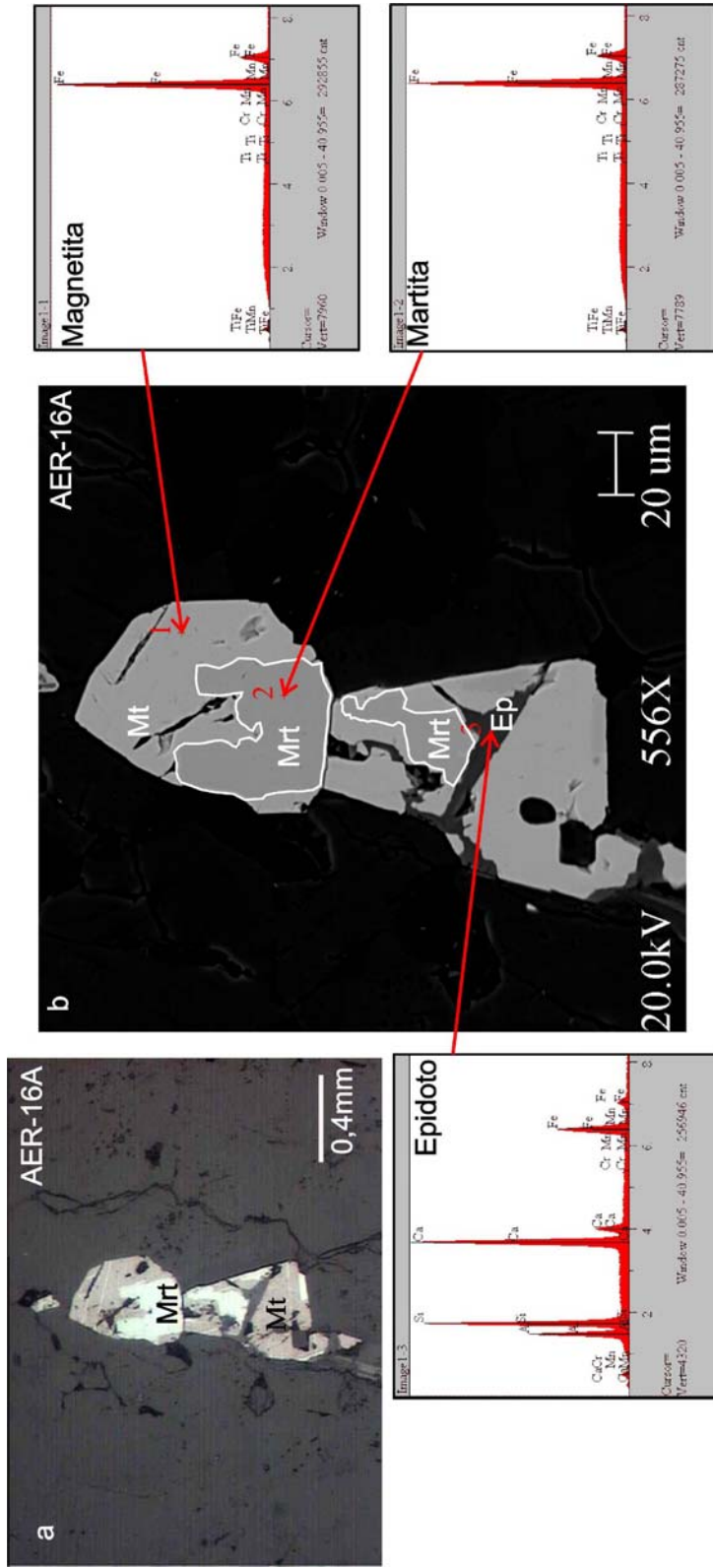


Figura 26: Cristal submicroscópico de magnetita moderadamente martitizada, sendo substituída por epidoto. a) Fotomicrografia em luz refletida; b) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

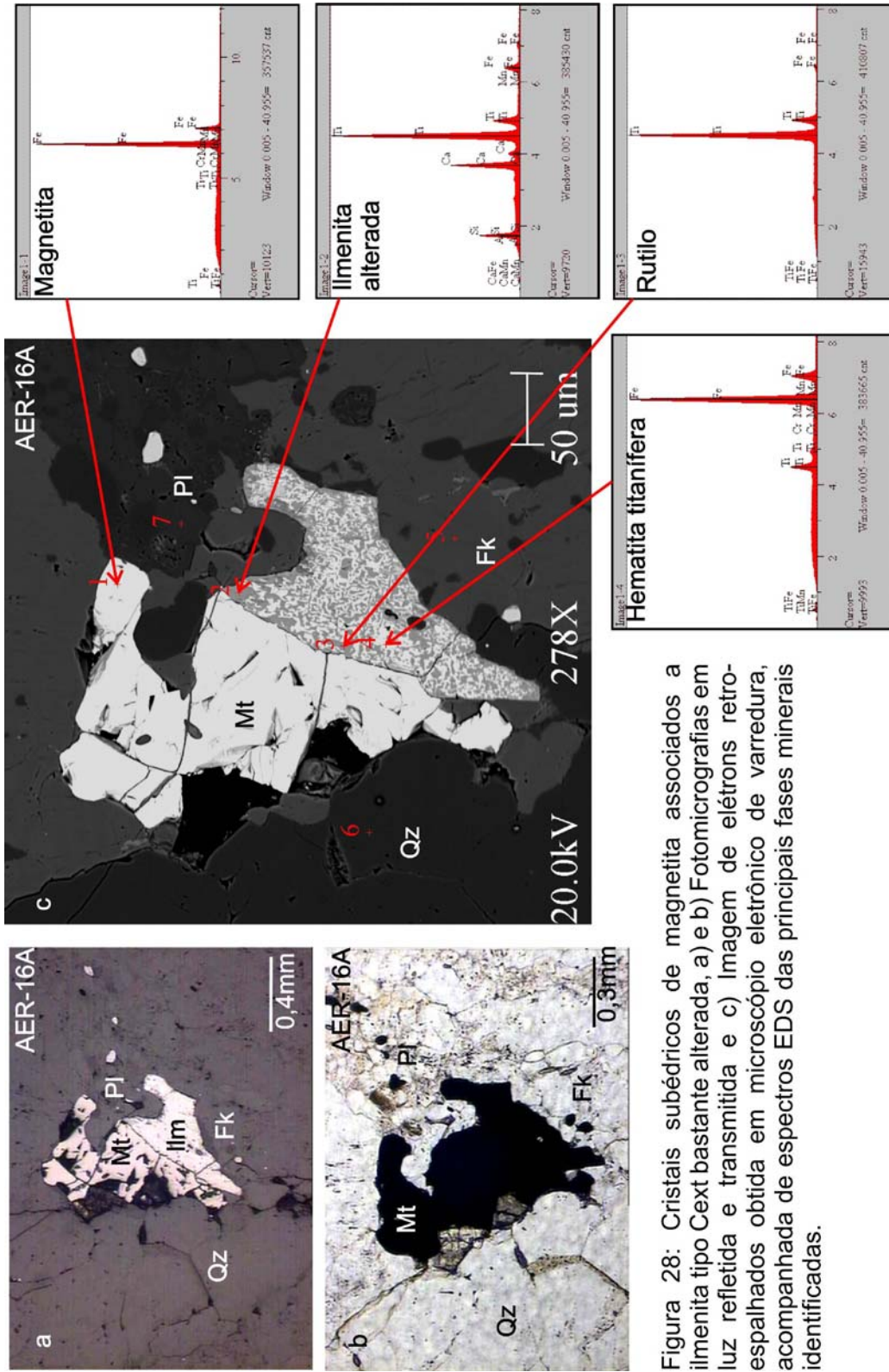


Figura 28: Cristais subédricos de magnetita associados a ilmenita tipo Cext bastante alterada, a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida e c) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases mineralógicas identificadas.

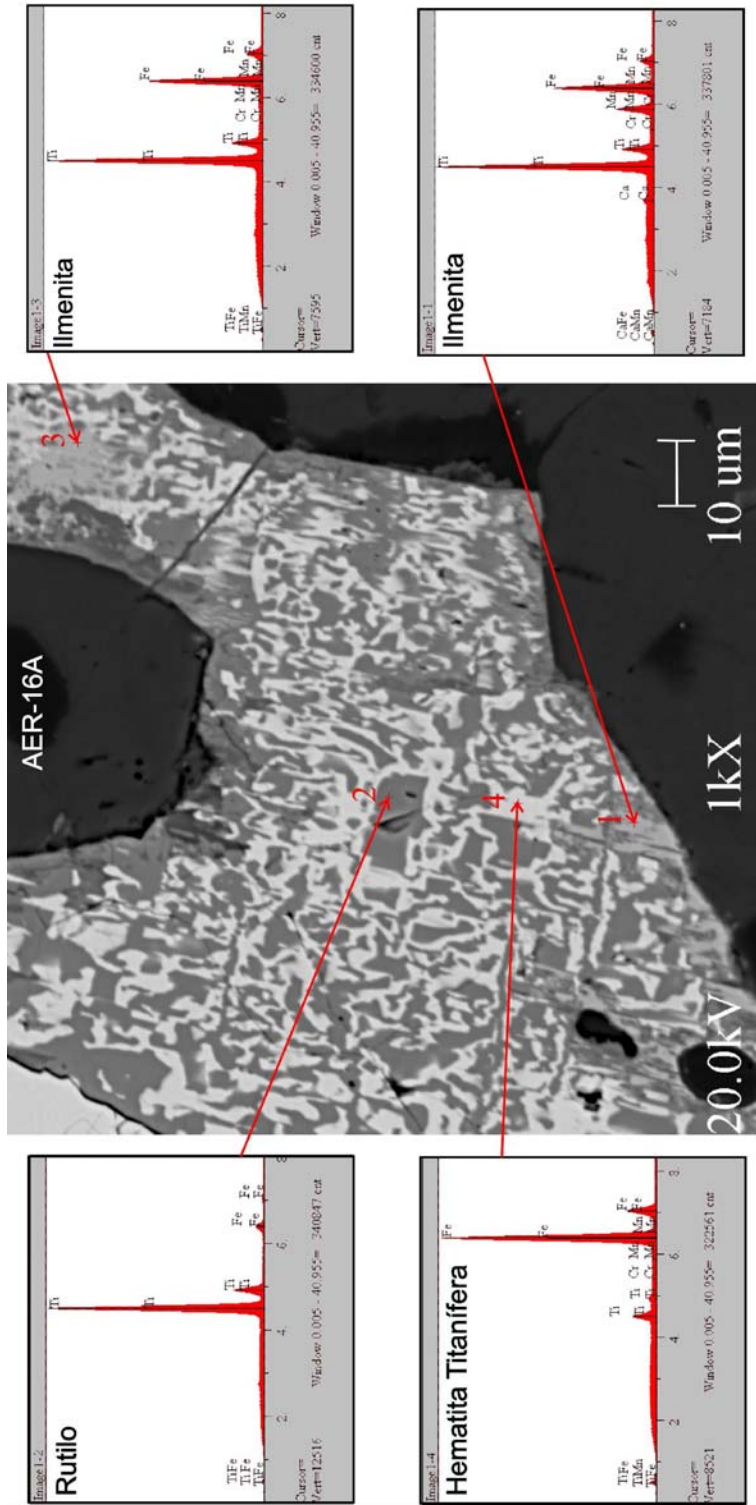


Figura 29: Detalhe da figura 28c, mostrando cristal de ilmenita composta, alterada para rutilo e hematita titanifera.

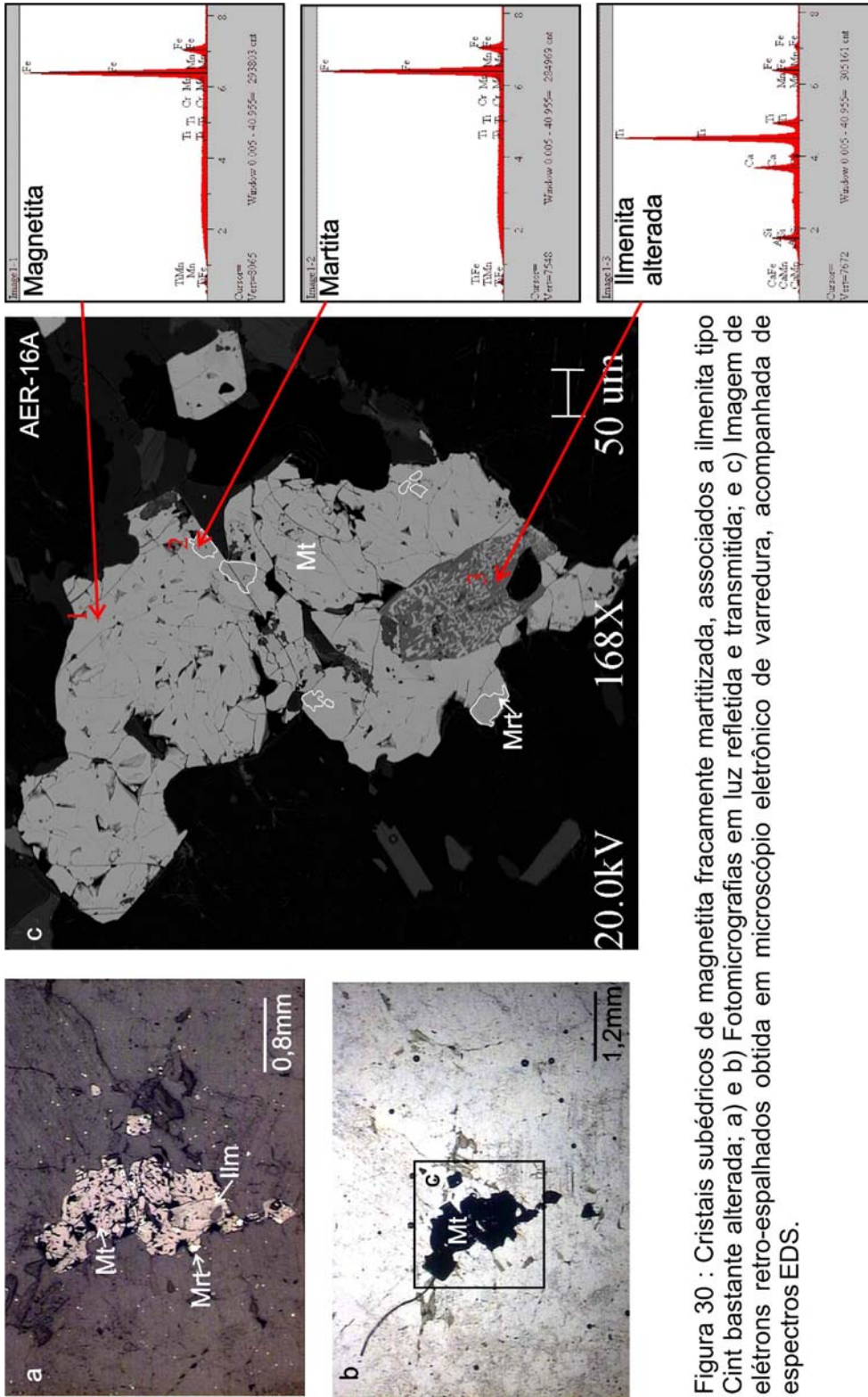


Figura 30 : Cristais subédricos de magnetita fracamente martitizada, associados a ilmenita tipo Cint bastante alterada; a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida; e c) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

7.4 - GABRO

Neste grupo foram incluídos conjuntamente os gabros pertencentes as duas sub-áreas I e II em estudo.

7.4.1 - Aspectos Petrográficos

Na sub-área I (Fig. 3), estas rochas ocorrem como corpos alongados na direção E-W, geralmente não representáveis em escala de mapeamento 1:100.000, que são intrusivos em rochas granitóides. São, geralmente, rochas de coloração preta a esverdeada, isotrópicas, de granulação fina. Além de plagioclásio, clinopiroxênio e anfibólio, ocorrem escapolita, biotita, opacos, epidoto, apatita, clorita e titanita. Os minerais opacos estão sempre presentes, exibindo aspectos texturais diferenciados, sendo ora esqueléticos, ora maciços. No entanto, somente em algumas amostras verifica-se forte atração magnética entre a rocha e a caneta-ímã de campo, indicando a presença de fases magnéticas. Os gabros pertencentes à sub-área II, estudados neste trabalho, não apresentam deformação muito expressiva, correspondendo aos gabros não deformados descritos por Gomes (2003; Fig. 5). Esses gabros apresentam coloração cinza escuro, granulação média a grossa, homogeneidade composicional e textural, e são formados essencialmente por plagioclásio (labradorita), augita e olivina; os minerais acessórios são quartzo e opacos.

7.4.2 - Suscetibilidade Magnética

Os gabros apresentam valor médio de SM de $2,6945 \times 10^{-2}$ Slv, com valores variando entre $1,74810 \times 10^{-3}$ Slv (valor mínimo) e $1,05910 \times 10^{-1}$ Slv (valor máximo) (Tab. 13). Duas de suas amostras apresentaram, em medidas com bobina plana, $SM < 1 \times 10^{-3}$, porém não puderam ser medidas através da bobina cilíndrica em virtude de suas dimensões reduzidas. Os parâmetros estatísticos das amostras dessa unidade litológica se encontram sumarizados na tabela 14 e a variação dos dados de SM é apresentada na tabela 15, onde se verifica que aproximadamente 40% das amostras possuem SM superior à média. O histograma e polígono de frequência (Fig. 31a) revelam uma distribuição bimodal dos valores de SM. Os dados de SM quando plotados no gráfico de probabilidade normal (Fig. 31b) mostram, através de segmentos de reta, a

separação de três populações magnéticas distintas. A população A menos magnética, cujos valores de log de SM ficam compreendidos entre -2,757 e -2,339, corresponde a 36% das amostras estudadas. A população B, com valores intermediários de SM, distribuídos entre log -1,997 e -1,984, engloba 8% das amostras estudadas e a população C, mais magnética com log de SM variando de -1,739 a -0,975, é constituída por 56% das amostras medidas.

Tabela 13- Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Gabro

População	Amostras	SM (Slv)	LOG SM
C	AER-29D	$1,05910 \times 10^{-1}$	-0,97505
	AER-52	$7,19980 \times 10^{-2}$	-1,14267
	AER-12A	$6,95990 \times 10^{-2}$	-1,15739
	JES-62	$6,58250 \times 10^{-2}$	-1,18160
	AER-75 B*	$4,63990 \times 10^{-2}$	-1,33348
	AMR-84A	$4,27050 \times 10^{-2}$	-1,36951
	AMR-117C	$3,77580 \times 10^{-2}$	-1,42298
	AER-55 D	$3,53600 \times 10^{-2}$	-1,45148
	AMR-84B	$3,35100 \times 10^{-2}$	-1,47482
	AER-56 B	$2,71890 \times 10^{-2}$	-1,56559
	ERF-118	$2,58520 \times 10^{-2}$	-1,58750
	ERF-107	$2,52580 \times 10^{-2}$	-1,59759
	AER-30 A	$2,42710 \times 10^{-2}$	-1,61491
	AER-10	$1,82100 \times 10^{-2}$	-1,73968
	B	AER-12 D	$1,03610 \times 10^{-2}$
AER-2		$1,00490 \times 10^{-2}$	-1,99783
A	ERF-86 C	$4,57650 \times 10^{-3}$	-2,33946
	AER-9A	$4,00930 \times 10^{-3}$	-2,39693
	ERF-113 F	$2,80650 \times 10^{-3}$	-2,55183
	AER-23*	$2,46260 \times 10^{-3}$	-2,6086
	AER-42	$2,22260 \times 10^{-3}$	-2,65314
	AER-38	$1,93590 \times 10^{-3}$	-2,71310
	AER-47 C	$1,83050 \times 10^{-3}$	-2,73741
	ERF-47H	$1,78680 \times 10^{-3}$	-2,74790
	AAM-211	$1,74810 \times 10^{-3}$	-2,75743
	ERF-47 G	$9,18430 \times 10^{-4}$	-3,03695
JES-65	$5,30460 \times 10^{-4}$	-3,27535	

* Amostras com seções polidas; Em vermelho, amostras com baixos valores de SM não consideradas no tratamento dos dados; SM₁, Medidas obtidas com a bobina plana**.

** SM₁, Medidas com bobina plana x 1,7 (fator de correção) p/ amostras com SM > 1×10^{-3} Slv e s/ correção p/ amostras com SM < 1×10^{-3} Slv.

Tabela 14: Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Gabro

Parâmetros estatísticos	SM (Slv)
(Número de amostras = 25)	
Média	$2,6945 \times 10^{-2}$
Mediana	$2,4271 \times 10^{-2}$
Média Geométrica	$1,3058 \times 10^{-2}$
Variância	$7,6856 \times 10^{-4}$
Desvio Padrão	$2,7723 \times 10^{-2}$
Valor mínimo	$1,7481 \times 10^{-3}$
Valor máximo	$1,0591 \times 10^{-1}$

Tabela 15- Percentis dos dados de SM do Gabro

Percentagens	Percentis
90	$6,95990 \times 10^{-2}$
80	$4,27050 \times 10^{-2}$
70	$3,53600 \times 10^{-2}$
65	$3,35100 \times 10^{-2}$
60	$2,58520 \times 10^{-2}$
55	$2,52580 \times 10^{-2}$
50	$2,42710 \times 10^{-2}$
45	$1,82100 \times 10^{-2}$
40	$1,00490 \times 10^{-2}$
35	$4,57650 \times 10^{-3}$
30	$4,00930 \times 10^{-3}$
25	$2,80650 \times 10^{-3}$
20	$2,22260 \times 10^{-3}$
15	$1,93590 \times 10^{-3}$
10	$1,83050 \times 10^{-3}$

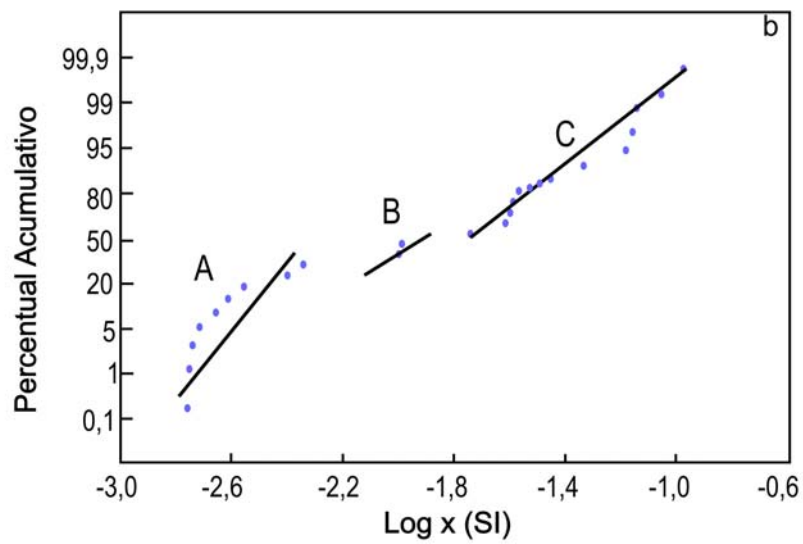
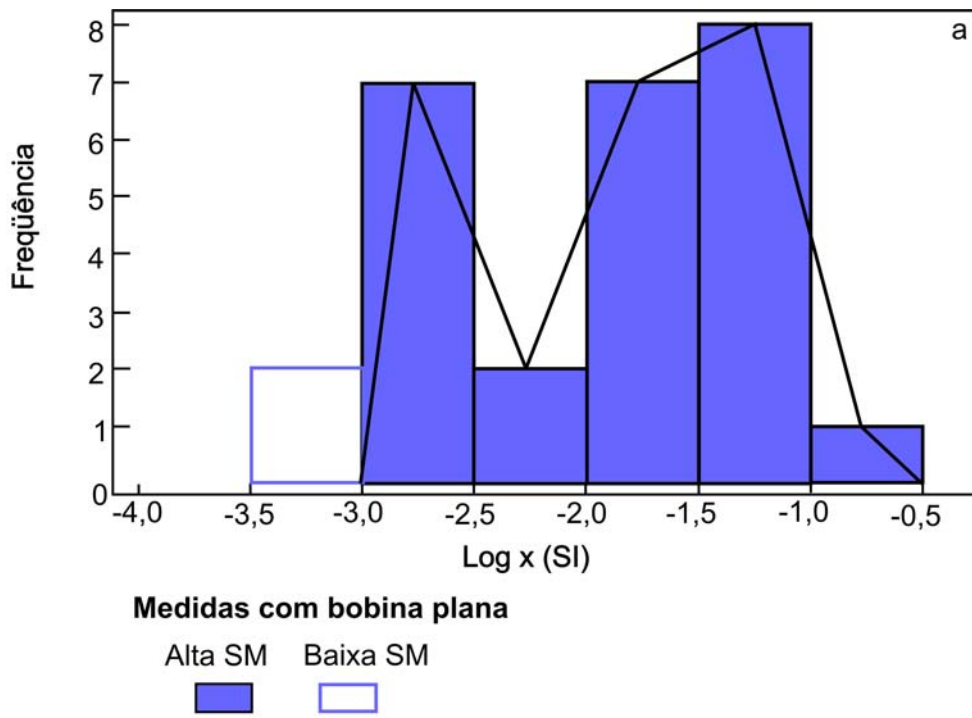


Figura 31: a) Histograma e polígono de freqüência e b) Gráfico de probabilidade referentes aos dados de suscetibilidade magnética do Gabro.

7.4.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti

Os minerais óxidos de Fe e Ti identificados nos gabros foram: Titanomagnetita, ilmenita e hematita. Além destes minerais opacos, ocorrem ainda os sulfetos, pirita e calcopirita. Tanto os óxidos, quanto os sulfetos, associam-se a piroxênio (augita), anfibólio, titanita, quartzo e plagioclásio.

A titanomagnetita ocorre preferencialmente em amostras de mais alta SM e apresenta-se como cristais subédricos bastante alterados e, por vezes, parcialmente corroídos (Fig. 32). A alteração se traduz em manchas esverdeadas e esbranquiçadas ao longo dos cristais (Figs. 32 - 34), provável efeito da alteração hidrotermal sofrida por essas rochas. Alguns cristais de magnetita foram quase que inteiramente substituídos por misturas de óxidos (Figs. 32 - 34), como pôde ser comprovado através das análises semiquantitativas por EDS em microscópio eletrônico de varredura (Anexo I). Em amostras com valores de SM relativamente mais baixos (população A), foram observados cristais esqueléticos de titanomagnetita, transformados em intercrescimentos de magnetita e ilmenita em treliça, nos quais a magnetita foi inteiramente substituída, devido aos processos hidrotermais sofridos por essas rochas, restando apenas as lamelas de ilmenita preservada (Fig. 35). Isso explica o decréscimo da SM, pois a ilmenita é acentuadamente menos magnética que a magnetita.

As observações no microscópio ótico e no MEV, ainda que limitadas a apenas duas amostras representativas das populações A e C (Tab. 13; Fig. 31), indicam que as amostras da população A tiveram a magnetita fortemente transformada e substituída; enquanto que naquelas da população C, a magnetita encontra-se mais preservada. Isso sugere que a população C é mais representativa da SM original dos gabros e a população A engloba cristais com efeitos de hidrotermalismo intenso que afetou a magnetita.

A ilmenita ocorre com bastante freqüência nesta rocha. Seus cristais se apresentam geralmente bem preservados. De acordo com a classificação de Buddington & Lindsley (1964), Haggerty (1981, 1991) e Dall'Agnol *et al.* (1997), foram observadas ilmenitas do tipo treliça (Figs. 33-34), as quais ocorrem na forma de lamelas que variam de finas a muito finas e se distribuem muitas vezes uniformemente ao longo dos cristais de magnetita (Fig. 36), composta interna e externa (Figs. 32 e 34), ilmenita

individual, na forma de grãos anédricos de granulação fina a média disseminados na rocha (Fig. 35), e em manchas (Figs. 32 e 33).

A hematita ocorre apenas como produto de alteração da magnetita, na forma de martita, como manchas ao longo dos cristais.

A pirita e calcopirita nestas rochas tornam-se mais abundantes com o decréscimo da SM, ocorrendo tanto na forma de cristais bem desenvolvidos e subédricos associados a ilmenita, como disseminados na matriz. Isto sugere que os sulfetos estejam associados aos processos hidrotermais de mais baixa temperatura que desestabilizaram a magnetita.

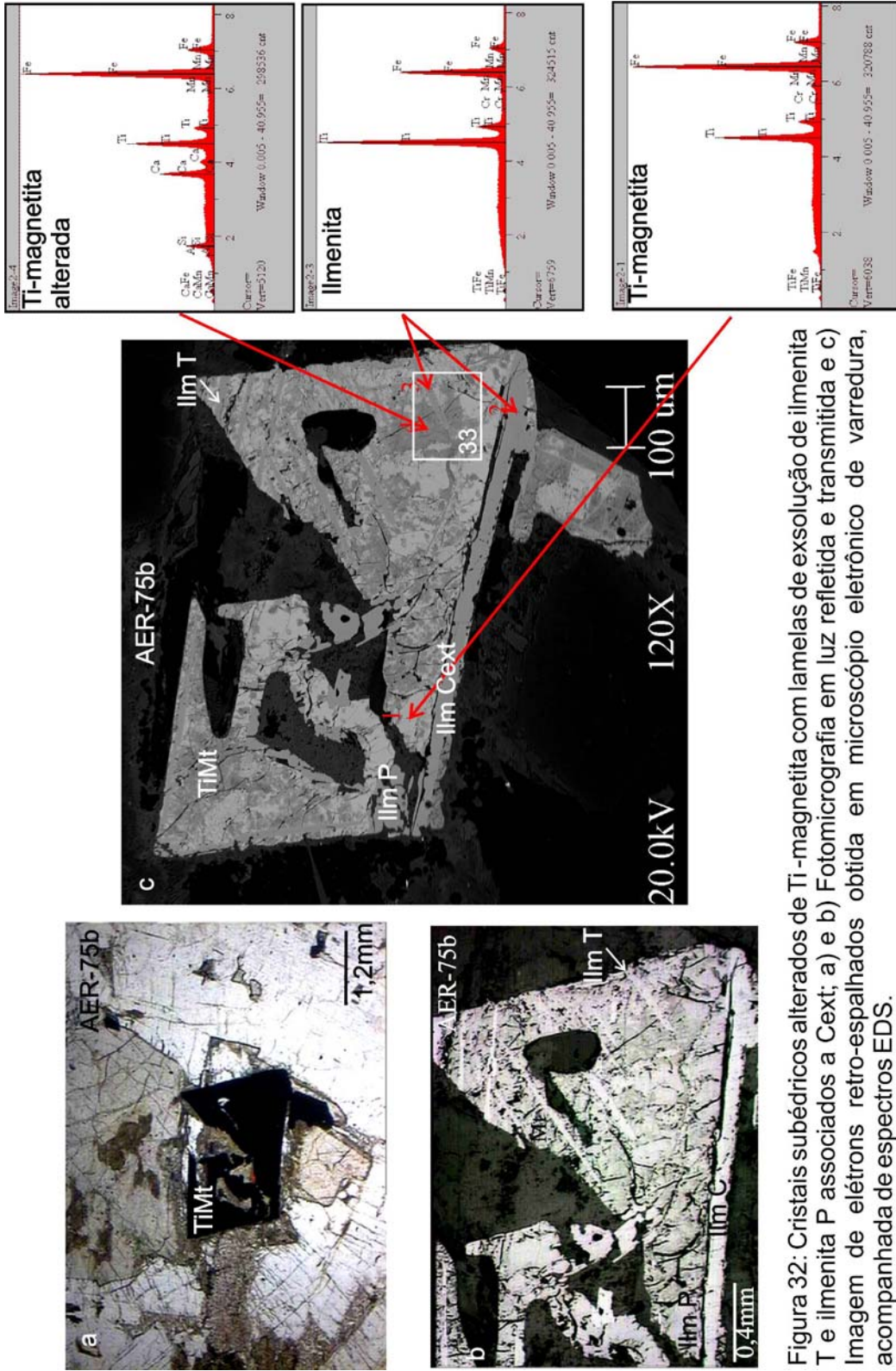


Figura 32: Cristais subédricos alterados de Ti-magnetita com lamelas de exsolução de ilmenita T e ilmenita P associados a Cext; a) e b) Fotomicrografia em luz refletida e transmitida e c) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

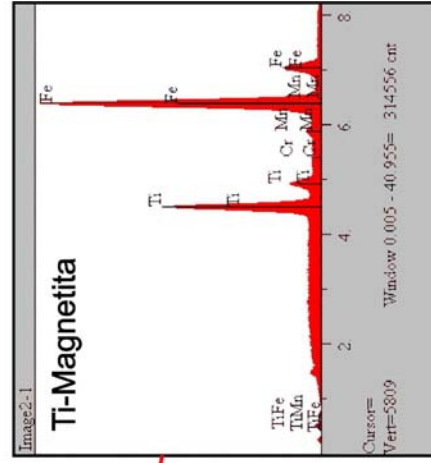
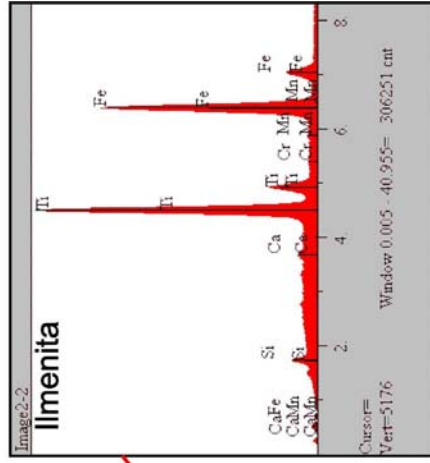
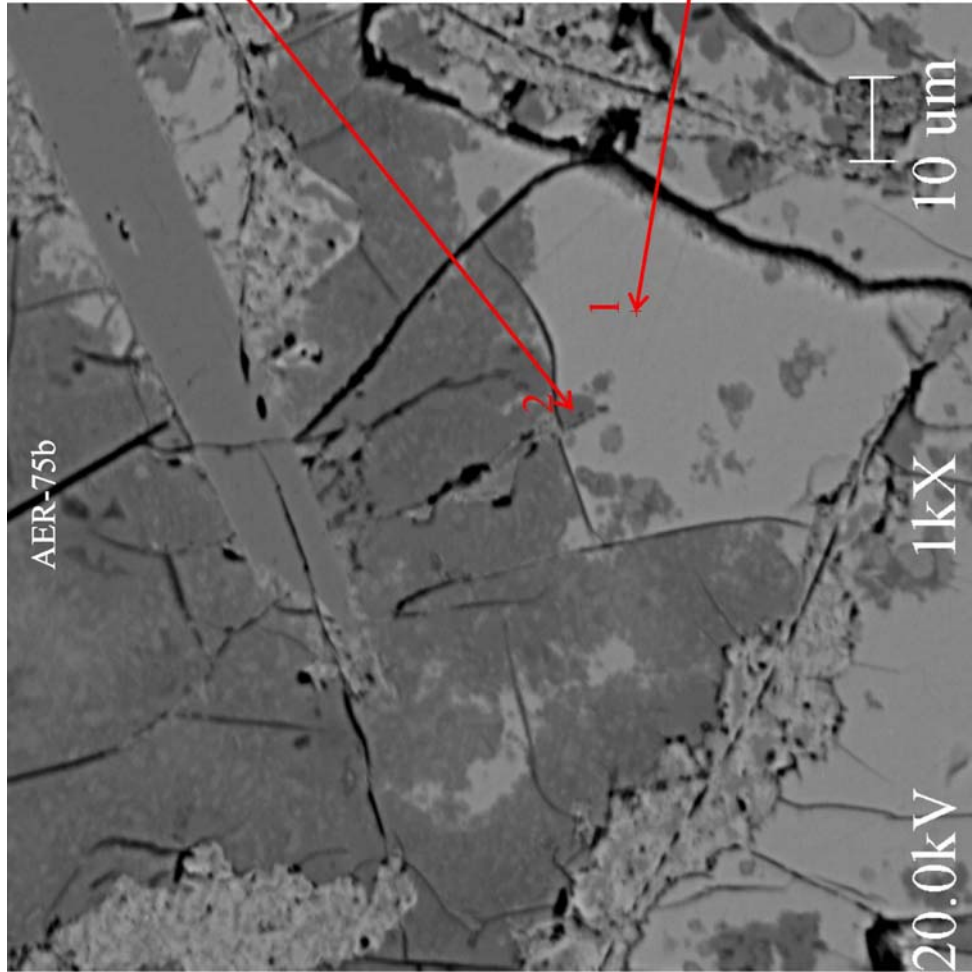


Figura 33: Detalhe da figura 32c mostrando cristal de Ti-magnetita (?) alterada, com lamelas de ilmenita *trellis* e ilmenita *patch* associadas.

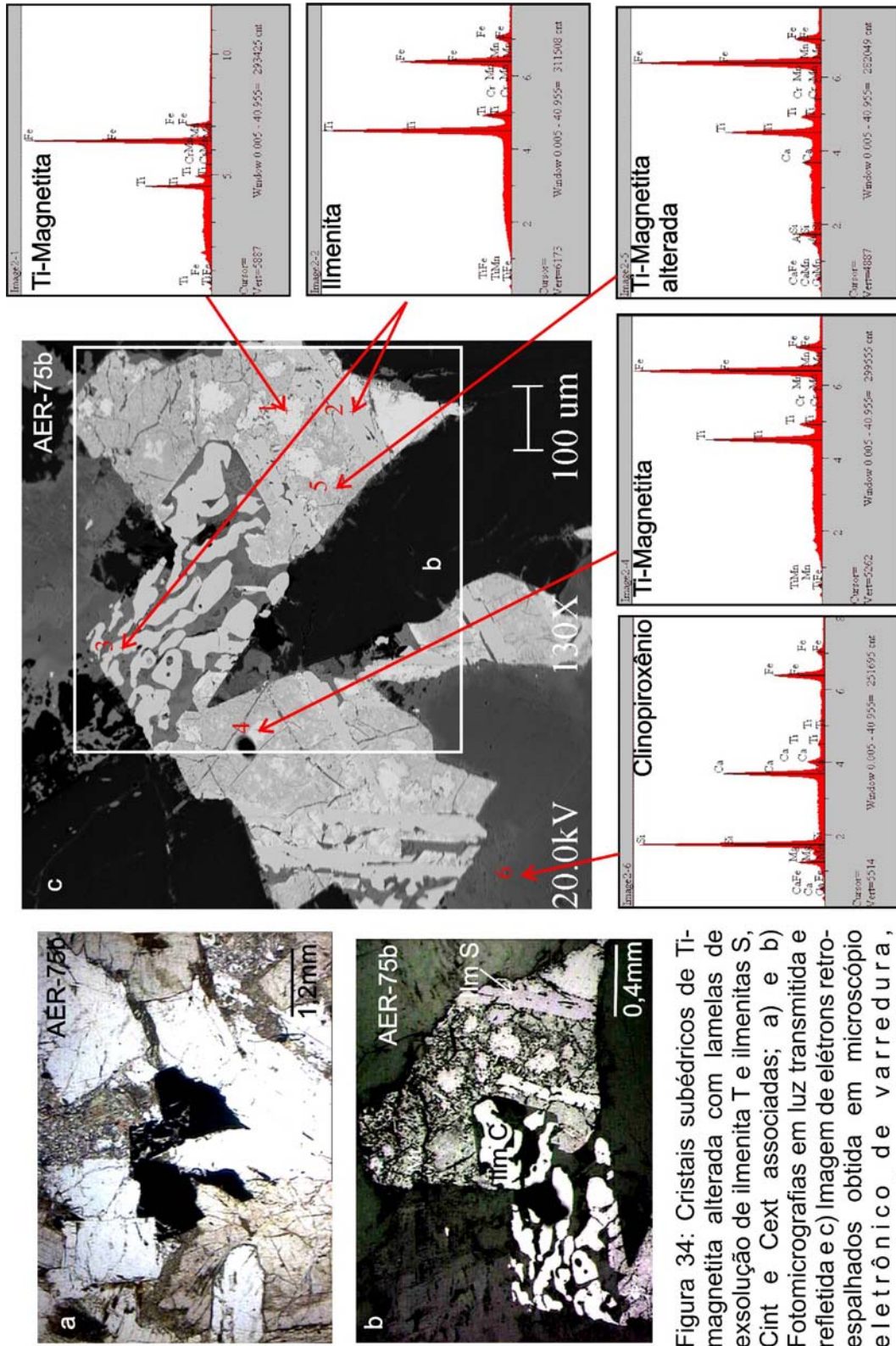


Figura 34: Cristais subédricos de Ti-magnetita alterada com lamelas de exsolução de ilmenita T e ilmenitas S, Cint e Cext associadas; a) e b) Fotomicrografias em luz transmitida e refletida e c) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

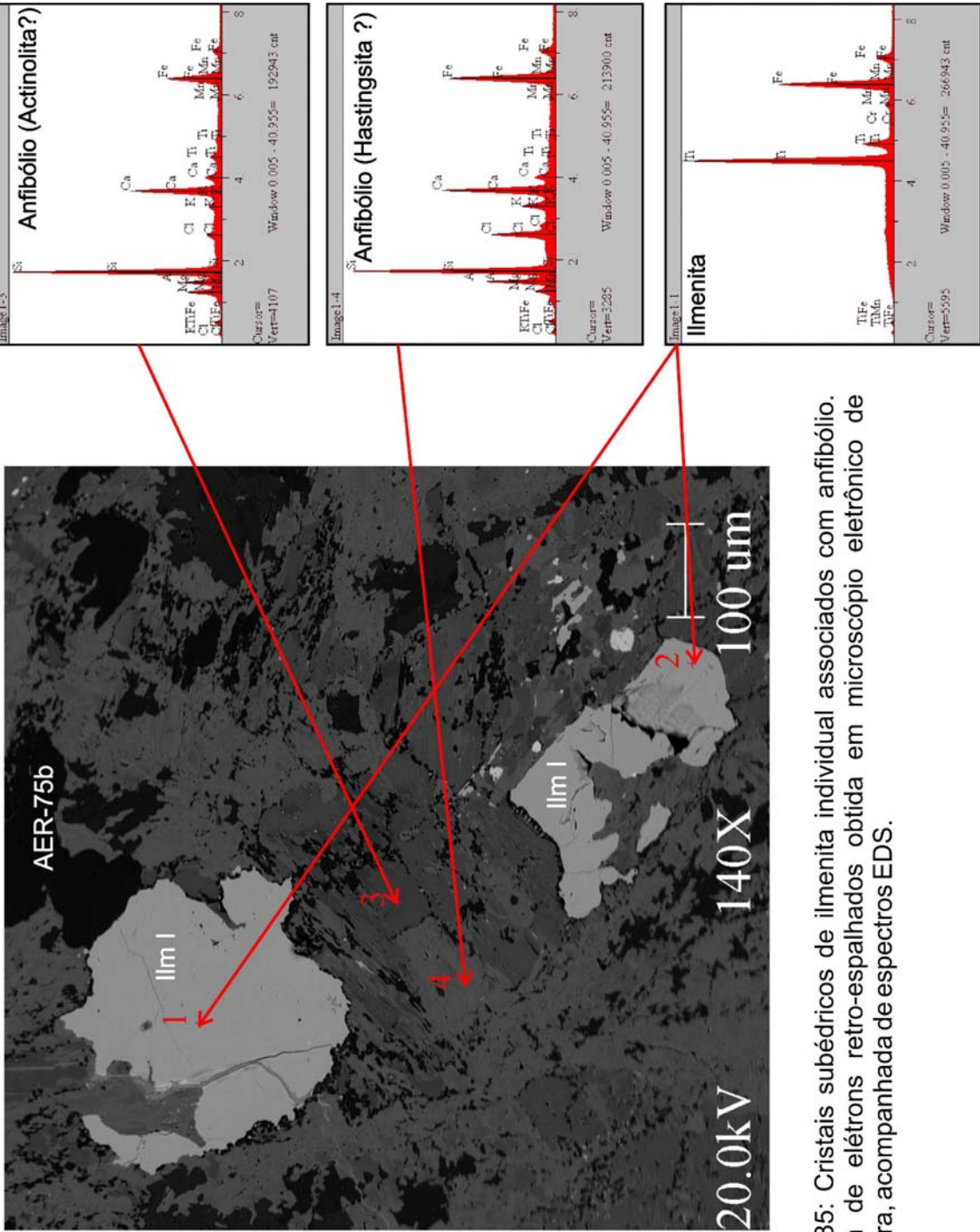


Figura 35: Cristais subédricos de ilmenita individual associados com anfibólio. Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

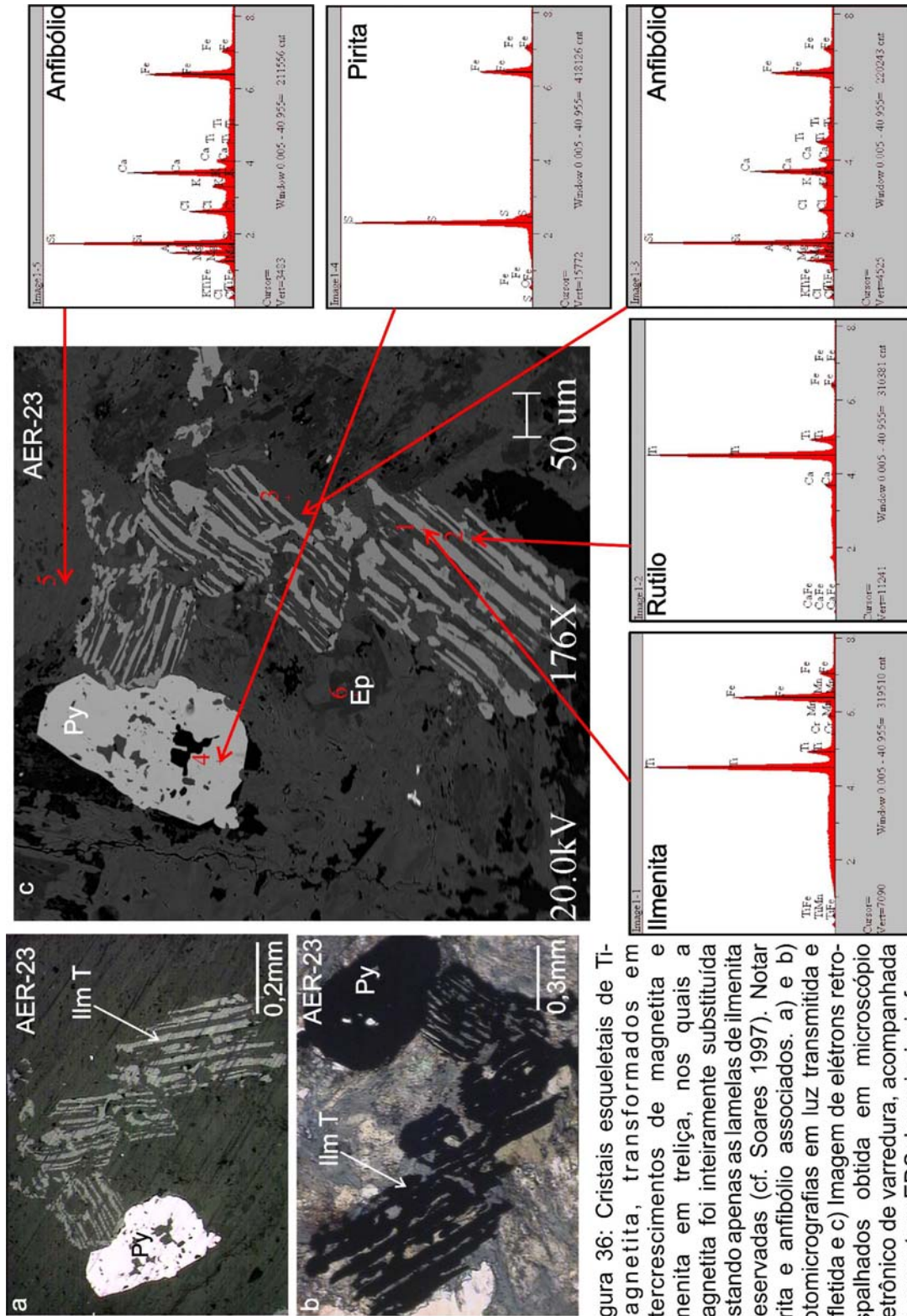


Figura 36: Cristais esqueletais de Ti-magnetita, transformados em magnetita, transformados em intercrescimentos de magnetita e ilmenita em treliça, nos quais a magnetita foi inteiramente substituída restando apenas as lamelas de ilmenita preservadas (cf. Soares 1997). Notar pirita e anfibólio associados. a) e b) Fotomicrografias em luz transmitida e refletida e c) Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases mineralis identificadas.

7.5 - TRONDHJEMITO

7.5.1 - Aspectos Petrográficos

São rochas foliadas, esbranquiçadas, bastante fraturadas e alteradas hidrotermalmente, que ocorrem na sub-área I (Fig. 3). Estão expostas em lajedos ou em blocos soltos de dimensões métricas. Microscopicamente, exibem textura ígnea parcialmente modificada por microfraturamentos e alteração hidrotermal. Mineralogicamente são compostas por plagioclásio saussuritizado, quartzo, biotita, clorita, escapolita, microclina, epidoto, opacos, allanita e zircão (Soares 2002).

7.5.2 - Suscetibilidade Magnética

Foram medidas cerca de 22 amostras de trondhjemitos através da bobina plana. Aproximadamente dois terços destas amostras apresentaram valores de SM menores que 1×10^{-3} . Algumas dentre estas amostras foram utilizadas na obtenção de testemunhos para medidas em bobina cilíndrica, para estabelecer comparações entre os valores fornecidos pelas duas bobinas, e definir com maior rigor os valores de SM, já que os valores $< 1 \times 10^{-3}$ em bobina plana não são confiáveis (Vide Capítulo 6). As medidas obtidas com bobina plana forneceram valores entre $9,4417 \times 10^{-4}$ e $5,0622 \times 10^{-4}$. Já as medidas efetuadas com bobina cilíndrica situam-se no intervalo de $8,3813 \times 10^{-5}$ a $1,8797 \times 10^{-5}$ (Tab. 16) e são as mais representativas deste conjunto litológico. Estas amostras com valores mais baixos de SM, em sua maioria, não apresentam indícios de cristais de magnetita, que é dentre os minerais óxidos de Fe e Ti, o principal responsável pela assinatura magnética de uma rocha.

Os valores de SM podem ser melhor observados no histograma de frequência (Fig. 37). Este grupo litológico assume um comportamento diferente daqueles das rochas estudadas anteriormente, as quais apresentam valores de SM predominantemente acima de 1×10^{-3} e têm como principal mineral óxido de Fe e Ti a magnetita. Enquanto os Trondhjemitos são rochas com conteúdo bastante reduzido ou até mesmo inexistente de magnetita, o que explica a dominância de baixos valores de SM. Eles têm como principais minerais óxidos de Fe e Ti, ilmenita e hematita, como será visto com mais detalhe no próximo tópico. Os valores mais altos de SM nestas rochas foram obtidos em amostras que apresentam conteúdos significativos de

magnetita, sendo esta, ao que tudo indica, secundária e oriunda, provavelmente, de processos hidrotermais que afetaram essas rochas.

Tabela 16- Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Trondhjemito

Amostras	SM ₁ Slv	LOG SM ₁	SM ₂ Slv	LOG SM ₂
AAM-195	1,43840 x 10 ⁻²	-1,84210		
AAM-205	1,38800 x 10 ⁻²	-1,85760		
JES-74	1,26300 x 10 ⁻²	-1,89858		
JES-67	1,14150 x 10 ⁻²	-1,94251		
JES-66	7,02490 x 10 ⁻³	-2,15336		
JES-72	6,57370 x 10 ⁻³	-2,18218		
JES-64	2,00630 x 10 ⁻³	-2,69759		
AER-11 A*	1,83480 x 10 ⁻³	-2,73641		
ERF-99	9,44170 x 10 ⁻⁴	-3,02494	5,7388 x 10 ⁻⁵	-4,2411
AER-12E	7,52400 x 10 ⁻⁴	-3,12355		
ERF-98A	7,08610 x 10 ⁻⁴	-3,14959	6,2576 x 10 ⁻⁵	-4,2035
AER-75 A	6,99700 x 10 ⁻⁴	-3,15509	8,3813 x 10 ⁻⁵	-4,0766
AER-18A	6,66540 x 10 ⁻⁴	-3,17617	5,7307 x 10 ⁻⁵	-4,2417
AAM-197	6,22010 x 10 ⁻⁴	-3,20620		
AER-43 H	6,15820 x 10 ⁻⁴	-3,21055	1,8797 x 10 ⁻⁵	-4,7259
AAM-208	5,92320 x 10 ⁻⁴	-3,22744		
ERF-103	5,71540 x 10 ⁻⁴	-3,24295	5,4227 x 10 ⁻⁵	-4,2657
AAM-199	5,29970 x 10 ⁻⁴	-3,27575		
AER-61*	5,29970 x 10 ⁻⁴	-3,27575	2,3911 x 10 ⁻⁵	-4,6240
AAM-210	5,10170 x 10 ⁻⁴	-3,29229		
ERF-97	5,06220 x 10 ⁻⁴	-3,29566	5,3887 x 10 ⁻⁵	-4,2685

* Amostras com seções polidas; Em vermelho, amostras com baixos valores de SM não consideradas no tratamento dos dados; SM₁ Medidas obtidas com a bobina plana** e SM₂ Medidas obtidas com bobina cilíndrica.

** SM₁ Medidas com bobina plana x 1,7 (fator de correção) p/ amostras com SM > 1x10⁻³Slv e s/ correção p/ amostras com SM < 1x10⁻³Slv.

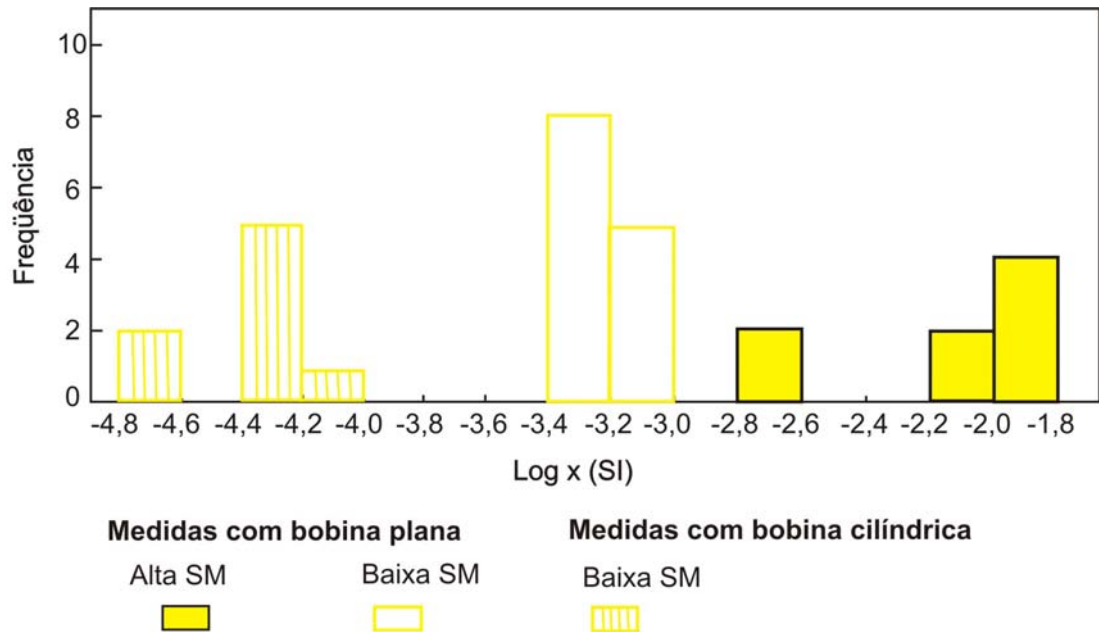


Figura 37: Histograma de Freqüência referente aos dados de SM do Trondhjemito.

7.5.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti

Os trondhjemitos se distinguem das demais rochas estudadas por apresentarem os mais baixos valores de SM. Isto é consequência do conteúdo inexpressivo de magnetita na maioria das amostras estudadas. Os Trondhjemitos possuem comportamento magnético semelhante ao da Associação Tonalítica-Trondhjemítica que será discutida a seguir. A ilmenita é o mineral óxido de Fe e Ti predominante nesse grupo de rocha (Fig. 38). Ocorrem ainda, por vezes, magnetita e ilmenita, geralmente associados com clorita e plagioclásio (Fig. 39).

A magnetita, quando presente, ocorre na forma de cristais subédricos, fracamente martitizados e por vezes fraturados. Suas fraturas são, na maioria das vezes, preenchidas por clorita. Este mineral é encontrado em um grupo restrito de amostras, as quais apresentaram os maiores valores de SM. Os trondhjemitos foram intensamente afetados por processos hidrotermais, sendo muito provável que tais processos tenham acarretado a formação de magnetita, já que a grande maioria das amostras estudadas apresentou ilmenita como mineral óxido de Fe e Ti predominante e ausência de magnetita.

A ilmenita ocorre na forma de cristais anédricos predominantemente, associados a clorita. Encontram-se geralmente substituídos por hematita, rutilo e titanita (Figs. 38 e 39). O tipo textural encontrado foi o Individual (Ilm I; Fig. 38 e 39).

A hematita ocorre geralmente como produto de alteração da ilmenita, em conteúdos pouco expressivos, e associados com magnetita.

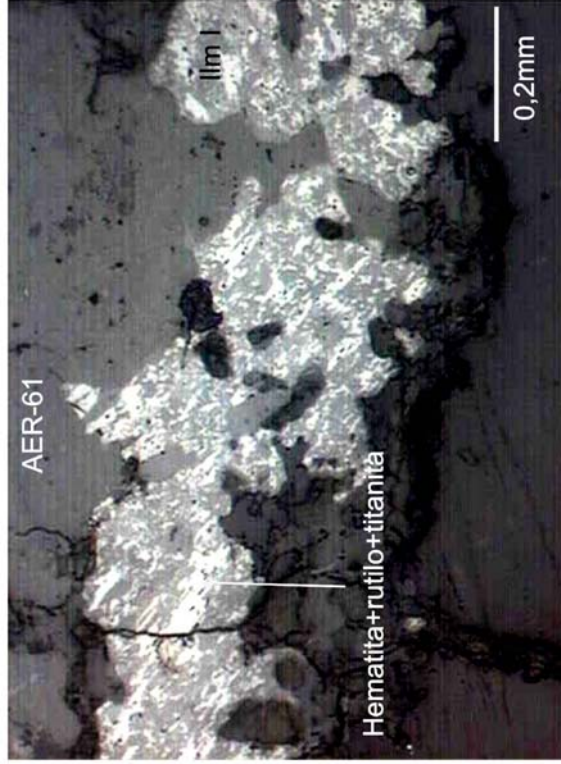
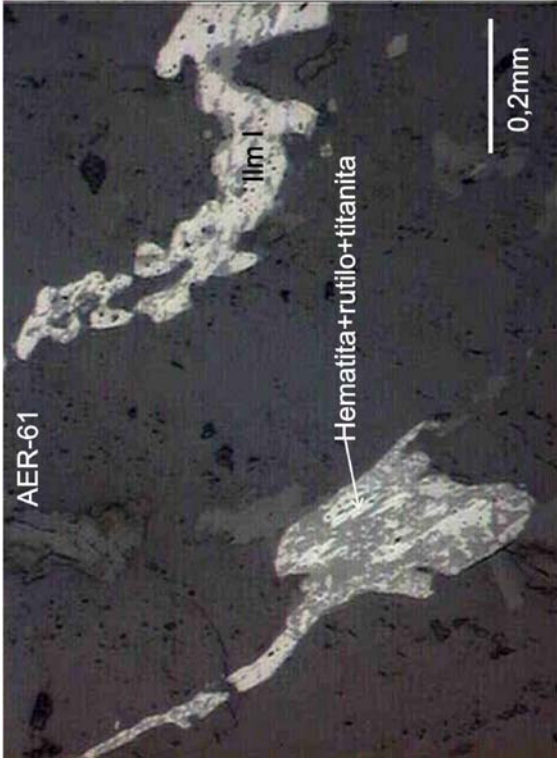


Figura 38: Cristais de ilmenita individual (Ilm I) bastante alterados para hematita, rutilo e titanita. Fotomicrografias em luz refletida.

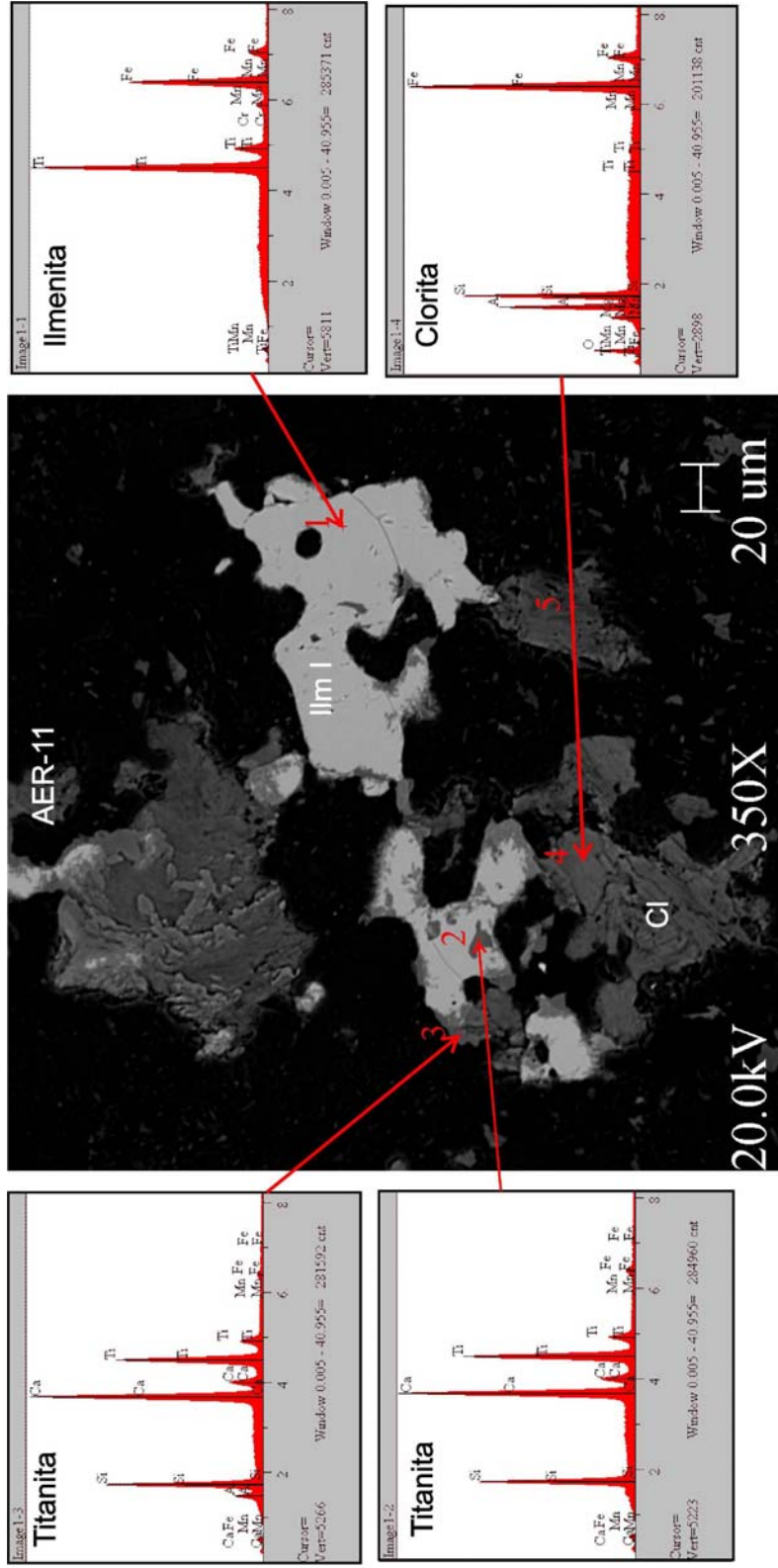


Figura 39: Cristais de ilmenita individual fracamente alterados para titanita e associados a clorita. Imagens de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.

7.6 - GRANITO PLANALTO

7.6.1 - Aspetos Petrográficos

O Granito Planalto (GP), tanto na sub-área II (Gomes, 2003), quanto na sub-área III (Oliveira 2003), onde se situa sua área tipo, é formado por rochas leucocráticas, de cor rosada com pontuações escuras, correspondentes aos minerais máficos. Exibe textura inequigranular, granulação média a grossa, localmente fina. Apresenta foliação bem desenvolvida de direção próxima de E-W e mergulho subvertical. São rochas moderada a fortemente deformadas que apresentam textura fanerítica, granular e hipidiomórfica. Sua assembléia mineral é constituída de microclínio, quartzo e plagioclásio (minerais essenciais); anfibólio e biotita (minerais varietais); opacos, zircão, apatita, turmalina e allanita (minerais acessórios primários). Os minerais secundários são representados por adulária, escapolita e estilpnomelano. Por vezes, observam-se enclaves.

7.6.2 - Suscetibilidade Magnética

Neste trabalho foram integrados os valores de SM obtidos no Granito Planalto nas sub-áreas II (obtidos pela autora) e III (Oliveira, 2003), os quais mostram uma boa correlação (Fig. 40).

O GP apresenta valores de suscetibilidade magnética (SM) concentrados no intervalo $1,7341 \times 10^{-3}$ Slv (valor mínimo) a $4,4983 \times 10^{-2}$ Slv (valor máximo), com valor médio de $6,4540 \times 10^{-3}$ Slv (Tab. 17). Vale a pena ressaltar que 48% das amostras estudadas apresentaram valores de SM $< 10^{-3}$ (Tab. 17), sendo que destas amostras, 3 foram selecionadas para comparações entre sensores (Capítulo 6). Os valores obtidos com a bobina plana nestas amostras variam entre $9,332 \times 10^{-4}$ Slv e $5,952 \times 10^{-4}$ Slv e não serão discutidos no presente trabalho tendo em vista a pouca confiabilidade das medidas com bobina plana para valores abaixo de 1×10^{-3} (Capítulo 6). Em função disso, foram tomados como representativos para as amostras com baixa SM deste grupo de rochas, os valores obtidos com a bobina cilíndrica. Estes se encontram no intervalo de $1,975 \times 10^{-4}$ a $1,045 \text{ Slv} \times 10^{-5}$ Slv. O sumário estatístico dos dados de SM é apresentado na tabela 18 e a variação dos dados de SM na tabela 19. Ao analisar os dados de SM a partir de histograma e polígono de freqüência (Fig. 40a), observa-se um

caráter bimodal e uma ampla distribuição dos valores de SM, situando-se sua maior concentração no intervalo log -2,760 a -2,631.

Considerando o grande número de amostras com $SM < 1 \times 10^{-3}$ Slv, o conjunto estudado mostra um comportamento muito heterogêneo em termos de SM, pois as medidas com bobina cilíndrica, ainda que limitados, sugerem a existência de pelo menos outra população com SM muito baixa, da ordem de log -4,8 a -5,0. As possíveis causas dessas variações precisam ser melhor investigadas. Elas podem traduzir efeitos de processos hidrotermais ou deformacionais (gerações de rochas miloníticas com destruição de magnetita ?) ou, alternativamente, uma origem distinta para os granitos ora enquadrados na Suíte Planalto.

Os dados de SM para amostras com $SM > 1 \times 10^{-3}$ Slv, quando plotados no gráfico de probabilidade (Fig. 40b), revelam uma possível subdivisão através de seus segmentos de reta em três populações. Além disso, há uma amostra isolada, com SM máxima. A população C, mais magnética, é composta por amostras com SM no intervalo log -2,003 a -1,779; a população B situa-se no intervalo log -2,558 a -2,278; e a população A, menos magnética, contém 50% das amostras com alta SM estudadas, que situam-se nos intervalos log -2,760 a -2,631.

Tabela 17: Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Granito Planalto (continua).

População	Amostras	SM ₁ Slv	LOG SM ₁	SM ₂ Slv	LOG SM ₂
	AMR-208A	$4,49830 \times 10^{-2}$	-1,34695		
C	AER-72 A*	$1,69950 \times 10^{-2}$	-1,76967		
	AER-85 A*	$1,34320 \times 10^{-2}$	-1,87186		
	AMR-155A**	$1,25520 \times 10^{-2}$	-1,90125		
	AER-177*	$1,03170 \times 10^{-2}$	-1,98644		
	AMR-155B**	$9,91950 \times 10^{-3}$	-2,00351		
B	AER-82A**	$5,31010 \times 10^{-3}$	-2,27489		
	AMR-134A**	$5,23990 \times 10^{-3}$	-2,28067		
	AMR-142A**	$3,89360 \times 10^{-3}$	-2,40963		
	AER-175	$3,27640 \times 10^{-3}$	-2,48460		
	AER-87 B	$2,77420 \times 10^{-3}$	-2,55686		
	AMR-141B	$2,76430 \times 10^{-3}$	-2,55840		
	AC-16**	$2,33860 \times 10^{-3}$	-2,63102		
	AMR-181 A*	$2,25110 \times 10^{-3}$	-2,64760		
	AMR-151B**	$2,21680 \times 10^{-3}$	-2,65427		

População	Amostras	SM ₁ Siv	LOG SM ₁	SM ₂ Siv	(conclusão) LOG SM ₂
A	AMR-117J	2,16540 x 10 ⁻³	-2,66446		
	AMR-140***	2,20090 x 10 ⁻³	-2,66738		
	AC-4B***	1,19380 x 10 ⁻³	-2,71260		
	AMR-87 A	1,93610 x 10 ⁻³	-2,71307		
	AMR-152***	1,90670 x 10 ⁻³	-2,71971		
	AMR-96	1,87450 x 10 ⁻³	-2,72711		
	AMR-135	1,84450 x 10 ⁻³	-2,73412		
	AMR-117 K	1,77800 x 10 ⁻³	-2,75006		
	AC-2A***	1,73410 x 10 ⁻³	-2,76090		
	AMR-179	9,33280 x 10 ⁻⁴	-3,02999		
	AMR-184	8,84290 x 10 ⁻⁴	-3,05340		
	ARM-134A	8,52120 x 10 ⁻⁴	-3,06950		
	AMR-118 A	7,76650 x 10 ⁻⁴	-3,10977		
	AMR-139	7,71130 x 10 ⁻⁴	-3,11287		
	AMR-138***	7,58410 x 10 ⁻⁴	-3,12010		
	AMR-37B***	7,48700 x 10 ⁻⁴	-3,12569		
	AER-81***	7,33350 x 10 ⁻⁴	-3,13469		
	AMR-118H	7,23700 x 10 ⁻⁴	-3,14044		
	AMR-146***	7,19130 x 10 ⁻⁴	-3,14319		
	AMR-45A***	7,01020 x 10 ⁻⁴	-3,15427		
	AC-17***	6,92280 x 10 ⁻⁴	-3,15972		
	AMR-171*	6,89480 x 10 ⁻⁴	-3,16148		
	AMR-188	6,88820 x 10 ⁻⁴	-3,16189	1,9755 x 10 ⁻⁴	-3,70432
	AMR-185	6,86330 x 10 ⁻⁴	-3,16347		
	AC-6A***	6,66050 x 10 ⁻⁴	-3,17649		
	AMR-51A***	6,37600 x 10 ⁻⁴	-3,19545		
	AMR-148***	6,37350 x 10 ⁻⁴	-3,19562		
	AMR-181 B	6,35870 x 10 ⁻⁴	-3,19663	1,0456 x 10 ⁻⁵	-4,98063
	AMR-149***	6,35040 x 10 ⁻⁴	-3,19720		
	AMR-94A	6,24950 x 10 ⁻⁴	-3,20415		
	AMR-187	5,95290 x 10 ⁻⁴	-3,22527	1,2726 x 10 ⁻⁵	-4,89530

* Amostras com seções polidas; Em vermelho, amostras com baixos valores de SM não consideradas no tratamento dos dados; SM₁ Medidas obtidas com a bobina plana** e SM₂ Medidas obtidas com bobina cilíndrica.

** SM₁ Medidas com bobina plana x 1,7 (fator de correção) p/ amostras com SM > 1x10⁻³Siv e s/ correção p/ amostras com SM < 1x10⁻³Siv.

*** Amostras de Oliveira (2003).

Tabela 18: Parâmetros estatísticos dos dados de SM do Granito Planalto*.

Parâmetros estatísticos	SM (Slv)
(Número de amostras = 24)	
Média	$6,4540 \times 10^{-3}$
Mediana	$2,5514 \times 10^{-3}$
Média Geométrica	$3,8210 \times 10^{-3}$
Variância	$8,6919 \times 10^{-5}$
Desvio Padrão	$9,3230 \times 10^{-3}$
Valor mínimo	$1,7341 \times 10^{-3}$
Valor máximo	$4,4983 \times 10^{-2}$

*Não foram incluídas as amostras com $SM < 1 \times 10^{-3}$

Tabela 19- Percentis dos dados de SM do Granito Planalto*.

Percentagens	Percentis (Slv)
90	$1,34320 \times 10^{-2}$
80	$1,25520 \times 10^{-2}$
70	$5,23990 \times 10^{-3}$
60	$3,27640 \times 10^{-3}$
50	$2,33860 \times 10^{-3}$
40	$2,21680 \times 10^{-3}$
30	$2,20090 \times 10^{-3}$
20	$1,90670 \times 10^{-3}$
10	$1,84450 \times 10^{-3}$

*Não foram incluídas as amostras com $SM < 1 \times 10^{-3}$

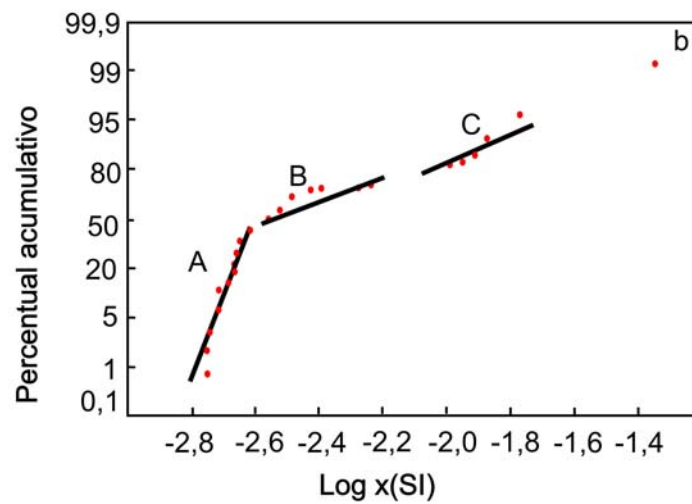
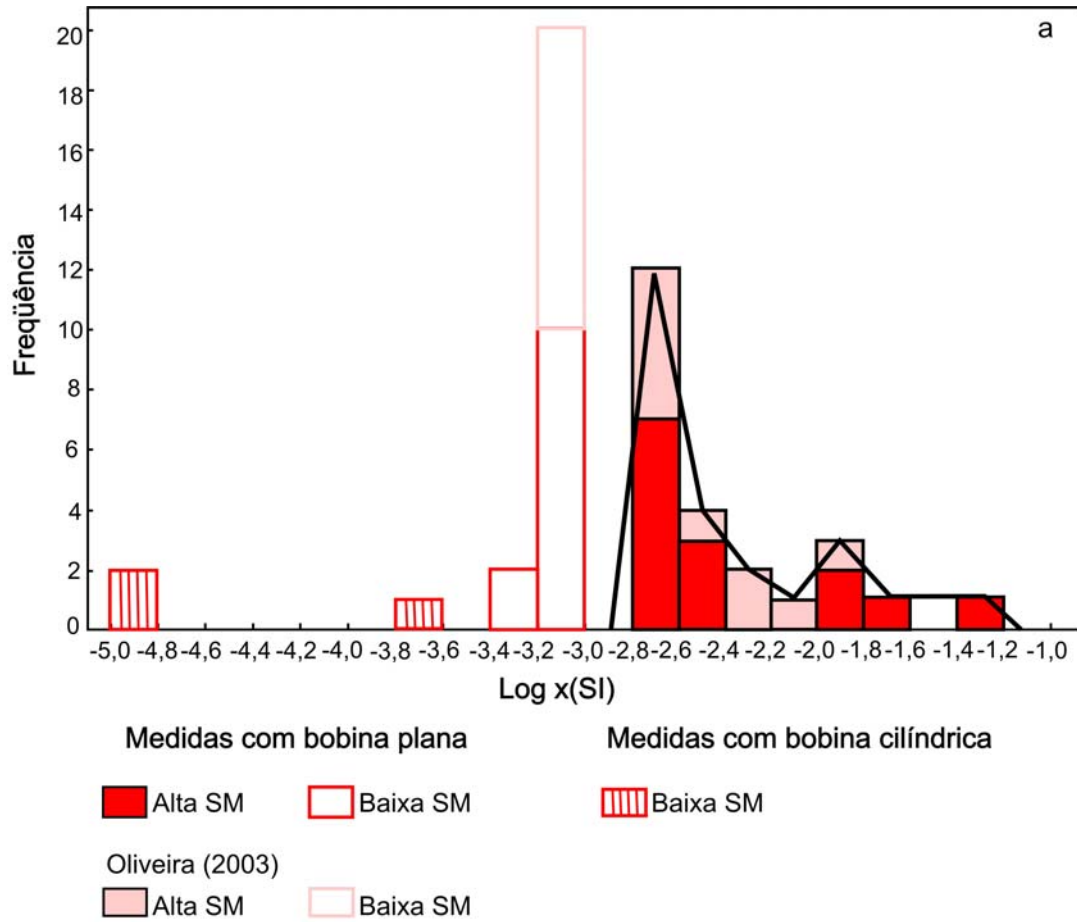


Figura 40: a) Histograma e Polígono de frequência e b) Gráfico de probabilidade, referentes aos dados de suscetibilidade magnética do Granito Planalto.

7.6.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti

A caracterização dos minerais óxidos de Fe e Ti presentes neste grupo de rochas e a discussão dos processos que os afetaram ficou prejudicada pelo fato de se dispor apenas de lâminas polidas das amostras com $SM > 1 \times 10^{-3}$ Slv (Tab. 17). Portanto, a descrição feita a seguir refere-se apenas a amostras com $SM > 1 \times 10^{-3}$, devendo ser feito no futuro o estudo das rochas com baixa SM.

Os minerais opacos identificados no Granito Planalto são basicamente os óxidos magnetita, ilmenita e hematita, que se encontram geralmente associados a titanita, plagioclásio, quartzo, anfibólio (Fe-hastingsita), biotita, feldspato potássico e allanita (Figs. 41 - 44).

A magnetita apresenta-se na forma de cristais subédricos, fracamente martitizados, por vezes, com aspecto corroído e bordas irregulares, quando em contato com titanita (Fig. 41) e epidoto (Fig. 42). Ocorre geralmente associada a ilmenita.

A ilmenita ocorre fracamente alterada para rutilo e hematita (Figs. 44 e 45), associada a anfibólio e feldspatos, com cristais de zircão inclusos. Os tipos texturais encontrados são ilmenita composta externa (Figs. 42 e 43) e individual (Fig. 46).

A hematita ocorre principalmente como produto de alteração da magnetita, correspondendo à variedade martita, e associada a ilmenita (Figs. 44 e 45), sendo neste último caso relativamente enriquecida em titânio.

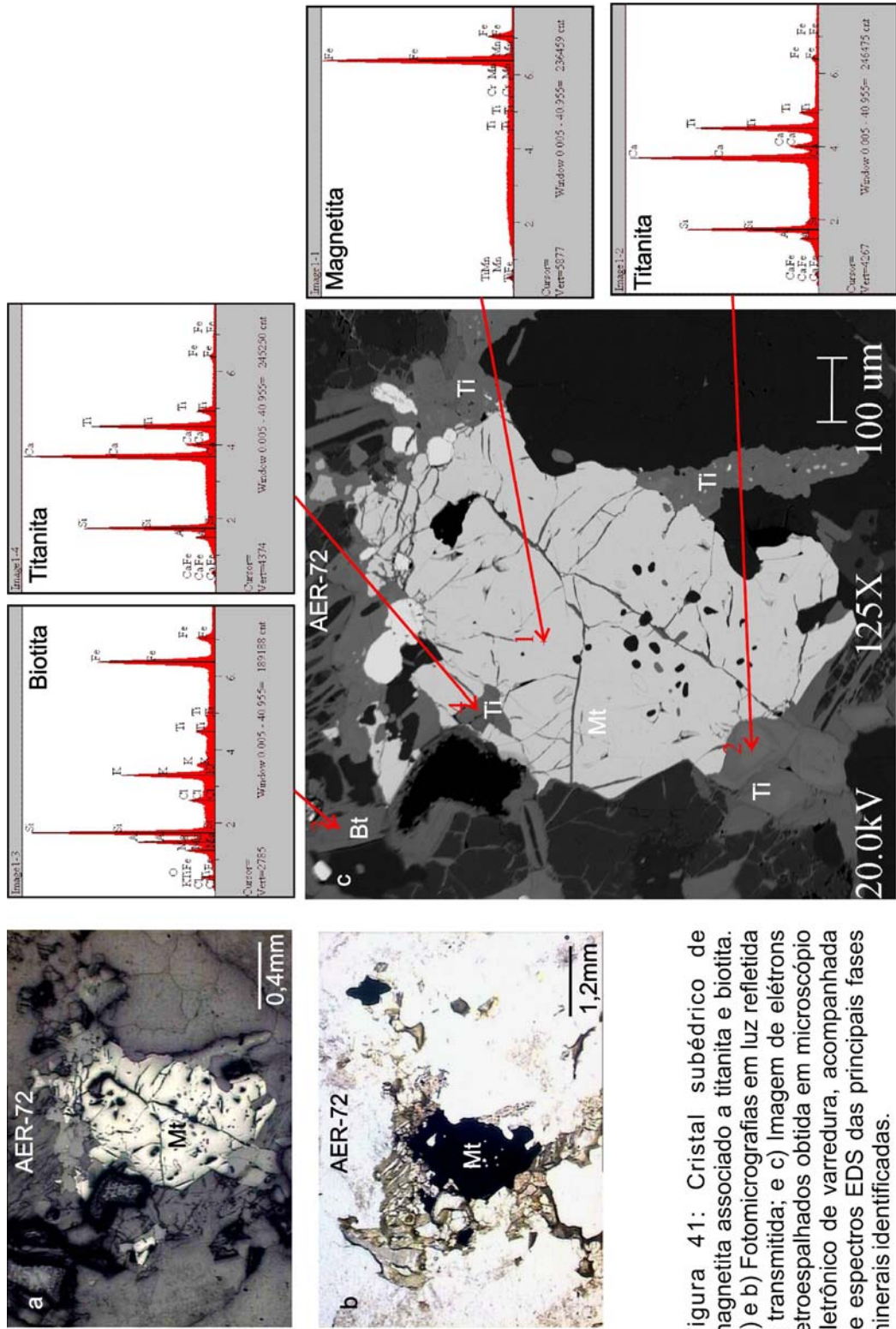


Figura 41: Cristal subédrico de magnetita associado a titanita e biotita. a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida; e c) Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases mineralis identificadas.

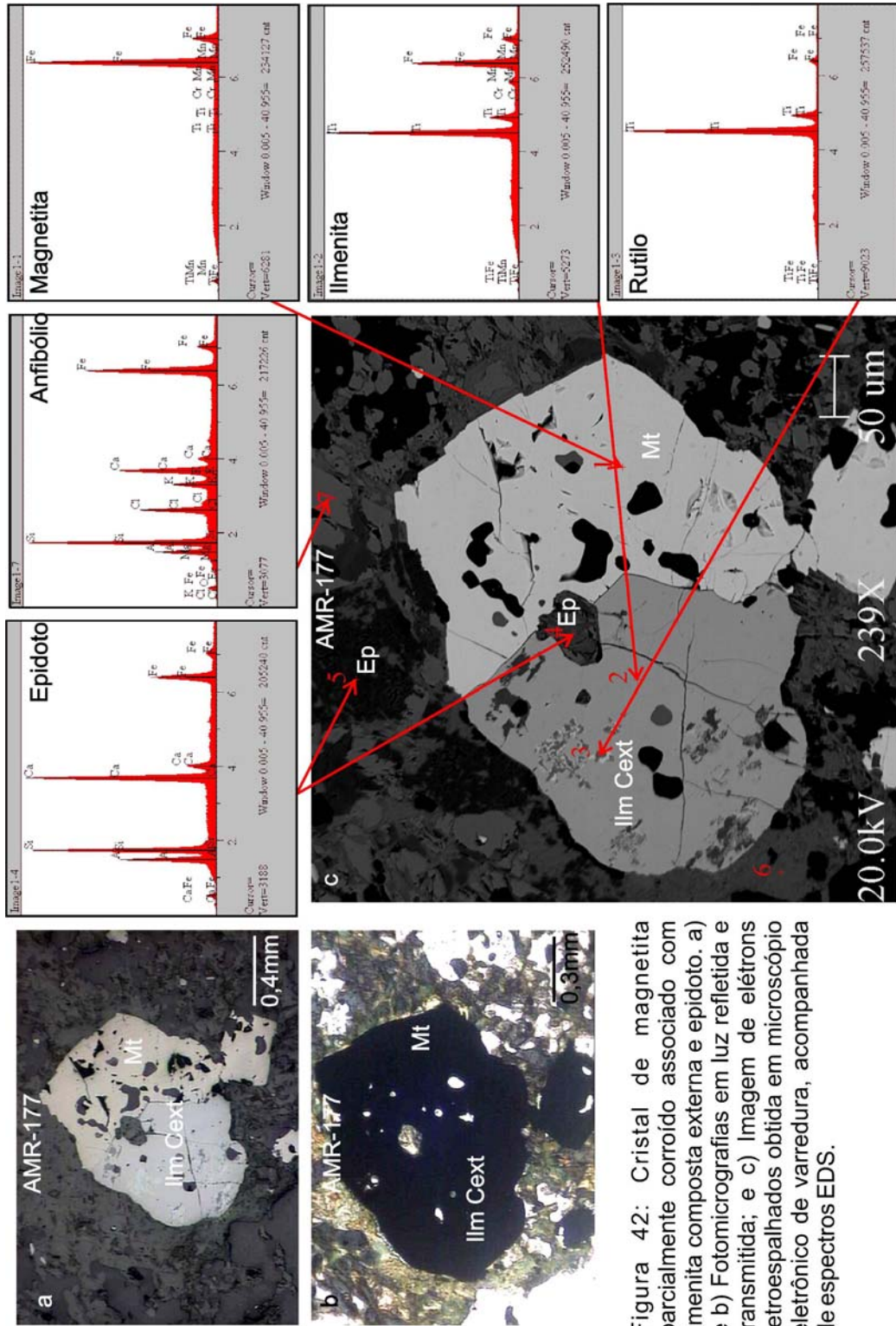


Figura 42: Cristal de magnetita parcialmente corroído associado com ilmenita composta externa e epidoto. a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida; e c) Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

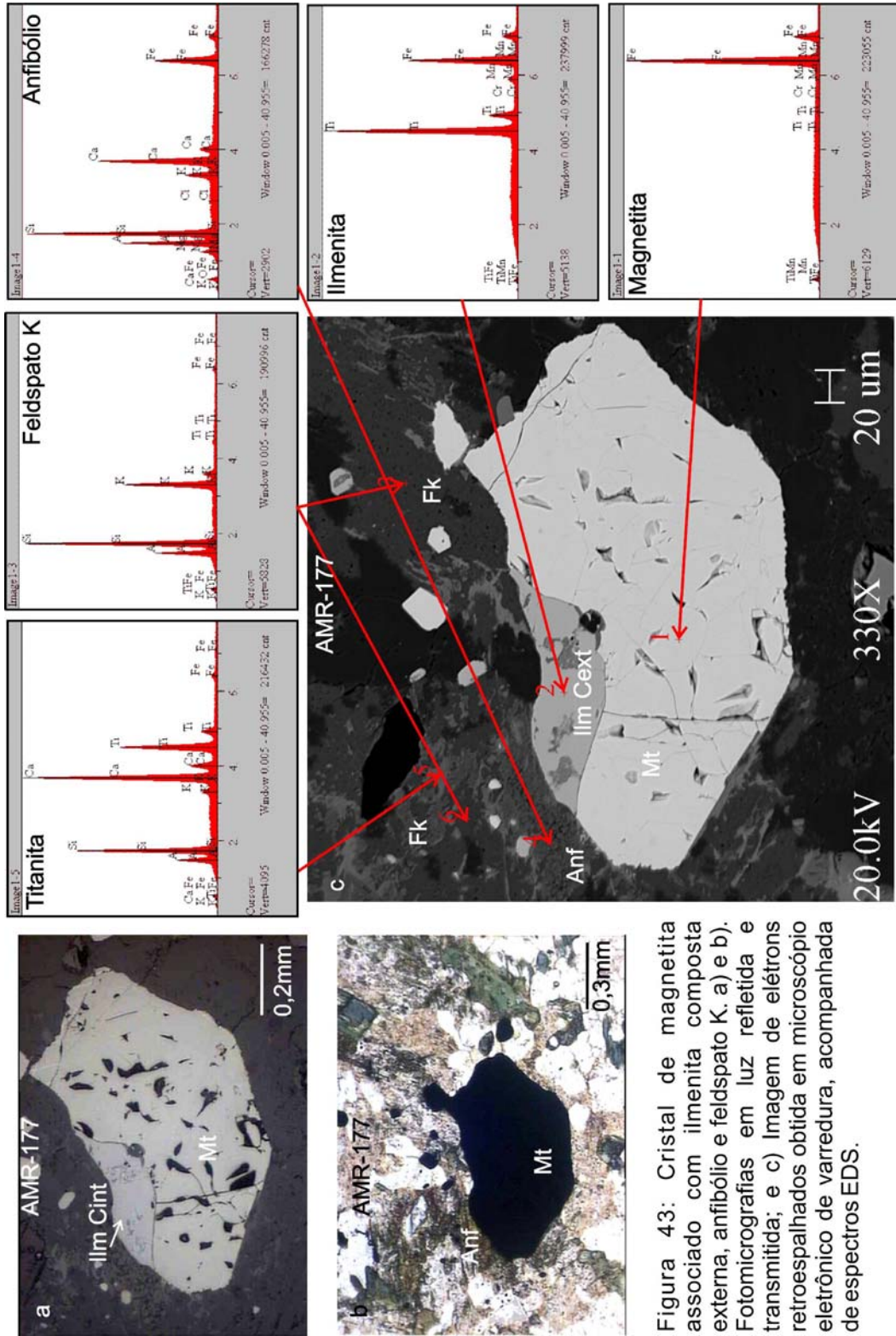


Figura 43: Cristal de magnetita associado com ilmenita composta externa, anfólio e feldspato K. a) e b). Fotomicrografias em luz refletida e transmitida; e c) Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

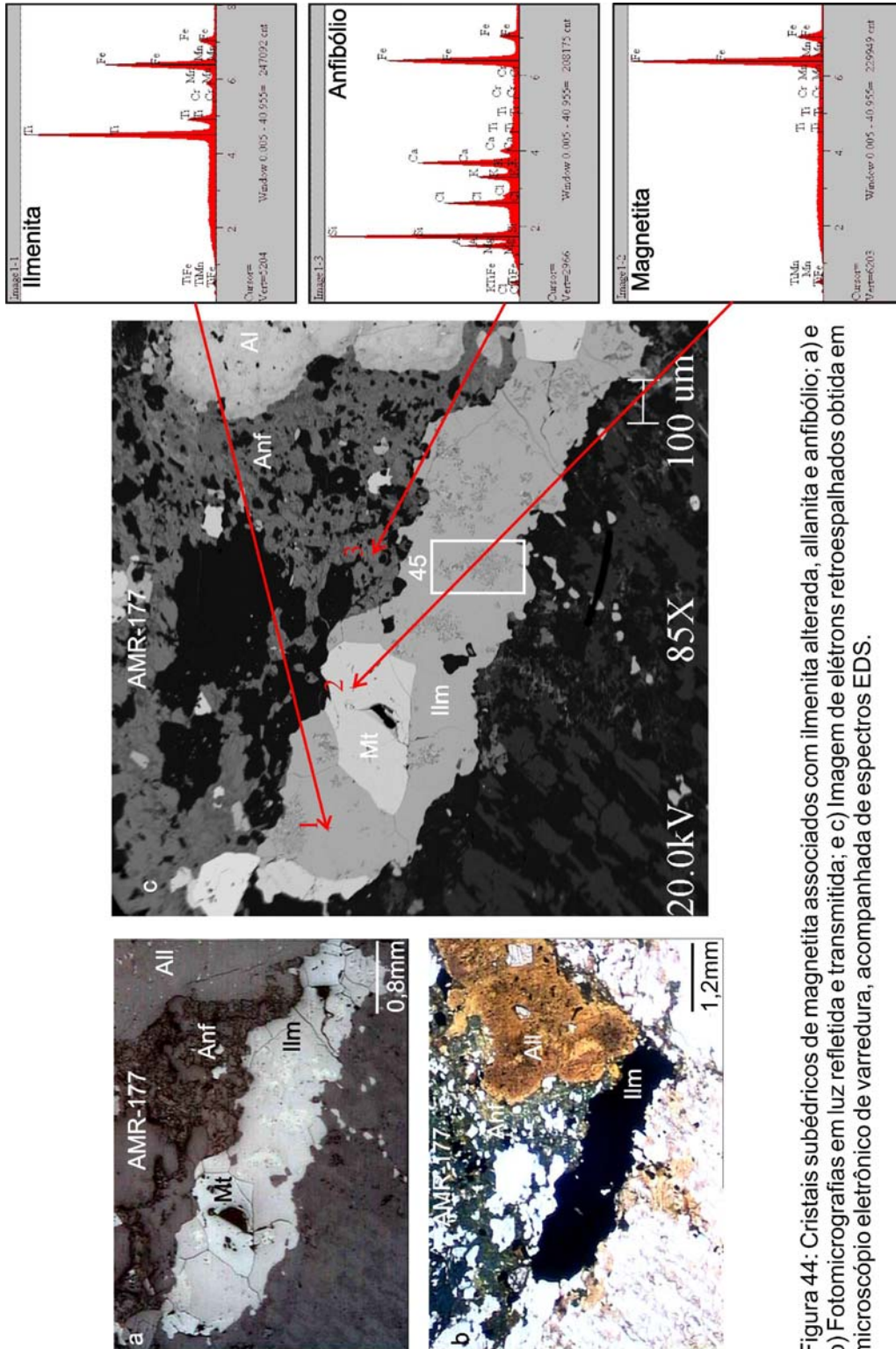


Figura 44: Cristais subédricos de magnetita associados com ilmenita alterada, allanite e anfóbio; a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida; e c) Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

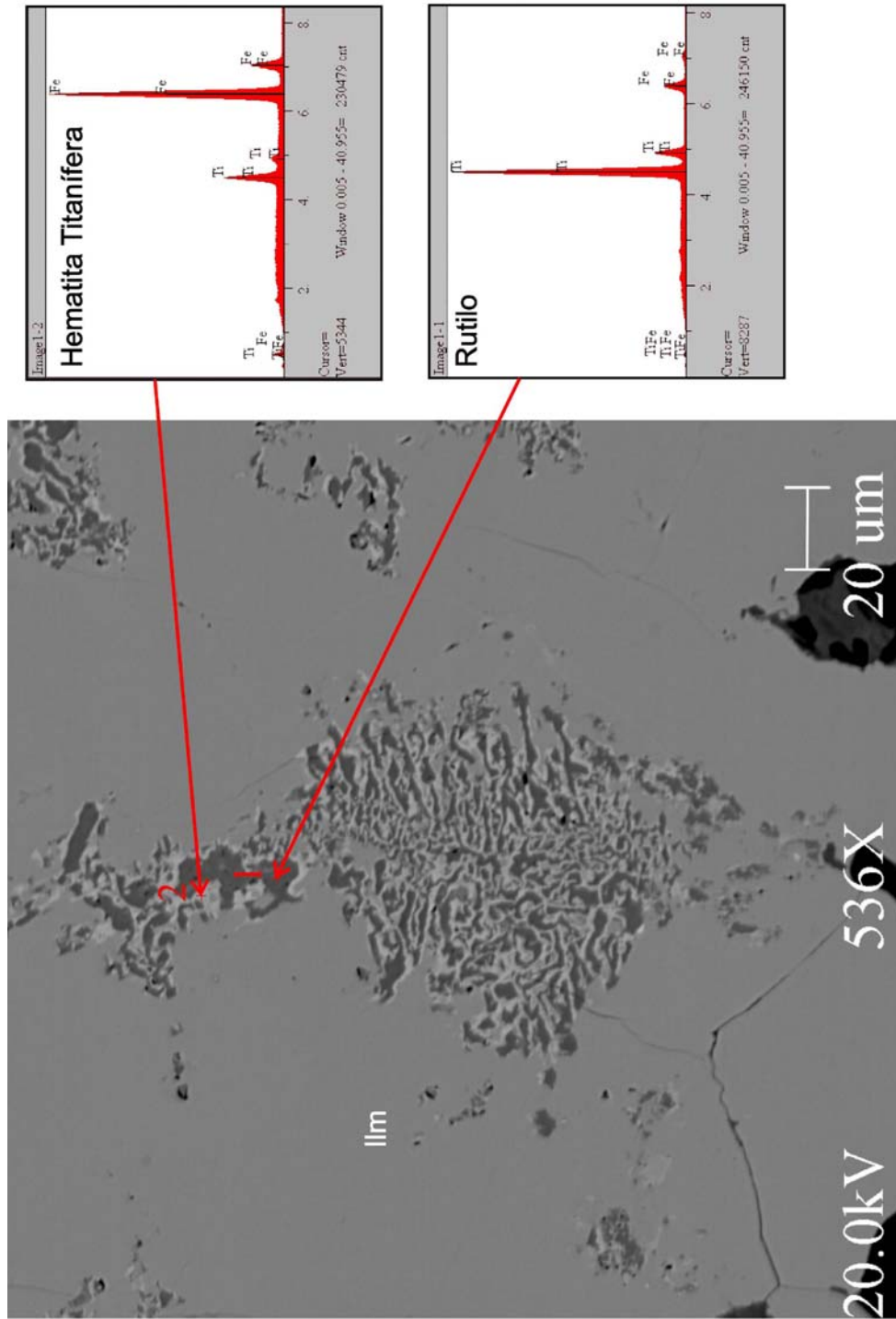


Figura 45: Detalhe da figura 44c mostrando a alteração incipiente da ilmenita para rutilo e hematita titanífera. Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

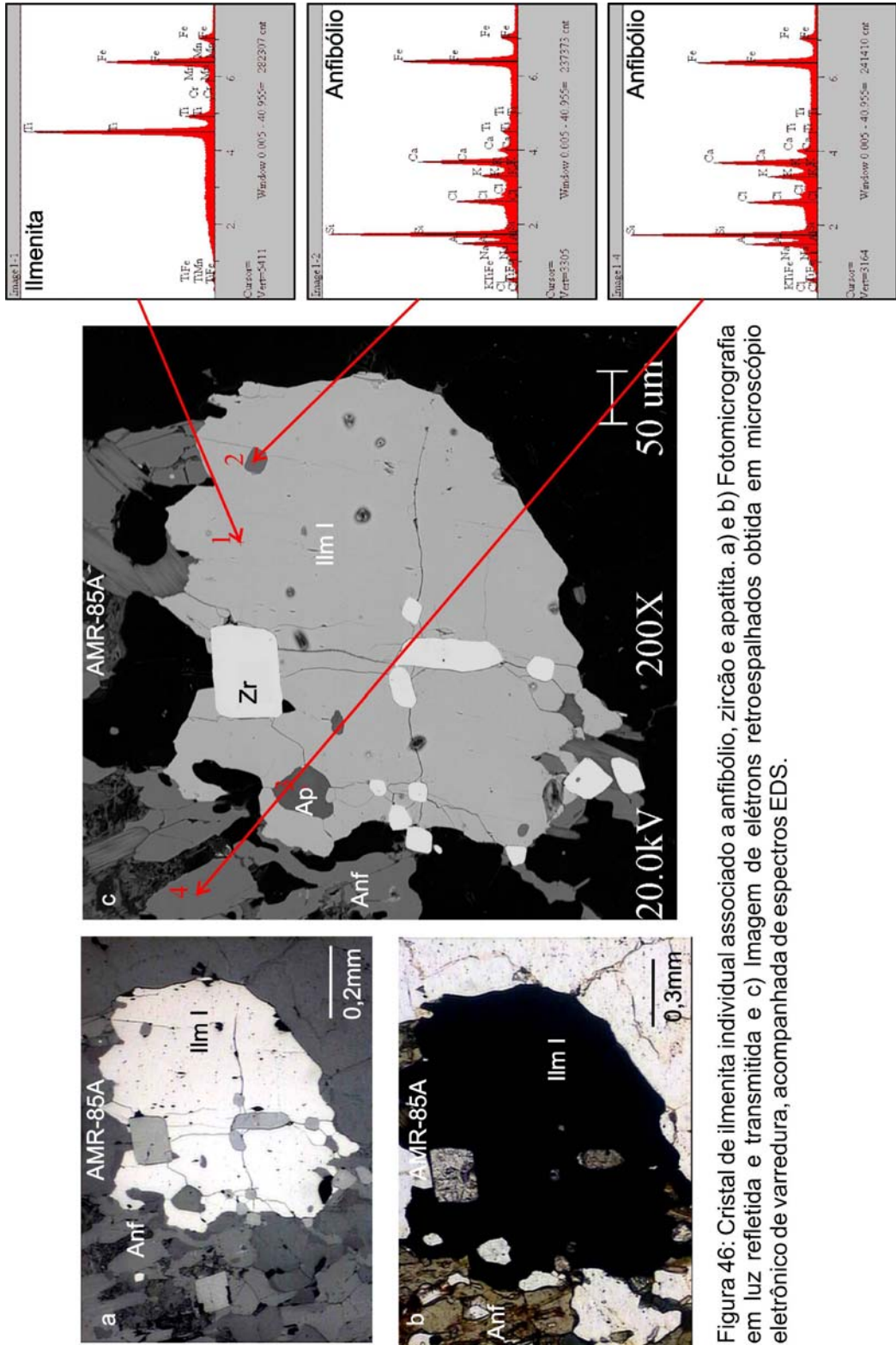


Figura 46: Cristal de ilmenita individual associado a anfibólio, zircão e apatita. a) e b) Fotomicrografia em luz refletida e transmitida e c) Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

7.7 - ASSOCIAÇÃO TONALÍTICA-TRONDHJEMÍTICA (ATTR)

7.7.1 - Aspectos Petrográficos

A ATTR é formada na sua principal área de ocorrência, no corpo sul da sub-área II (Fig. 5), por rochas fortemente deformadas, com um bandamento magmático marcante, observando-se, na escala de afloramento, alternância de níveis tonalíticos e trondhjemiticos. Estas rochas apresentam uma foliação marcante e penetrativa de direção próxima de E-W e mergulho subvertical.

Segundo Gomes (2003), os tonalitos são leucocráticos, com coloração variando de cinza a cinza claro. Predominam porções equigranulares de granulação média. Estas rochas apresentam duas variedades petrográficas: biotita-hornblenda-tonalito e hornblenda-tonalito, ambos relativamente enriquecidos em titanita. Os minerais essenciais são plagioclásio e quartzo e os varietais são hornblenda e biotita, enquanto que os acessórios primários são titanita, zircão e turmalina. Os principais produtos de alteração são epidoto e sericita.

Os trondhjemitos apresentam coloração esbranquiçada e são, predominantemente, equigranulares de granulação grossa. Há três variações petrográficas: trondhjemitico, biotita-trondhjemitico e biotita-hornblenda-trondhjemitico, todos relativamente ricos em titanita. Plagioclásio e quartzo (minerais essenciais); biotita e hornblenda (minerais varietais); titanita, zircão, opacos, apatita e turmalina (minerais acessórios primários), formam a paragênese destas rochas. Os minerais secundários são representados por escapolita, epidoto e sericita.

7.7.2 - Suscetibilidade Magnética

A ATTR exibe valores de suscetibilidade magnética predominantemente baixos, sendo que das quinze amostras medidas, apenas três apresentaram valores de SM maiores que 1×10^{-3} e somente uma valor nitidamente superior (Tab. 20; Fig. 47). Conforme discutido no capítulo 6, comprovou-se nos testes metodológicos efetuados a não confiabilidade das medidas em amostras de baixa SM em bobina plana, sendo tais medidas não consideradas no tratamento de dados, embora constem na tabela 20 para registro. O tamanho das amostras deste grupo não possibilitou a obtenção de testemunhos, os quais serviriam para obtenção de medidas através da bobina cilíndrica,

com a finalidade de comparação dos valores fornecidos com as duas bobinas. A única exceção foi a amostra AER-72B, na qual foi realizado este procedimento e para a qual se obteve o valor de $5,114 \times 10^{-5}$ (Tab. 20; Fig. 47), considerado representativo para as amostras com baixos valores de SM deste grupo litológico. Fica evidente que esta unidade difere em termos de comportamento magnético do Tonalito, Biotita-granito, Granito foliado, Gabro e Granito Planalto, apresentando maiores analogias com o Trondhjemito, que, assim como a ATTr, caracteriza-se pela dominância de amostras com baixa SM e pela ausência de magnetita na maioria das amostras estudadas, sugerindo formação em condições relativamente mais redutoras.

Tabela 20: Dados de suscetibilidade magnética (SM) da ATTr

Amostras	SM ₁ Slv	LOG SM ₁	SM ₂ Slv	LOG SM ₂
AMR-122 A*	$4,25370 \times 10^{-2}$	-1,37123		
AMR-122 B	$2,07110 \times 10^{-3}$	-2,68379		
AMR-87 C	$1,71150 \times 10^{-3}$	-2,76662		
AMR-122 D	$9,73360 \times 10^{-4}$	-3,01173		
AER-68	$8,64990 \times 10^{-4}$	-3,06298		
AMR-86*	$8,31830 \times 10^{-4}$	-3,07997		
AER-71 C*	$7,78880 \times 10^{-4}$	-3,10853		
AER-71 A	$7,11580 \times 10^{-4}$	-3,14778		
AMR-125	$6,83870 \times 10^{-4}$	-3,16503		
AER-69 B*	$6,46750 \times 10^{-4}$	-3,18926		
AER-71 B	$6,06670 \times 10^{-4}$	-3,21705		
AMR-121	$5,51250 \times 10^{-4}$	-3,25865		
AMR-126 A	$4,90870 \times 10^{-4}$	-3,30903		
AER-72B	$4,86200 \times 10^{-4}$	-3,31318	$5,11470 \times 10^{-5}$	-4,29114
AER-70*	$4,82710 \times 10^{-4}$	-3,31631		

* Amostras com seções polidas; Em vermelho, amostras com baixos valores de SM não consideradas no tratamento dos dados; SM₁ Medidas obtidas com a bobina plana** e SM₂ Medidas obtidas com bobina cilíndrica.

** SM₁ Medidas com bobina plana x 1,7 (fator de correção) p/ amostras com SM > 1×10^{-3} Slv e s/ correção p/ amostras com SM < 1×10^{-3} Slv.

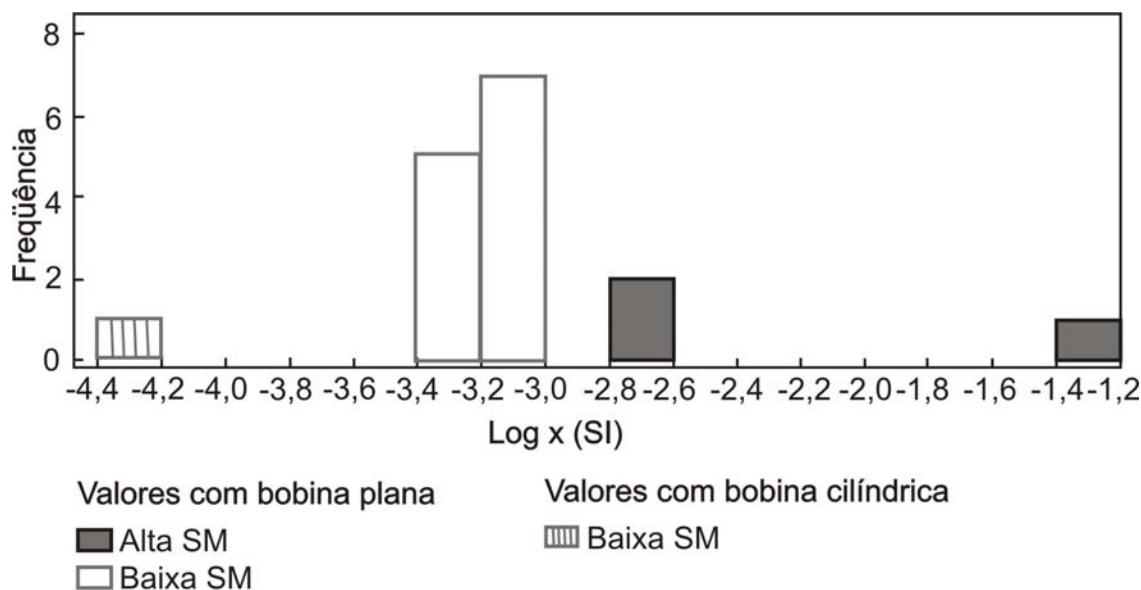


Figura 47: Histograma de frequência da ATTr.

7.7.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti.

Esta rocha, como foi dito anteriormente, apresenta um comportamento magnético semelhante ao do trondhjemito (sub-área I). O mineral óxido de Fe e Ti predominante neste grupo de rocha é a ilmenita, a qual ocorre principalmente na forma de cristais individuais (tipo I), geralmente pouco alterada (Fig. 48). A magnetita costuma ser escassa ou totalmente ausente na ATTr, justificando seus baixos valores de SM. Ela ocorre com frequência, na forma de cristais subédricos moderadamente oxidados (Fig. 48), apenas na amostra de mais alta SM (AMR-122A) que não é representativa e talvez não pertença a ATTr. Secundariamente, tem-se a hematita como produto de alteração das ilmenitas e, raramente, na forma de martita na magnetita. A martitização aumenta paralelamente com o decréscimo da SM.

Na amostra de mais alto valor de SM (AMR-122), foram identificados magnetita, Ilmenita e hematita, os quais ocorrem associados a biotita, quartzo, feldspatos e thorita (Figs. 49, 50 e 51). A magnetita ocorre na forma de cristais subédricos e, por vezes, anédricos, fracamente a moderadamente martitizados. Quando associados a thorita, os cristais de magnetita assumem a forma de coroa ao redor da mesma (Fig. 50). A ilmenita ocorre somente sob a forma de manchas, na magnetita, parcialmente alterada para titanita (Figs. 51 e 52).

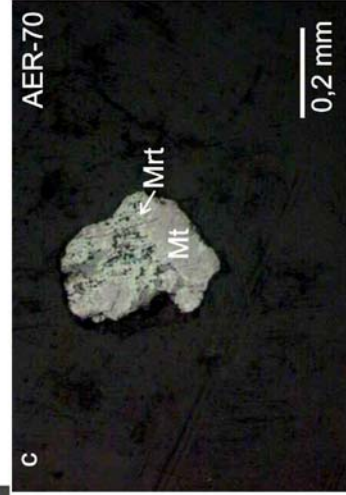
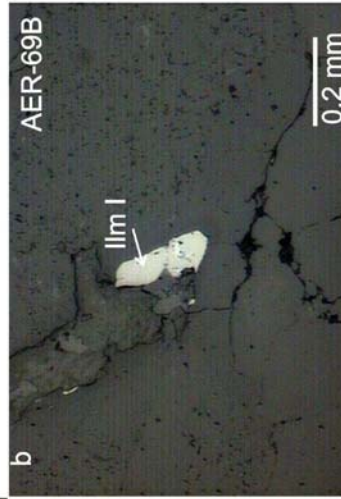
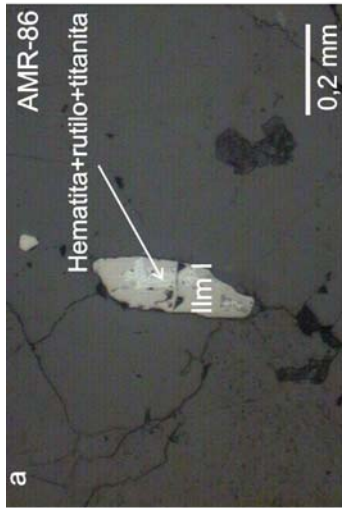


Figura 48: a) e b) Cristais de Ilmenita individual, fracamente alterados para hematita, rutilo e titanita e c) Cristal de magnetita intensamente martitizado. Fotomicrografias em luz refletida.

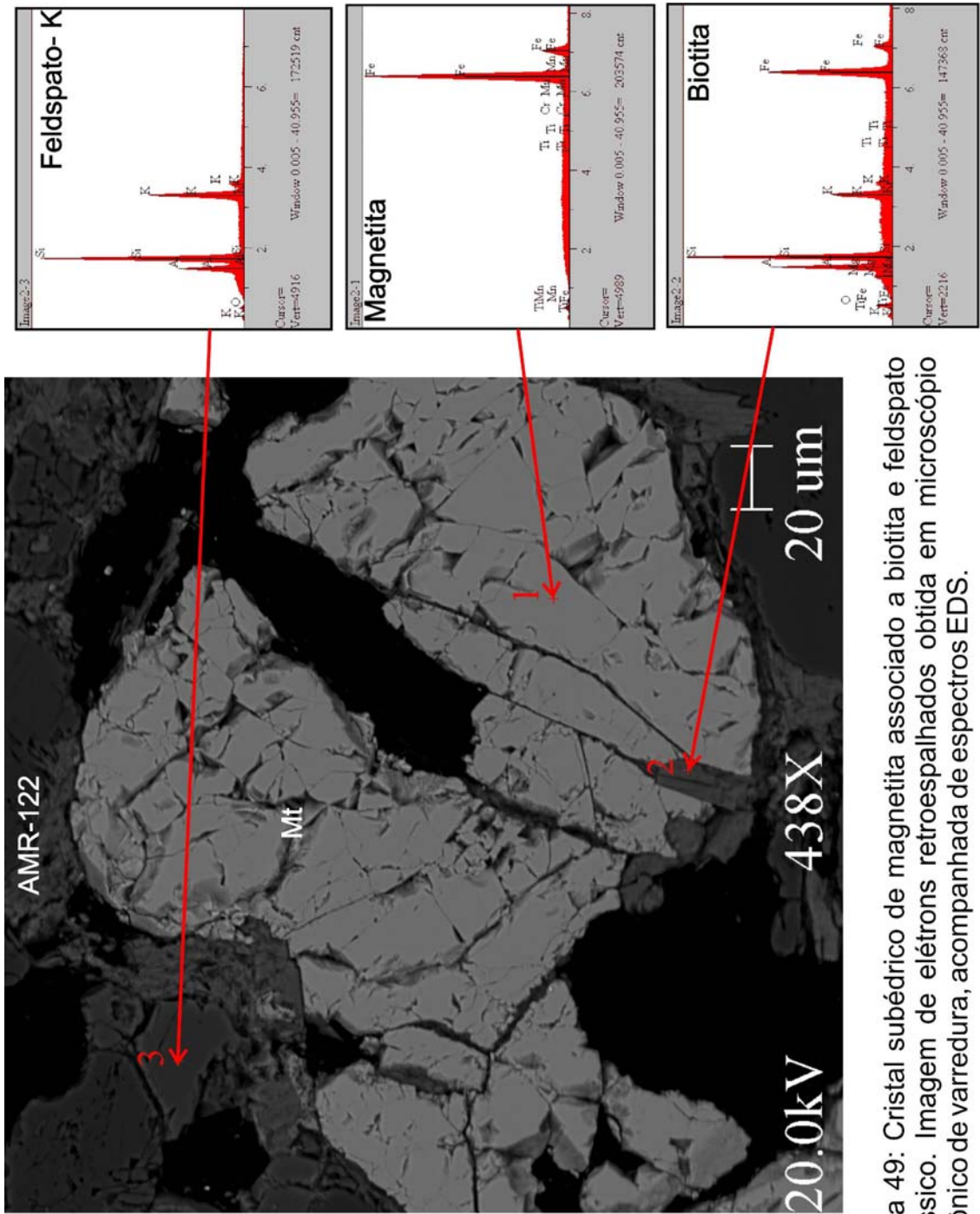


Figura 49: Cristal subbédrico de magnetita associado a biotita e feldspato potássico. Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

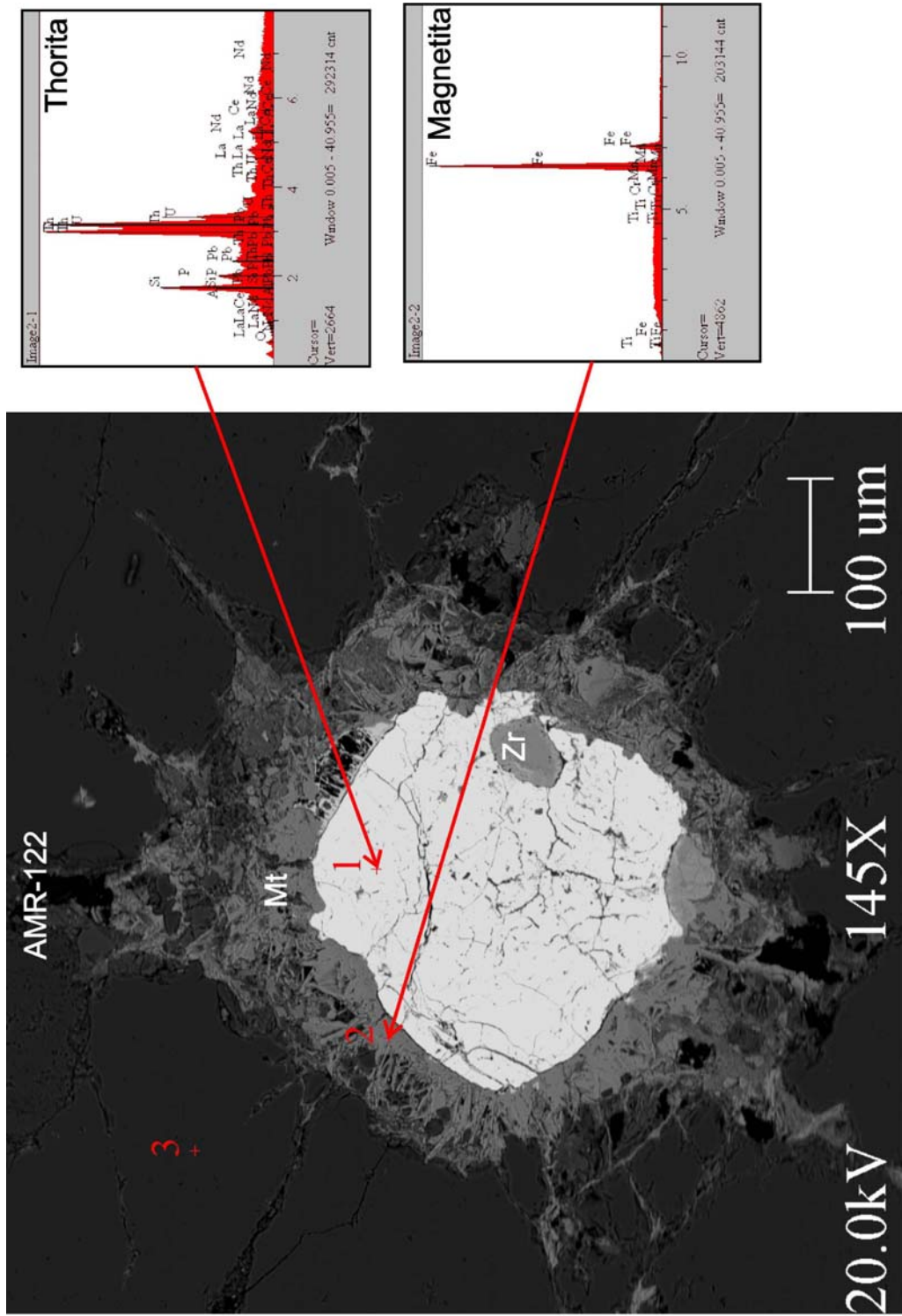


Figura 50: Cristal anédrico de magnetita formando manto envolvendo a thorita. Imagem de elétrons retro-espalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases mineralis.

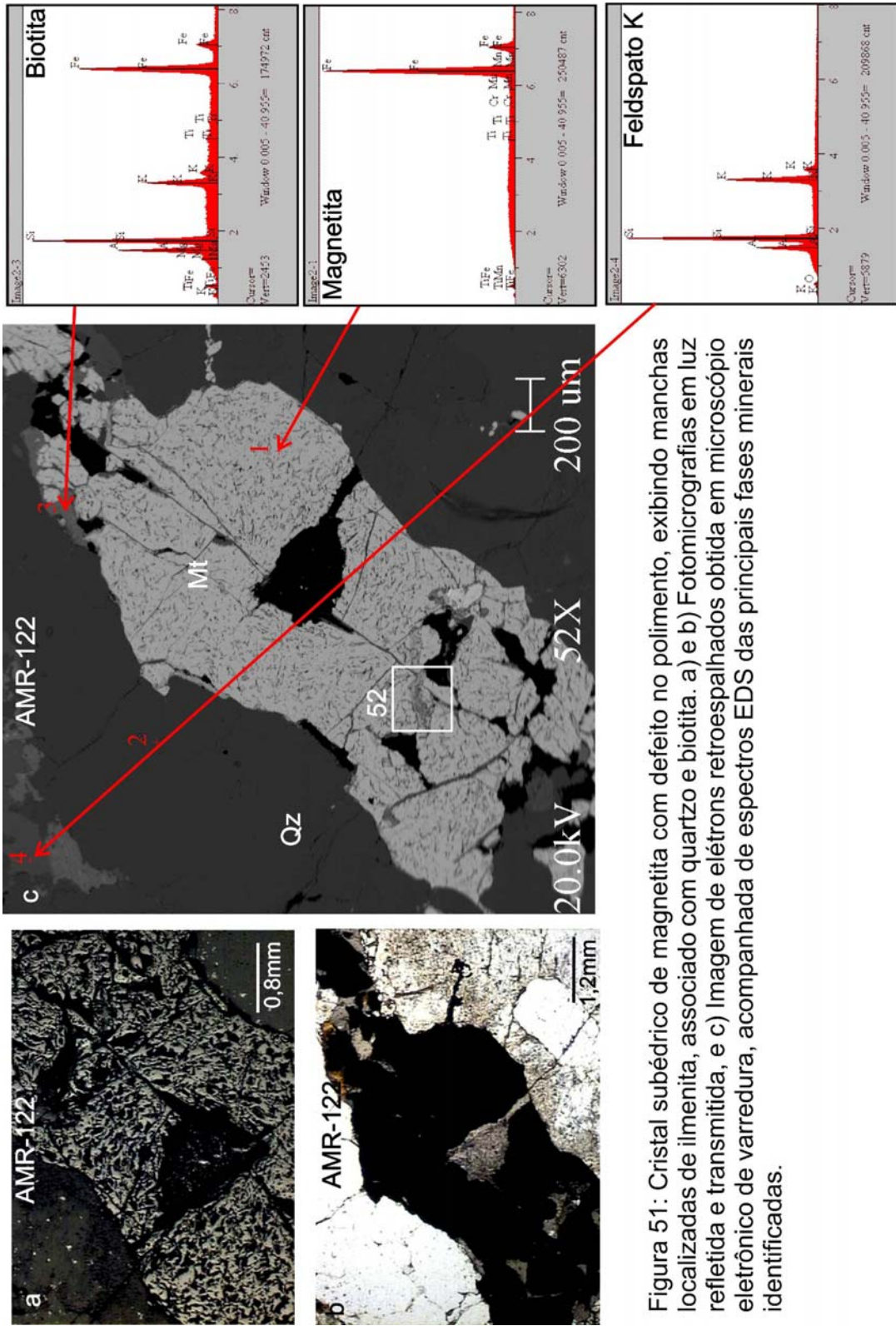


Figura 51: Cristal subédrico de magnetita com defeito no polimento, exibindo manchas localizadas de ilmenita, associado com quartzo e biotita. a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida, e c) Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases minerais identificadas.

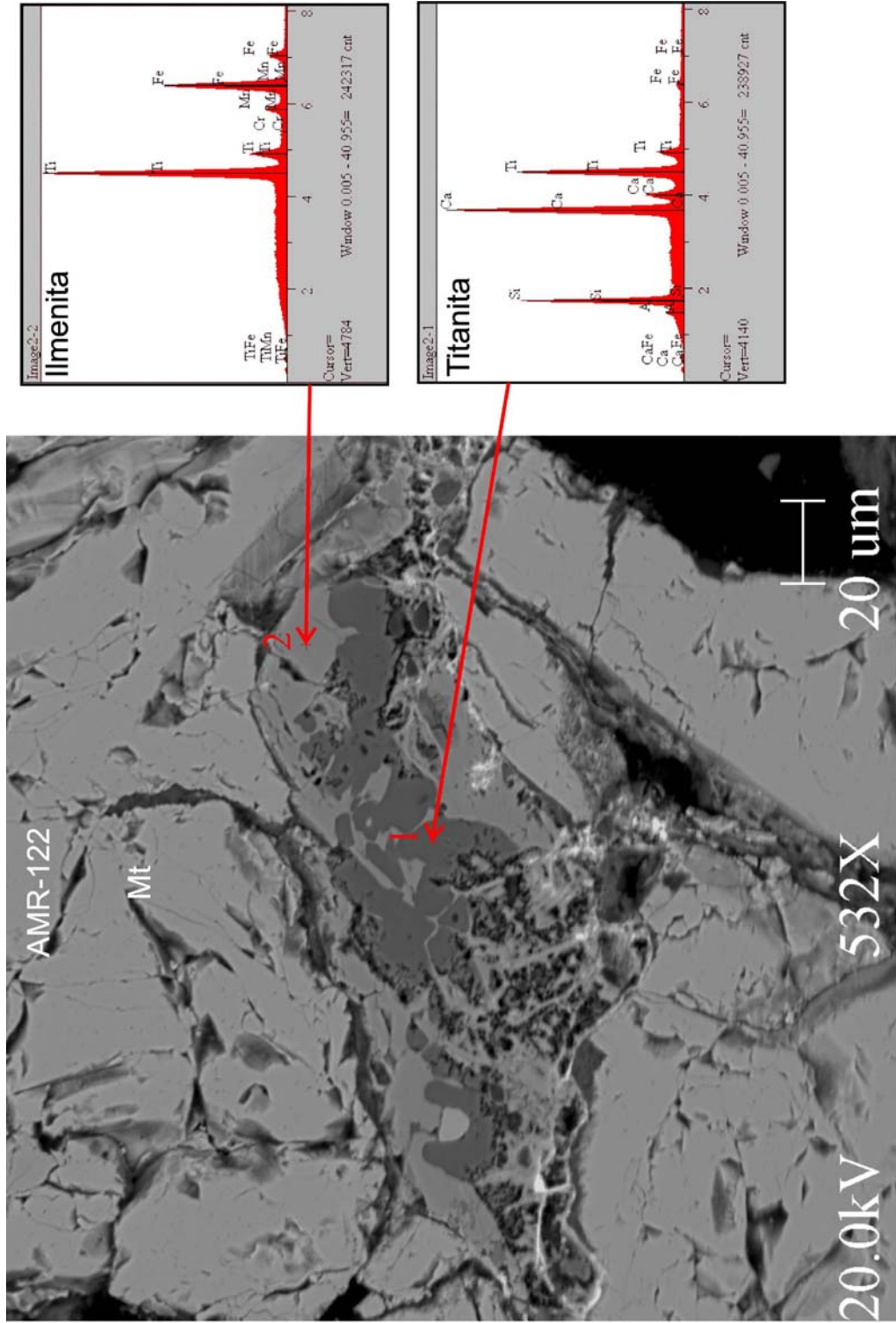


Figura 52: Detalhe da figura 51c, mostrando manchas de ilmenita com alteração para titanita. Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

7.8 - MICROGRANITO / DACITO PÓRFIRO

7.8.1 - Aspectos Petrográficos

São rochas porfíricas a glomero-porfíricas de coloração amarronzada e rosada, granulação fina (matriz) a média (fenocristais). Os fenocristais são de feldspato potássico, plagioclásio e quartzo e a matriz, predominantemente felsítica, é constituída por grãos microcristalinos dos mesmos minerais que constituem os fenocristais, associados aos constituintes máficos.

7.8.2 - Suscetibilidade Magnética

Foram efetuadas medidas em apenas três amostras deste grupo de rocha, as quais apresentam valores de suscetibilidade magnética (SM) variando de $5,2122 \times 10^{-3}$ SIv (valor mínimo) a $1,6699 \times 10^{-2}$ SIv (valor máximo), com média de $9,2853 \times 10^{-3}$ SIv (Tab. 21). Devido ao número de medidas muito reduzido, não cabe nenhum tratamento estatístico dos dados obtidos. Pode-se apenas constatar, através do histograma de frequência (Fig. 53), que as amostras estudadas apresentam valores de SM médios a alto, o que implica quantidades expressivas de magnetita modal.

Tabela 21: Dados de suscetibilidade magnética (SM) do Microgranito/ Dacito Pórfiro

Amostras	SM** (SI)	LOG SM
JES-61*	$1,66990 \times 10^{-2}$	-1,77728
JES-40	$5,94160 \times 10^{-3}$	-2,22609
AAM-213	$5,21220 \times 10^{-3}$	-2,28297

*Amostra com lâmina polida.

** Valores multiplicados pelo fator de correção 1,7.

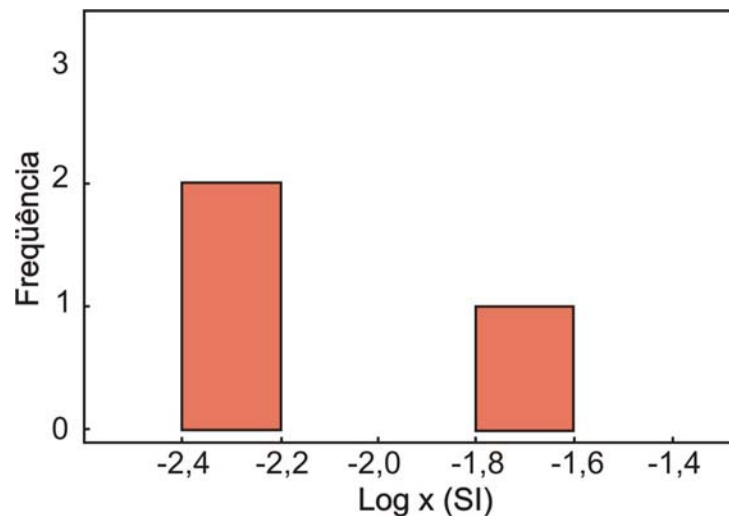


Figura 53: Histograma de frequência referente aos dados de suscetibilidade magnética do Microgranito / Dacito Pórfiro.

7.8.3 - Minerais Óxidos de Fe e Ti

Magnetita, ilmenita e hematita são os óxidos encontrados neste grupo de rocha, além dos sulfetos pirita e calcopirita. Os dois primeiros ocorrem associados a epidoto, allanita, quartzo e feldspatos (Figs. 54, 55 e 56).

A magnetita ocorre geralmente na forma de cristais subédricos a anédricos, com lamelas de exsolução de ilmenita e fracamente martitizados (Figs. 54 e 55).

A ilmenita encontrada é dos tipos treliça (Figs. 54 e 55), composta externa (Fig. 55) e individual (Fig. 56). Este mineral se encontra quase que completamente substituído por rutilo e titanita, associados a allanita e epidoto.

A hematita é encontrada apenas como produto de alteração da magnetita, na forma de martita.

Os cristais de pirita e calcopirita são bastante finos e apresentam-se disseminados na matriz.

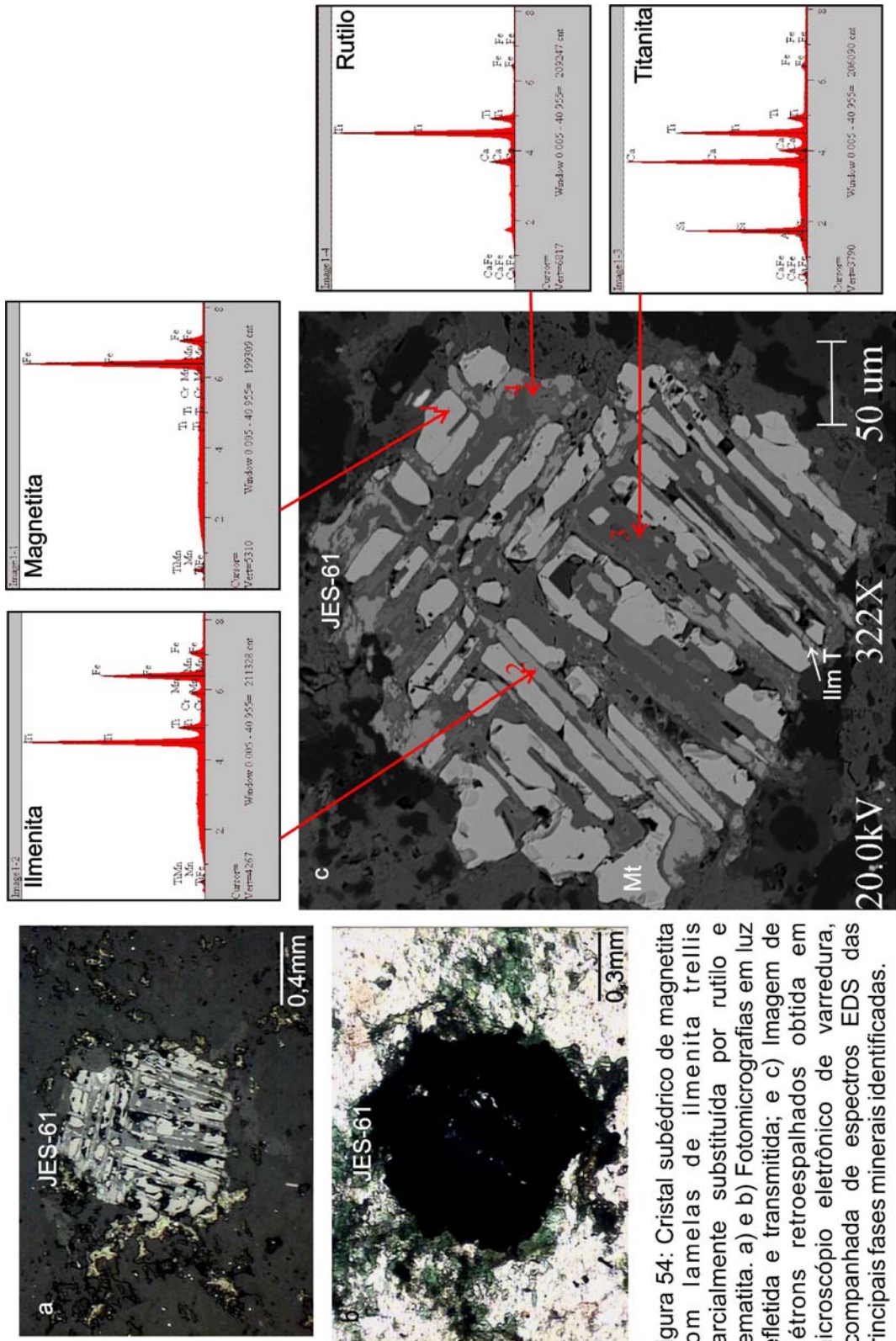


Figura 54: Cristal subédrico de magnetita com lamelas de ilmenita trellis parcialmente substituída por rutilo e hematita. a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida; e c) Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS das principais fases mineralógicas identificadas.

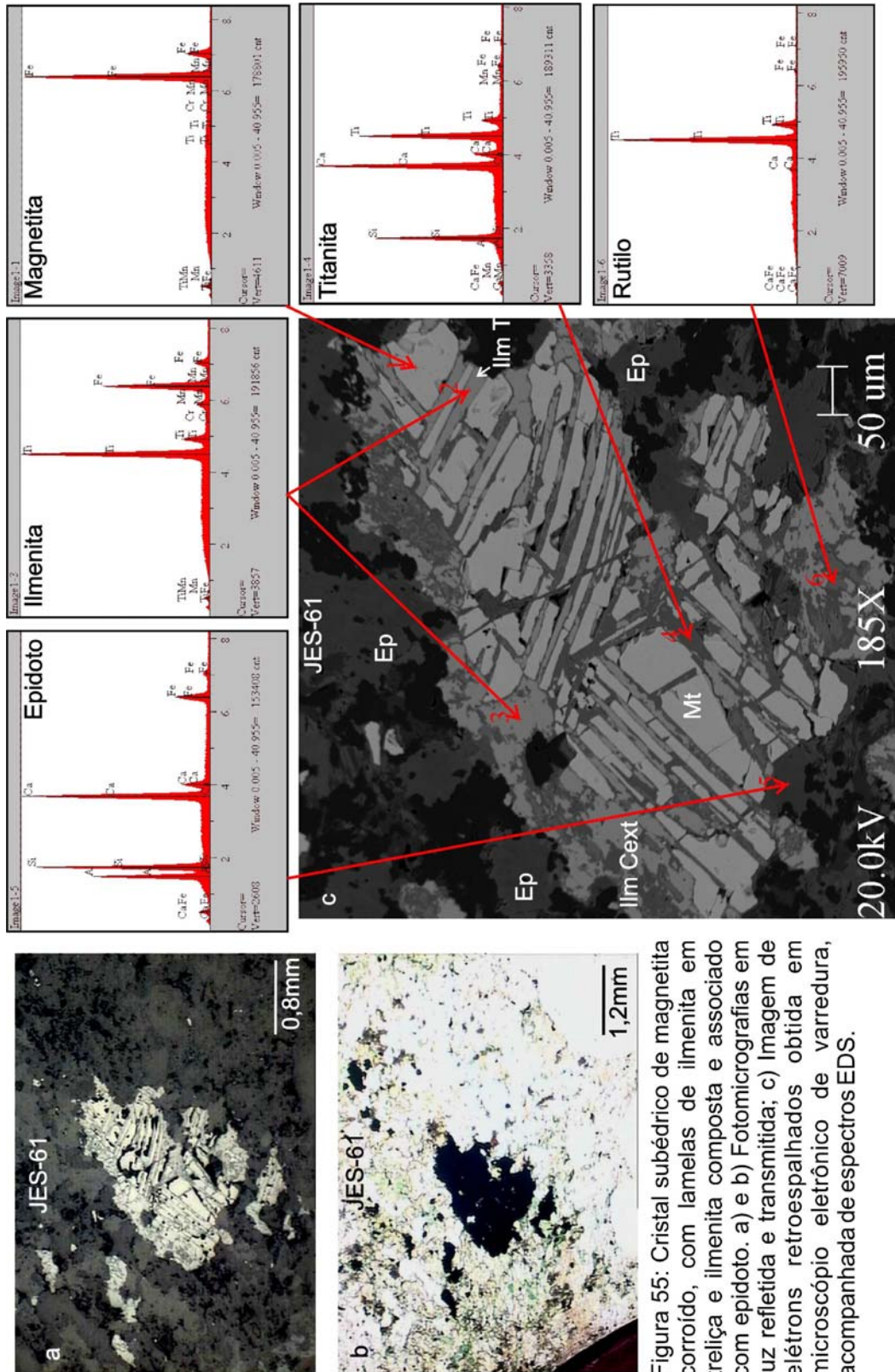


Figura 55: Cristal subédrico de magnetita corroído, com lamelas de ilmenita em treliça e ilmenita composta e associado com epidoto. a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida; c) Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

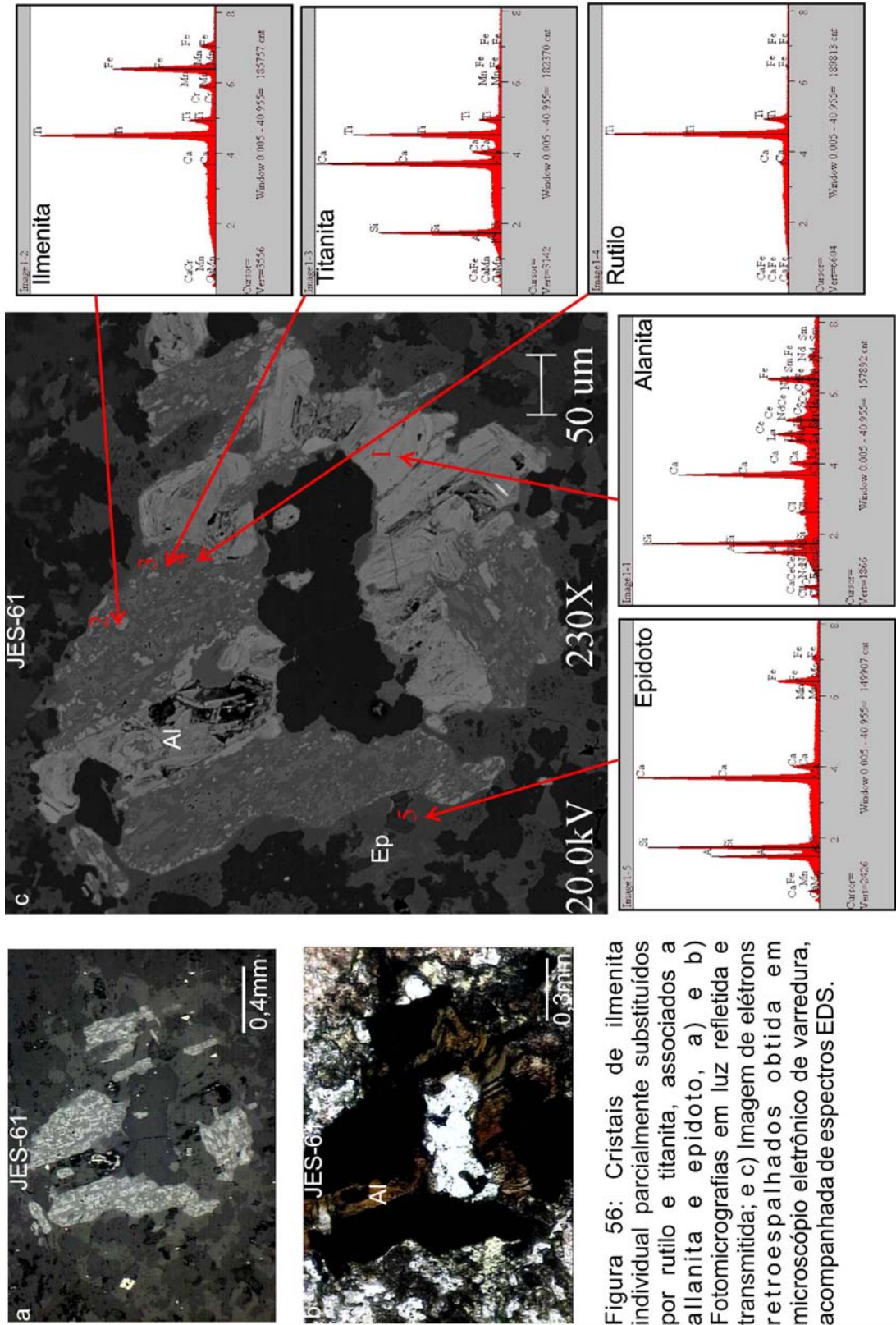


Figura 56: Cristais de ilmenita individual parcialmente substituídos por rutilo e titanita, associados a allanita e epidoto, a) e b) Fotomicrografias em luz refletida e transmitida; e c) Imagem de elétrons retroespalhados obtida em microscópio eletrônico de varredura, acompanhada de espectros EDS.

8 - INTEGRAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS

As associações magmáticas estudadas, de uma maneira geral, apresentam ampla distribuição dos valores de SM (Fig. 57). Há contrastes expressivos dentro de um mesmo grupo, que devem refletir variações significativas no conteúdo modal de magnetita e/ou na intensidade de sua martitização.

Os valores relativamente altos de SM correspondem a amostras ricas em magnetita, onde esta se encontra na forma de cristais preservados e sem muita evidência de oxidação ou, por vezes, alterados incipientemente. Tal comportamento pode ser observado principalmente no Biotita-granito/Leucogranito, Gabro, Granito Foliado e Microgranito/Dacito Pórfiro (Fig. 57). No Gabro, em amostras com valores mais altos de SM, os cristais de magnetita ocorrem geralmente bastante alterados e com manchas de ilmenita, o que não se reflete muito nos valores de SM provavelmente por apresentarem-se bem desenvolvidos e em quantidades relativamente elevadas.

Os valores mais baixos de SM, além de corresponderem, obviamente às amostras com conteúdo modal de magnetita mais baixo, podem refletir, no caso de grupos litológicos com dominância de amostras com alta SM, desestabilização da magnetita através da ação de processos hidrotermais, processo freqüente nas rochas estudadas. Dentre os granitóides que apresentam caracteristicamente uma nítida predominância de valores baixos de SM, destacam-se a Associação Tonalítica Trondhjemítica e o Trondhjemito (Fig. 57). O Tonalito/Quartzo-Diorito e o Granito Planalto (Fig. 57) constituem casos a parte dentre as rochas estudadas. O primeiro apresenta em diversas amostras fortes evidências de neoformação dos cristais de magnetita que se deu provavelmente devido à ação do hidrotermalismo intenso na sub-área estudada e proporcionou uma grande concentração de valores elevados de SM. O Granito Planalto apresenta, por sua vez, um número muito elevado de amostras com $SM < 1 \times 10^{-3} \text{Slv}$. Porém, as razões desse comportamento variado não puderam ser explicadas e serão necessários estudos complementares desse conjunto litológico, devendo ser considerada a hipótese de que nem todas as ocorrências sejam cogenéticas.

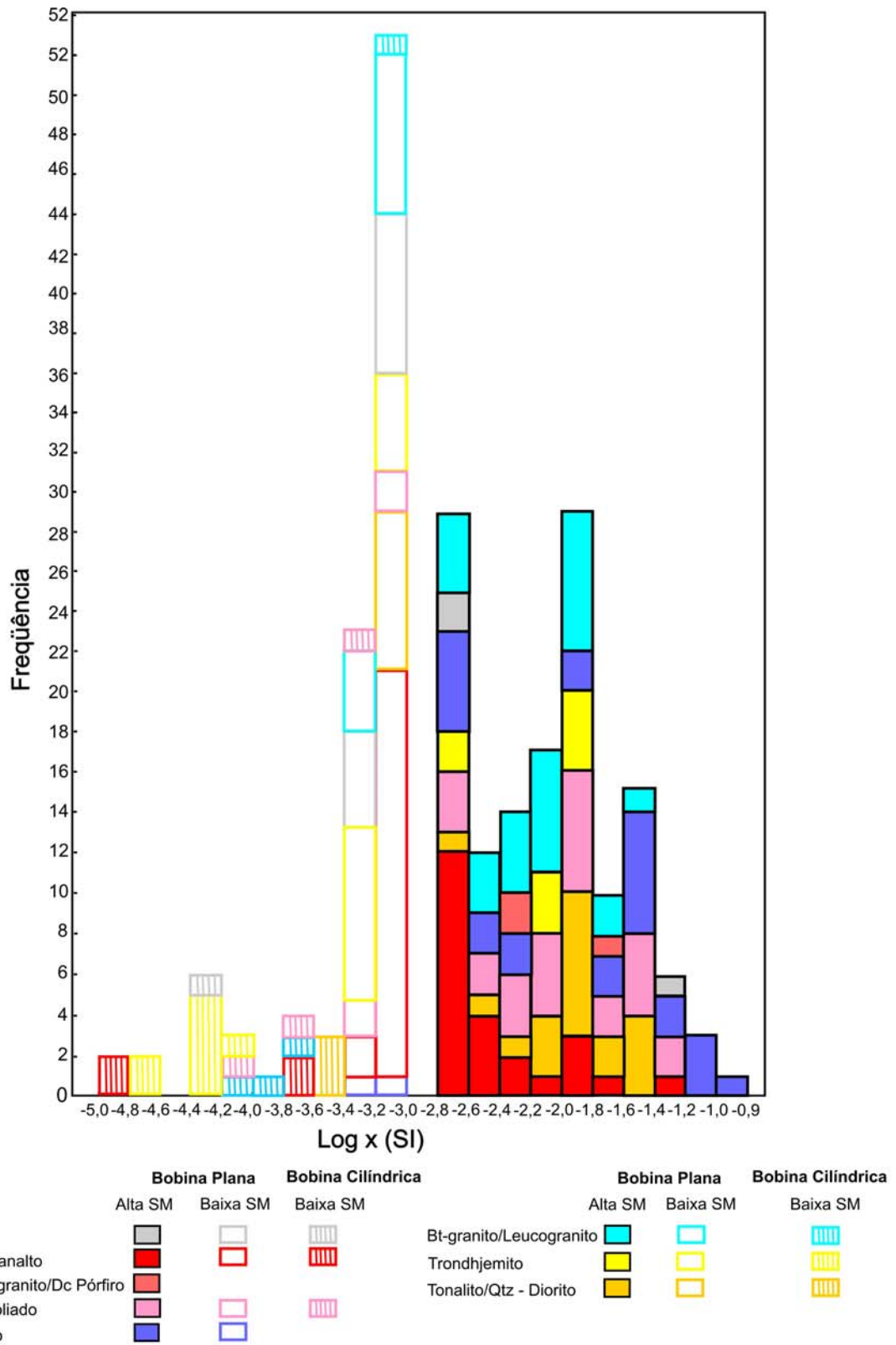


Figura 57: Histograma comparativo dos dados de suscetibilidade magnética (SM) obtidos com bobinas plana e cilíndrica nas rochas estudadas.

O estudo mineralógico dos óxidos de Fe e Ti possibilitou, no caso do Biotita-granito/Leucogranito e Granito Foliado, traçar estágios sucessivos de evolução da magnetita e da ilmenita. Tal estudo indicou que titanomagnetita e ilmenita formaram-se no estágio magmático provavelmente em equilíbrio, mas evoluíram de modo distinto durante o resfriamento e estágio *subsolidus*. A titanomagnetita evoluiu por processo de oxidação para intercrescimento de magnetita pura e ilmenita em treliça (Ilm T). Manteve-se estável mesmo nas amostras mais intensamente transformadas, porém apresenta-se homogênea e desprovida de ilmenita T. A ilmenita magmática corresponde provavelmente aos cristais de ilmenita individual (Ilm I) e também aos de ilmenita composta (Ilm C). Porém a similaridade composicional entre as Ilm C, Ilm P e Ilm T presentes na amostra AER-53 do Bt-granito (Ver anexo I), por exemplo, sugere que a mesma foi re-equilibrada no estágio *subsolidus*, quando se deu a formação final das ilmenitas T e P (Ver Dall'Agnol et al, 1997). Não se pode, no entanto, afastar a hipótese da Ilm C ser também de origem secundária, embora os aspectos texturais não sugiram isso.

A ilmenita em suas variedades texturais, foi em muitas amostras dos diferentes grupos litológicos, intensamente alterada e parcialmente substituída por associações complexas a base de rutilo ± titanita ± hematita ± ilmeno-hematita. Isso indica a presença de soluções fortemente oxidantes no estágio *subsolidus*, capazes de desestabilizar a ilmenita, porém sem afetar a magnetita. Parte das ilmenitas alteradas apresentam acentuado enriquecimento em Mn (Ver Anexo I; descrito anteriormente por Dall'Agnol et al. 1997).

O conjunto de dados de SM e mineralógicos permite estimar com razoável margem de segurança que o Biotita-granito, Gabro, Granito Foliado, Microgranito/Dacito Pórfiro e as amostras com $SM > 1 \times 10^{-3}$ do Granito Planalto formaram-se em condições oxidantes, próximas daquelas do tampão NNO (magnetita e ilmenita como fases estáveis; Fig. 58). No estágio *subsolidus* as condições tornaram-se severamente mais oxidantes, levando a desestabilização e substituição parcial da ilmenita, porém sem desestabilizar a magnetita o que explica a manutenção dos altos valores de SM. Como a magnetita permaneceu geralmente estável, registrando apenas martitização

localizada, pode-se estimar que as condições de fO_2 tenderam a se aproximar, podendo até mesmo ultrapassar localmente àquelas do tampão HM (Fig. 58).

Os conjuntos litológicos, como os trondhjemitos e a ATTr, que apresentaram dominância de valores mais baixos de SM, conseqüência de seus conteúdos mais reduzidos de magnetita, foram provavelmente formadas em condições de fO_2 relativamente mais redutoras, abaixo do tampão FMQ (Fig. 58).

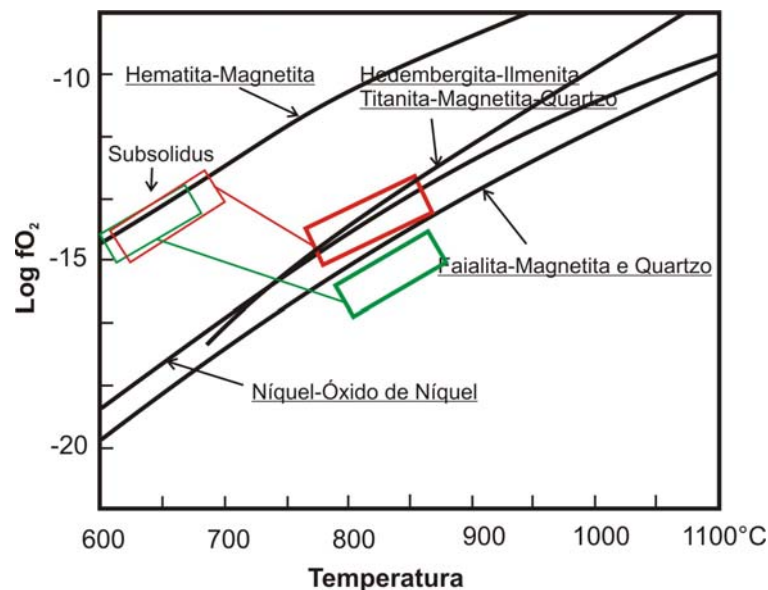


Figura 58: Diagrama T x log fO_2 (Wones 1989, Frost 1991), indicando estágio de cristalização magmática (traço grosso) e evolução no estágio *subsolidus* (traço fino), em verde os grupos litológico formados em condições redutoras e em vermelho aqueles formados em condições oxidantes. Ambos foram afetados por oxidação no estágio *subsolidus*.

Vale a pena ressaltar que as amostras, das diversas associações magmáticas estudadas que apresentaram valores de SM menores que 1×10^{-3} Slv, obtidos em bobina plana (Fig. 57), não foram discutidas detalhadamente neste trabalho. Algumas amostras representativas dos principais conjuntos litológicos foram selecionadas para estudos comparativos, com resultados obtidos a partir de medidas com bobina cilíndrica (Capítulo 6). Isso foi feito com a finalidade de obter-se valores mais precisos, já que os obtidos em bobina plana para esse intervalo se mostravam imprecisos. As medidas obtidas com a bobina cilíndrica compreenderam, em geral, valores entre 1×10^{-5} Slv e 1×10^{-4} Slv (Fig. 57), ao passo que, para o mesmo conjunto de amostras, a bobina plana forneceu sempre valores superiores aos indicados pela bobina cilíndrica e maiores que

1×10^{-4} , mesmo para as amostras sem evidências de magnetita. Além disso, a partir destes testes, pôde-se também observar que as medidas obtidas com bobina plana não apresentavam um padrão de variação coerente, impedindo, assim, a utilização de um fator de correção, como foi feito no caso das amostras com alta SM ($>1 \times 10^{-3}$ Slv).

Uma das contribuições mais relevantes do presente trabalho foi demonstrar a inadequação da bobina plana do suscetibilímetro SI-1 para estudos em amostras com baixa SM. Nestes casos, para a determinação de valores razoavelmente precisos de SM, é necessário o emprego de bobina cilíndrica. Essa conclusão terá conseqüências práticas para futuras pesquisas, havendo necessidade de um planejamento distinto do empregado até o momento, desde a fase de coleta de amostras no campo até o de medidas no laboratório. Uma das alternativas será o emprego sistemático no campo de perfuratriz portátil para coleta de amostras. Isso permitirá o uso sistemático em laboratório da bobina cilíndrica. Terá, porém, o inconveniente sério de tornar mais trabalhosa e onerosa a amostragem. No entanto, o estudo de SM, de minerais opacos e de suas associações, em amostras com $SM < 1 \times 10^{-3}$ Slv, será importante para complementar as observações e discussões já realizadas.

9- COMPARAÇÕES ENTRE O COMPORTAMENTO MAGNÉTICO DAS ASSOCIAÇÕES MAGMÁTICAS ESTUDADAS E OS DE ASSOCIAÇÕES MAGMÁTICAS ANÁLOGAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL

Com base no estudo elaborado, serão efetuadas comparações entre o comportamento magnético das diversas unidades estudadas com aquele de associações magmáticas similares da Amazônia Oriental (Magalhães 1991; Soares 1997; Leite *et al.* 1997; Figueiredo 1999; Oliveira *et al.* 2001; Ferreira & Barros 2001; Ferreira *et al.* 2002a e b). Com exceção do Granodiorito Rio Maria (Magalhães 1991), o qual teve suas medidas de SM obtidas a partir do aparelho CTU-2, os valores de $SM > 1 \times 10^{-3}$ Slv de todas as rochas estudadas, assim como das associações magmáticas utilizadas para comparações neste capítulo, foram multiplicados pelo fator de correção de 1,7 (Figueiredo *et al.* 2003). Os valores obtidos com a bobina plana no intervalo de $SM < 1 \times 10^{-3}$ Slv foram considerados pouco precisos, a partir de testes realizados com os sensores utilizados no Laboratório de Petrologia Magnética (Capítulo 6), sendo aqueles obtidos com a bobina cilíndrica para o mesmo intervalo de valores os mais precisos, e, portanto representativos da SM dos grupos litológicos estudados no intervalo em questão. A este respeito vale a pena ressaltar, que os valores de $SM < 1 \times 10^{-3}$ Slv, obtidos nos trabalhos citados acima, apesar de utilizados neste capítulo para comparações, apresentam limitações pois foram determinados com o uso de bobina plana do SI-1 no LPM e não com bobina cilíndrica, como seria indicado para este intervalo de SM. Apesar desta limitação, acredita-se que as comparações ainda permitem uma visão geral do comportamento dos diferentes grupos litológicos, sendo, portanto, válida.

Tonalito/Quarzo-Diorito

O Tonalito/Quarzo-Diorito, localizado a N da Vila Planalto (Sub-área I), apresenta valores de SM predominantes no intervalo de $2,17 \times 10^{-3}$ (-log 2,66) a $3,80 \times 10^{-2}$ (-log 1,4; Fig. 59). Estes se superpõem aos valores mais altos de SM obtidos no Granodiorito Rio Maria (GdRM; Magalhães 1991), que variam entre $1,06 \times 10^{-3}$ (-log 2,97) e $2,47 \times 10^{-2}$ (-log 1,60; Fig. 59). Em ambos os casos ocorrem indícios de neoformação de magnetita, nas amostras com mais altos valores de SM. No GdRM isto

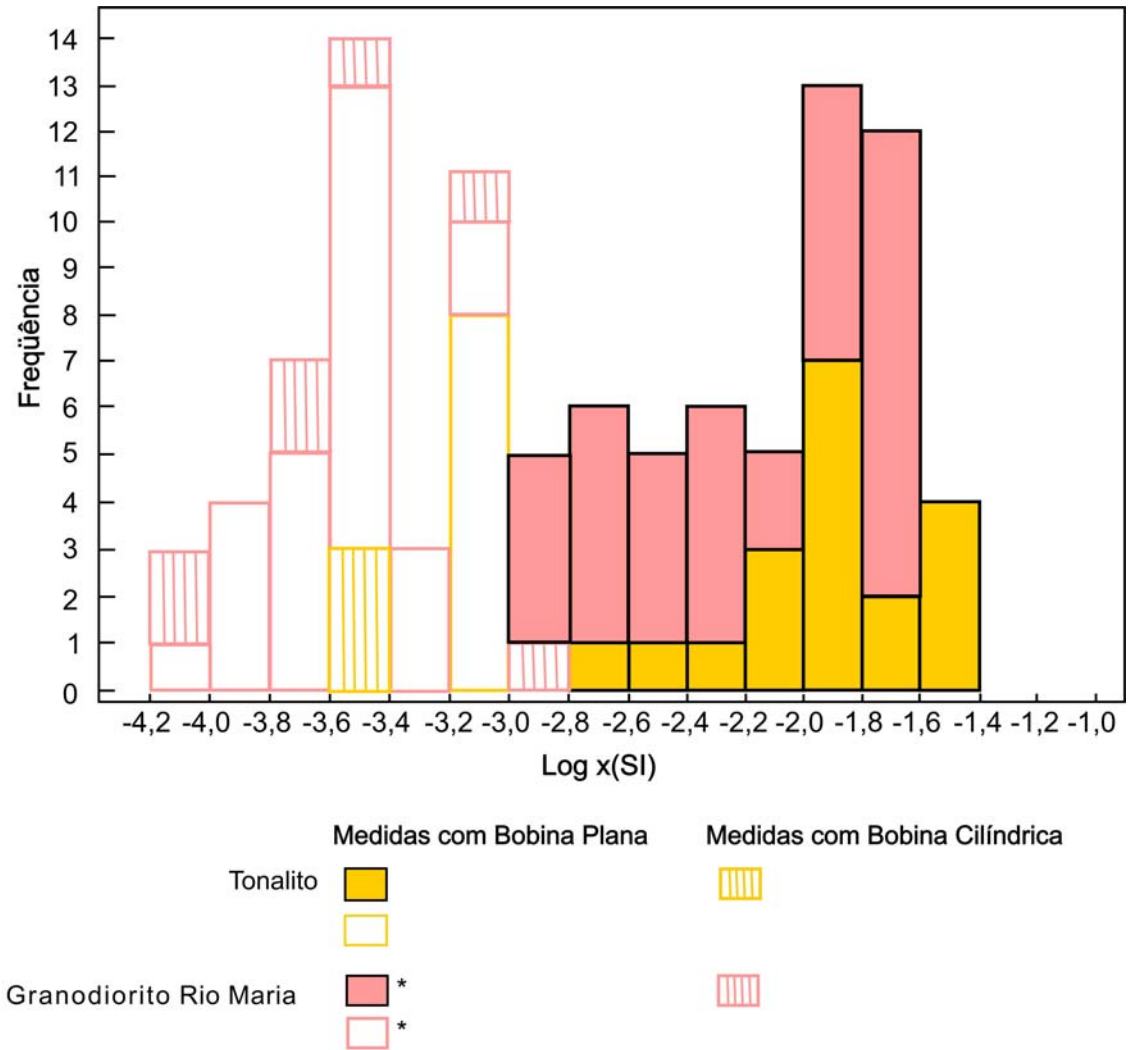


Figura 59: Histograma comparativo referente aos dados de suscetibilidade magnética (SM) de: Tonalito e Granodiorito Rio Maria (Magalhães 1991).

ocorre principalmente nas amostras das populações C e D, que correspondem às localizadas próximo ao contato com os granitos Musa e Jamon (metamorfismo de contato relacionado às intrusões destes granitos). De um modo geral, as amostras do GdRM mais afastadas do contato apresentam baixos valores de SM, no intervalo de $-\log 4,2$ a $3,0$ (Fig. 59), sendo tais valores de SM, possivelmente, os mais representativos para essas rochas. Os altos valores de SM do Tonalito são decorrentes, provavelmente, da ação dos efeitos do intenso hidrotermalismo ocorrido na área. Como dito anteriormente, dentre as rochas estudadas, este é o grupo mais afetado por processos hidrotermais, que podem ter acarretado, assim como no GdRM, a neoformação de cristais de magnetita.

Foram feitos testes metodológicos com diferentes tipos de bobina em amostras de baixa SM pertencentes aos dois grupos de rochas (Capítulo 6). Constatou-se que no GdRM, onde as medidas com bobina plana foram obtidas através do suscetibilímetro CTU-2 (Magalhães 1991), os resultados adquiridos a partir deste equipamento e através da bobina cilíndrica do SI-1 foram bastante semelhantes (Fig. 59). Já no Tonalito, onde as medidas com bobina plana foram obtidas a partir do suscetibilímetro SI-1, os valores adquiridos com a bobina cilíndrica ($-\log 3,4$ a $3,6$) foram mais baixos que os da bobina plana ($-\log 3,0$ a $3,2$; Fig. 59), mesmo naquelas amostras com conteúdos reduzidos ou nulos de magnetita. Isso mostra a pouca confiabilidade das medidas da bobina plana do SI-1 e os valores mais precisos da bobina cilíndrica desse mesmo equipamento para esse intervalo de medidas ($SM < 1 \times 10^{-3}$ Slv; Cap. 6). Independente disso pôde-se observar, que os dois granitóides apresentam comportamento magnético bastante semelhante.

As rochas trondhjemíticas possuem ampla distribuição na sub-área I de estudo. Seus valores de SM são predominantemente baixos (Fig. 60), devido à ausência de cristais de magnetita na maioria das amostras estudadas. Algumas destas amostras foram retiradas para testes comparativos com as bobinas utilizadas no LPM (Capítulo 6). As medidas obtidas inicialmente com a bobina plana ocupam o intervalo $-\log 3,4$ a $3,0$ e as obtidas com a bobina cilíndrica $-\log 4,8$ a $4,0$ (Fig. 60). Esta mostrou-se mais precisa para amostras com $SM < 1 \times 10^{-3}$ Slv, correspondentes a rochas com conteúdo muito baixo ou até mesmo nulo de magnetita. Entretanto, 40% das medidas de SM

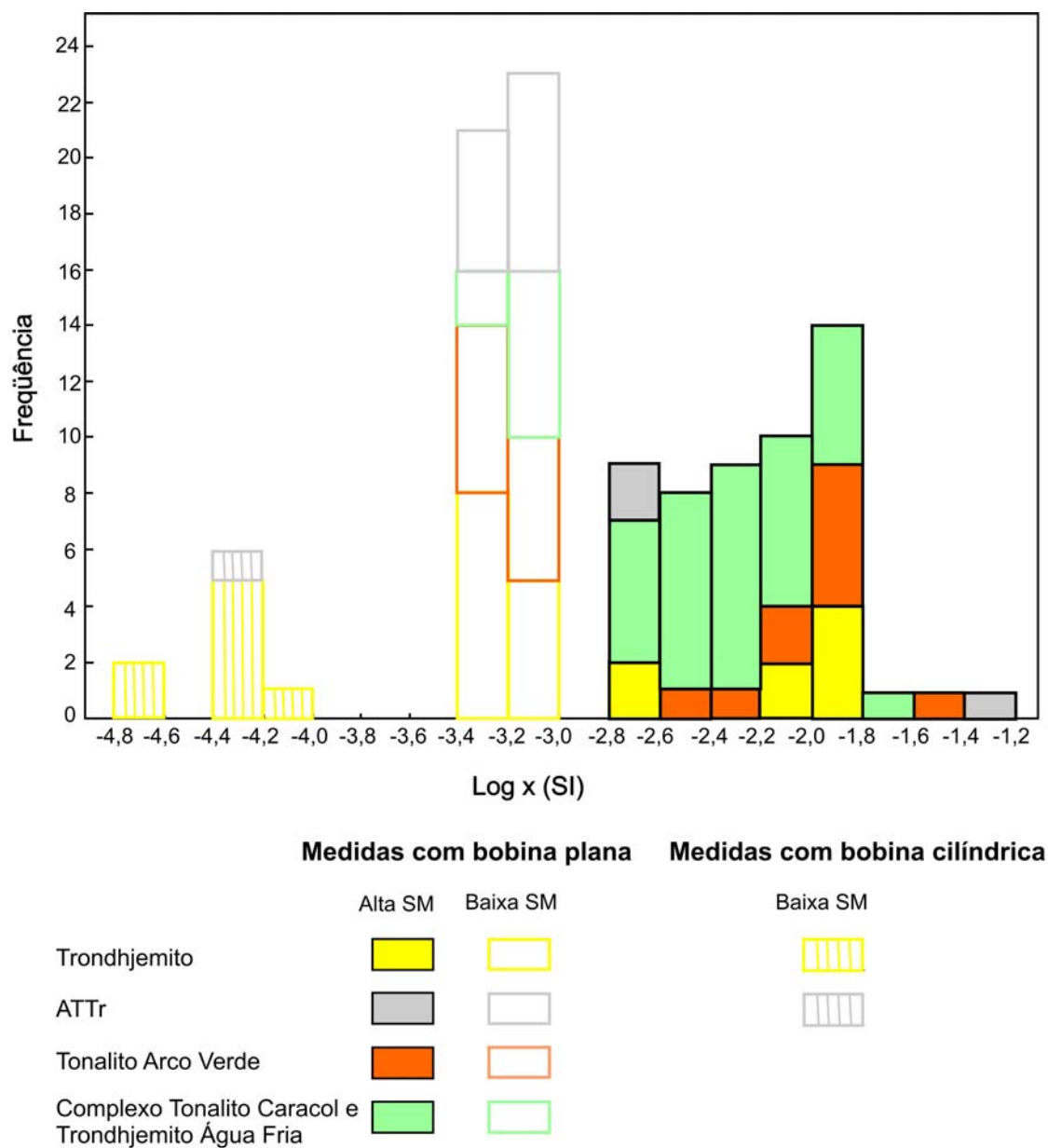


Figura 60: Histograma comparativo referente aos dados de suscetibilidade magnética (SM) de: Trondhjemito, Associação Tonalítica Trondhjemítica (ATTr), Tonalito Arco Verde (Figueiredo 1997) e Complexo Tonalítico Caracol e Trondhjemito Água Fria (Figueiredo 1997; Leite 2001).

obtidas no Trondhjemitito foram $> 1 \times 10^{-3}$ Slv, o que mostra que, de alguma forma, essas rochas podem ter sido submetidas à ação de processos hidrotermais atuantes na área em estudo, os quais poderiam ter levado a formação de novos cristais de Mt.

No Tonalito Arco Verde (Tav; Figueiredo 1997), cuja SM varia de $5,06 \times 10^{-4}$ Slv (-log 3,29) a $3,00 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,52; Fig. 60), a população A (menos magnética) é a dominante na unidade com valores $< 1 \times 10^{-3}$ Slv. Tais valores são similares aos menores valores de SM do Trondhjemitito obtidos com a bobina plana. Não são possíveis comparações com a bobina cilíndrica, já que não foi realizado nenhum estudo com este sensor em amostras com baixa SM no Tav. A população B (mais magnética) corresponde, tal como no caso do GdRM, a amostras localizadas às proximidades dos contatos das intrusões graníticas proterozóicas, Musa e Jamon. Já nas amostras do Complexo Tonalítico Caracol e do Trondhjemitito Água Fria - TTrGn (Figueiredo 1997; Leite 2001), as quais apresentam suscetibilidade magnética variando entre $6,04 \times 10^{-4}$ Slv (-log 3,21) e $1,80 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,74; Fig. 60), o histograma de frequência revela um nítido contraste entre os trondhjemitos estudados e as rochas mencionadas, pois nos primeiros tem-se uma dominância de valores baixos de SM com apenas 40% das amostras com valores acima de 10^{-3} Slv, ao passo que nos TTGs da Região de Xinguara dominam claramente os valores intermediários. A Associação Tonalítica-Trondhjemitica (ATTr), assim como os trondhjemitos estudados, apresenta baixos ou nulos conteúdos de Mt, bem como predominância de valores baixos de SM, os quais são representados por uma amostra medida através da bobina cilíndrica, apresentando SM igual a $5,11 \times 10^{-5}$ Slv (-log 4,29; Fig. 60). Apenas 20% das amostras estudadas apresentaram valores acima de 1×10^{-3} Slv.

O Granito Planalto (GP; Fig. 61), pertencente ao grupo dos granitos subalcalinos arqueanos da Bacia Carajás (BC), apresenta em geral uma grande dispersão dos valores de SM, os quais se alternam em valores baixos e relativamente altos. Suas amostras com SM $> 1 \times 10^{-3}$ Slv, distribuem-se no intervalo de $1,73 \times 10^{-3}$ Slv (-log 2,8) a $4,50 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,3), e englobam 52% das amostras estudadas. Os 48% restantes apresentaram SM $< 10^{-3}$ Slv (-log 3,4 a 3,0) e destas, três amostras medidas com bobina cilíndrica, forneceram valores nos intervalos -log 5,0 a 4,8 e -log 3,6 a 3,8 assumidos neste trabalho como os mais precisos para este intervalo.

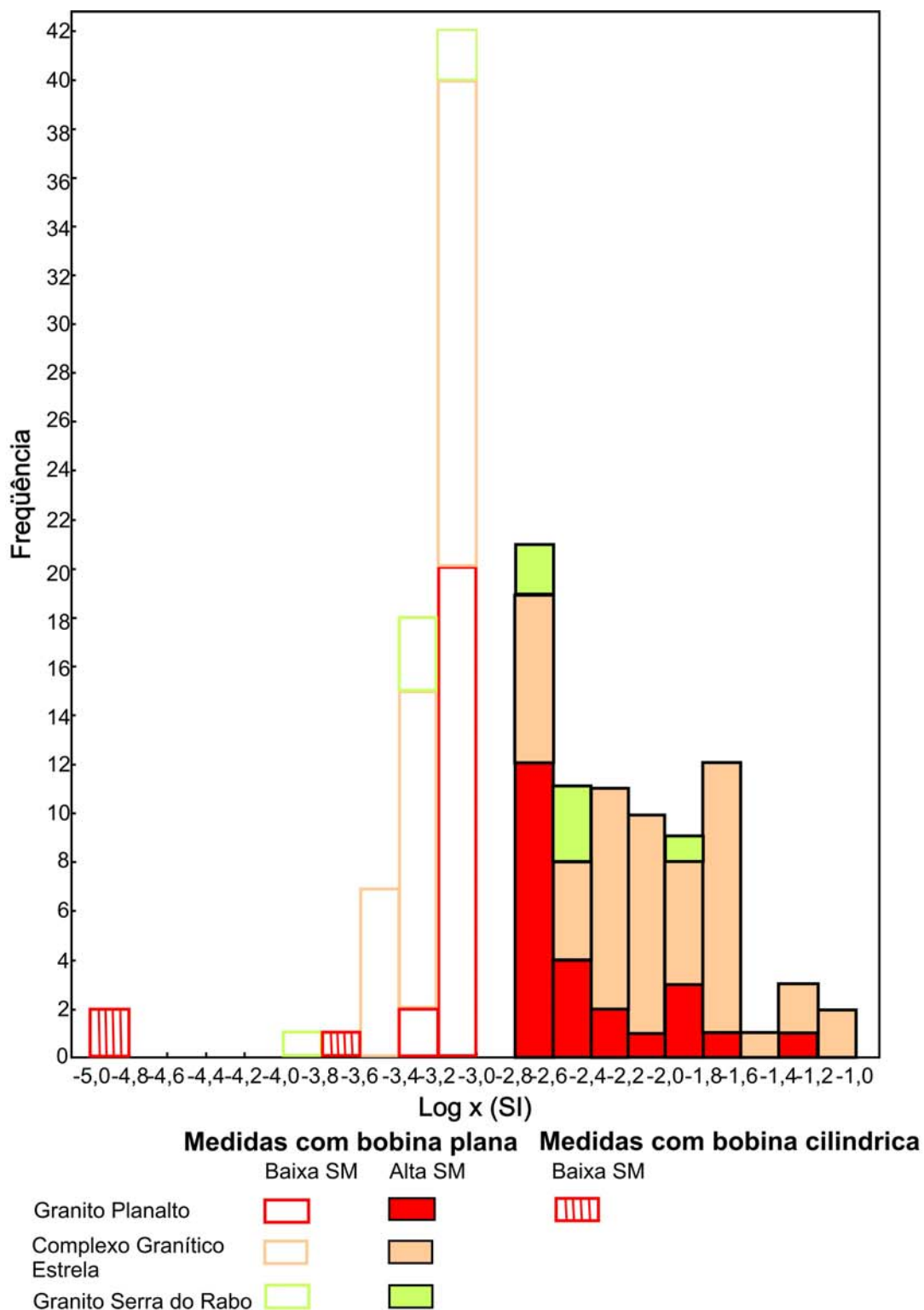
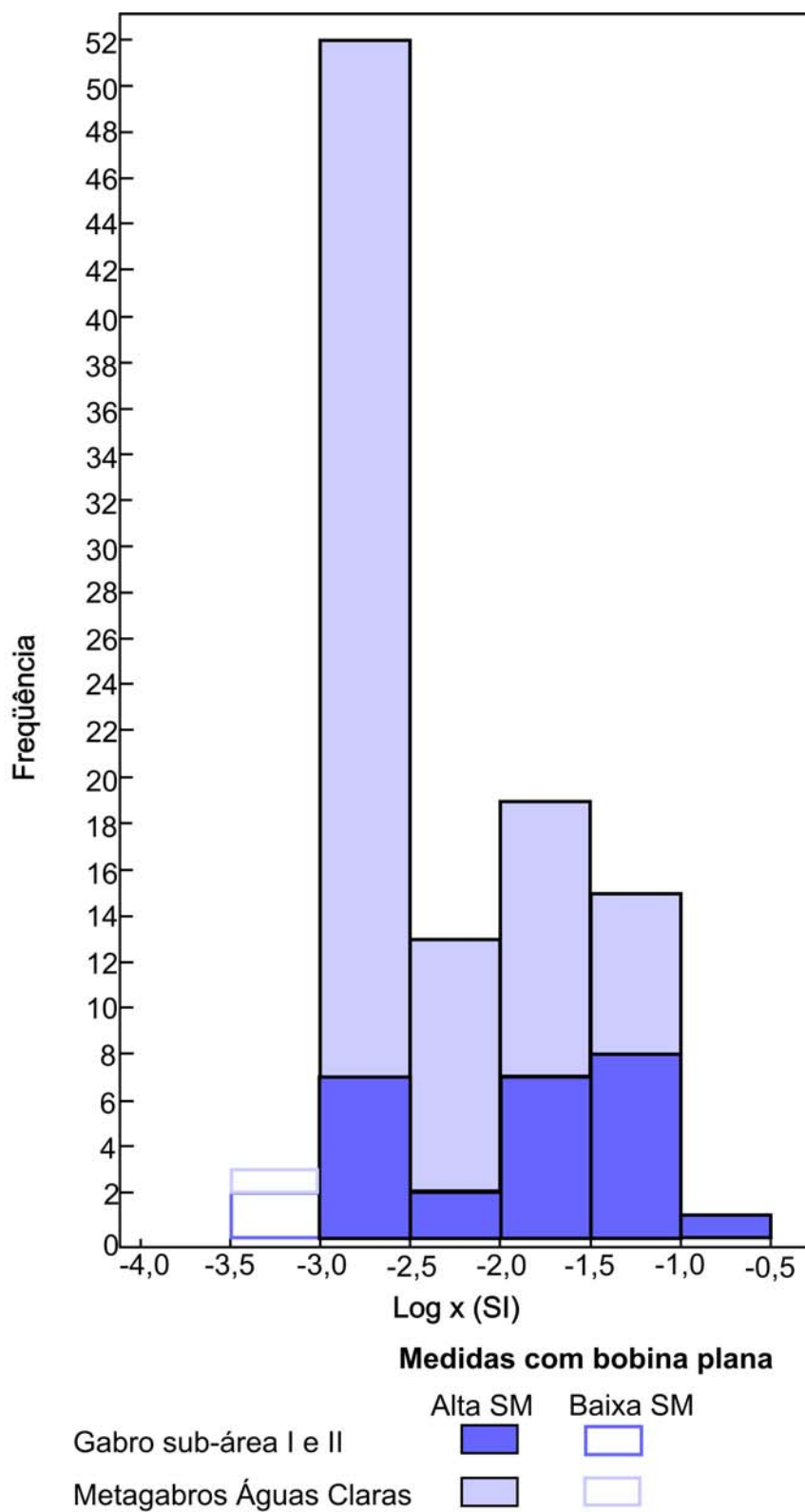


Figura 61: Histograma comparativo referente aos dados de suscetibilidade magnética (SM) de: Granito Planalto (deste trabalho e de Oliveira 2003), Granito Estrela e Granito Serra do Rabo (Ferreira & Barros 2001; Ferreira et al. 2002a e b).

Os valores encontrados no GP, de uma maneira geral, são semelhantes aos obtidos no Complexo Granítico Estrela (CGE; Ferreira & Barros 2001, Ferreira et al. 2002a e b), os quais variam de $4,51 \times 10^{-4}$ Slv (-log 3,34) a $6,73 \times 10^{-2}$ (-log 1,17; Fig.61), podendo-se observar, no entanto, que aproximadamente 45,8% destas medidas apresentam valores $<10^{-3}$ (-log 3,34 a 3,00). Quanto ao Granito Serra do Rabo (Ferreira & Barros 2001 e Ferreira et al. 2002a e b), este apresenta valores de suscetibilidade magnética mais baixos que os demais, variando de $1,11 \times 10^{-4}$ Slv (-log 3,95) a $1,55 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,80; Fig. 61), com apenas 33,3% de medidas como valores moderados a elevados de SM, concentrando-se no intervalo -log 2,8 a 2,4, com exceção de uma amostra isolada. As amostras restantes exibem valores relativamente baixos de SM ($<1 \times 10^{-3}$ Slv), restritos aos intervalos -log 4,0 a 3,8 e -log 3,4 a 3,0 (Fig. 61).

Estes granitos também apresentam similaridades quanto aos minerais opacos que os compõem. Nas amostras com mais baixos valores de SM, predominam cristais de ilmenita, como visto no GSR e no CGE (Ferreira & Barros 2001 e Ferreira et al. 2002a e b). Infelizmente, isto não pôde ser comprovado no caso das amostras com baixa SM do Granito Planalto que necessitarão de estudos complementares. Por outro lado, nas amostras do GP com valores de SM $> 1 \times 10^{-3}$ Slv, têm-se sempre a ocorrência de cristais de magnetita bem preservados. O mesmo se verifica nas amostras do CGE e GSR com valores de SM $> 1 \times 10^{-3}$ Slv (Ferreira & Barros 2001 e Ferreira et al. 2002a e b). O GSR destaca-se por apresentar os menores valores de SM, bem como a menor quantidade de Mt, sendo tais características indicadoras de que este granito foi formado em condições mais redutoras que o GP e o CGE.

Os Gabros (Fig. 62) apresentam valores relativamente altos de SM, os quais variam de $1,748 \times 10^{-3}$ Slv (-log 2,76) a $1,059 \times 10^{-1}$ Slv (-log 0,98) com grandes concentrações nos intervalos -log 3,0 e 2,5 e -log 2,0 e 1,0. Apenas duas dentre as amostras estudadas apresentaram SM $< 1 \times 10^{-3}$ Slv. Tais valores são razoavelmente semelhantes aos encontrados nos Metagabros Águas Claras (MgAC; Soares 1997), cujos valores de SM variam de $1,71 \times 10^{-3}$ Slv (-log 2,76) a $8,50 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,07), com apenas uma de suas amostras apresentando SM $< 1 \times 10^{-3}$ Slv (Fig. 62). As suas medidas estão principalmente concentradas no intervalo -log 3,0 a 2,5, revelando a predominância de valores moderados de SM. Ambas as rochas foram intensamente



hidrotermalizadas e apresentaram originalmente conteúdos altos de titanomagnetita, em grande parte desestabilizada. Os mais baixos valores de SM correspondem às amostras cuja magnetita foi inteiramente desestabilizada, restando apenas as lamelas de ilmenita em treliça de intercrescimento magnetita-ilmenita em treliça gerado por oxissolução.

O Biotita-Granito/Leucogranito (BtG/Lg), aflorante na porção sudoeste da região de Serra Dourada, apresenta valores de SM que variam no intervalo entre $1,73 \times 10^{-3}$ Slv (-log 2,76) e $2,56 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,59), sendo que 30% do total de amostras estudadas, forneceram valores de SM $< 1 \times 10^{-3}$ Slv (Fig. 63). Destas três amostras foram medidas através da bobina cilíndrica e os valores obtidos nas mesmas estão situados no intervalo -log 4,2 a 3,0 (Fig 63). De uma forma geral, os valores de SM obtidos neste granito são similares aos obtidos para o Granito Xinguara (Gxing; Leite *et al.* 1997; Figueiredo 1997), cujas medidas variam entre $1,80 \times 10^{-3}$ Slv (-log 2,74) e $1,56 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,80; Fig. 63) com apenas 6,5 % de seus valores $< 1 \times 10^{-3}$ Slv. Ambos estão subdivididos em três populações magnéticas distintas que mostram uma razoável correlação, embora os valores de SM obtidos com a bobina plana em amostras de baixa SM, não representem os valores reais.

O granito foliado (Fig. 63) apresenta valores de SM que variam no intervalo entre $1,87 \times 10^{-3}$ Slv (-log 2,73) e $4,38 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,36). Além disso, aproximadamente 10% de suas amostras apresentaram valores $< 1 \times 10^{-3}$ Slv, nestas três amostras obtiveram-se, a partir da bobina cilíndrica, valores no intervalo -log 4,2 a 3,2. Os valores de SM obtidos neste granito são similares aos dominantes no Granito Xinguara (Figueiredo 1997), havendo uma boa correlação entre eles (Fig. 63). Concluiu-se que os três granitos tomados para comparação possuem valores de SM predominantemente altos e são relativamente ricos em cristais de Mt, o que indica condições oxidantes durante sua formação (cf. Fig. 58).

Mesmo com a amostragem restrita do Microgranito/Dacito Pórfiro (Fig. 64) será feita uma comparação preliminar de seus dados com os obtidos no Granito Santa Rosa (GSRO; Paiva Junior & Dall'Agnol 2005) e nos Diques da Região de Rio Maria (Riolitos e Dacitos Pórfiros; Oliveira *et al.* 2001; Fig. 64). O Microgranito/Dacito Pórfiro apresenta predominantemente valores altos de SM os quais se distribuem no intervalo $5,21 \times 10^{-3}$

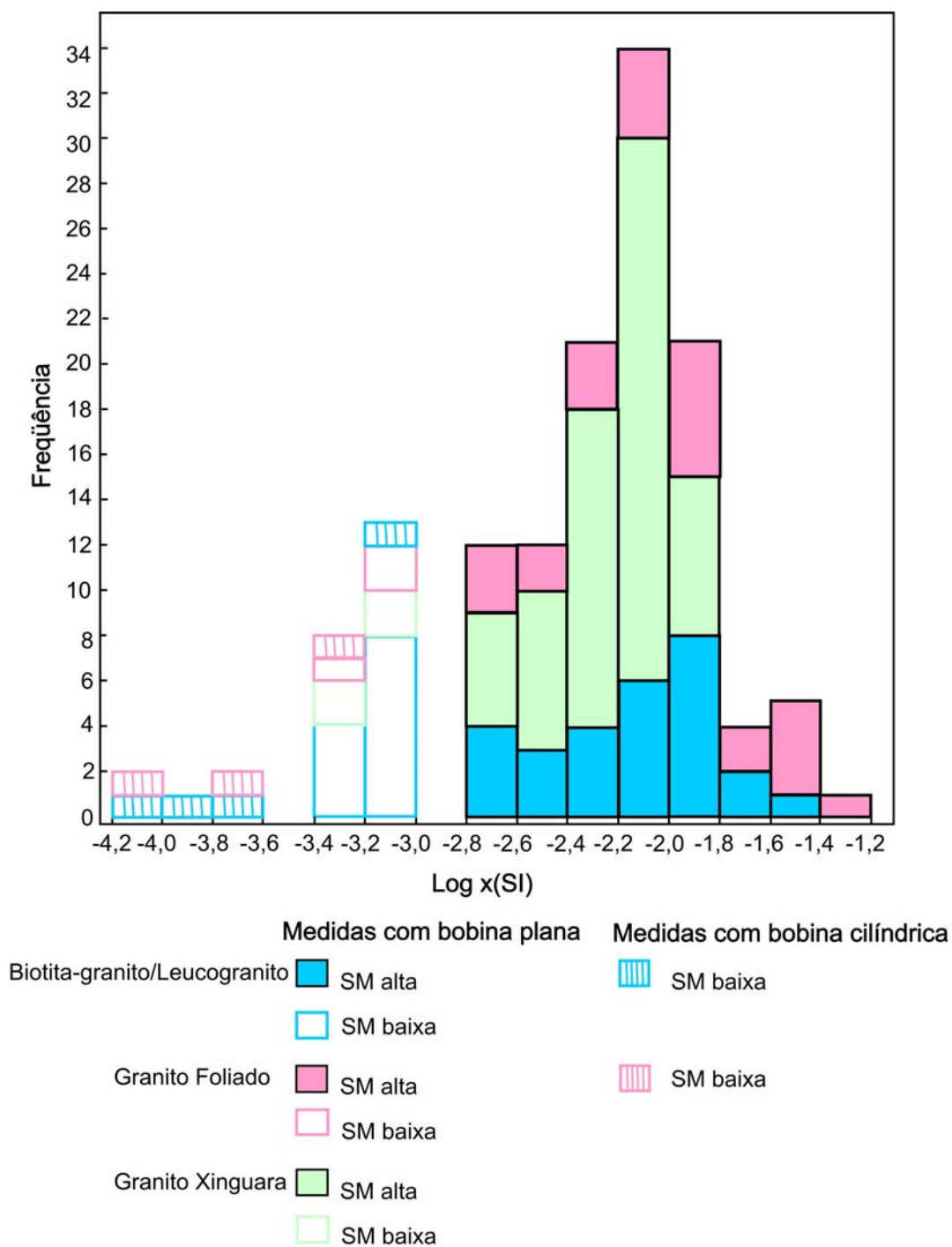


Figura 63- Histograma comparativo referentes aos dados de suscetibilidade magnética (SM) de: Biotita-granito/Leucogranito, Granito Foliado e Granito Xinguara (Figueiredo 1997, Leite et al 1997).

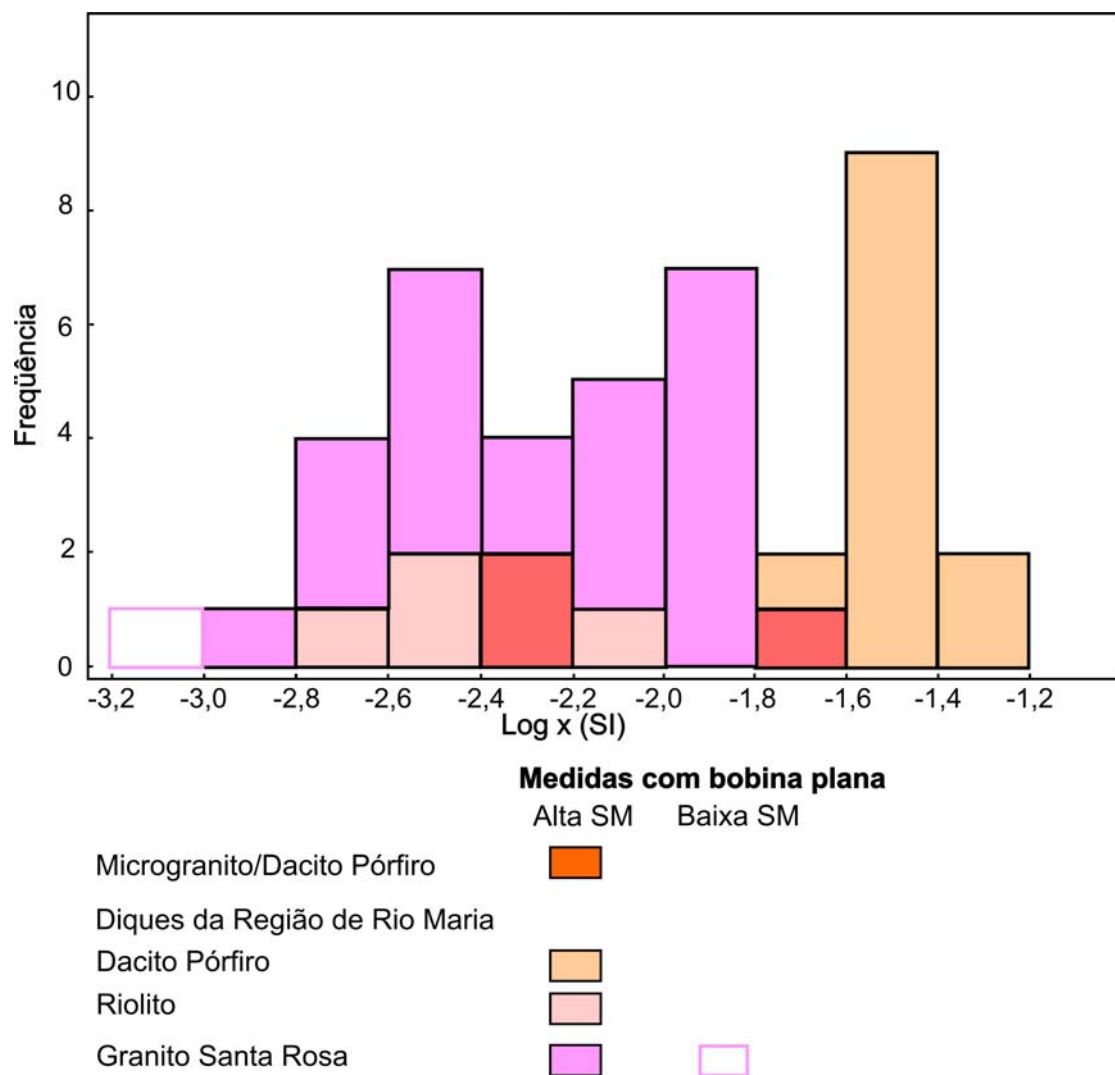


Figura 64: Histograma comparativo referente aos dados de suscetibilidade magnética (SM) de: Microgranito/Dacito Pórfiro, Diques da Região de Rio Maria (Oliveira et al. 2000) e Granito Santa Rosa (Paiva Junior & Dall'Agnol 2005).

Slv (-log 2,28) a $1,66 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,77). Tais valores, de uma forma geral, superpõem-se aos obtidos no GSRO, apesar deste possuir uma mais ampla distribuição dos seus valores de SM $1,79 \times 10^{-3}$ Slv (-log 2,74) a $1,53 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,81), e apresentar apenas 4% de suas amostras com valores de SM relativamente baixos $< 1 \times 10^{-3}$. Os riolitos da região de Rio Maria (Fig. 64) apresentam valores mínimo e máximo de SM respectivamente $2,09 \times 10^{-3}$ Slv (-log 2,67) e $8,77 \times 10^{-3}$ Slv (-log 2,05), cujo intervalo se assemelha ao obtido no Microgranito/Dacito Pórfiro, embora sem uma correspondência perfeita, como pode ser observado no histograma comparativo (Fig. 64) Os dacitos de Rio Maria, dentre as rochas citadas são as que apresentam maiores valores de SM $1,73 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,75) a $5,38 \times 10^{-2}$ Slv (-log 1,26). A amostra de mais alto valor de SM do Microgranito/Dacito Pórfiro da sub-área I em estudo situa-se no limite inferior desse intervalo (Fig. 64).

Conclui-se que, embora o número de amostras medidas do Microgranito/Dacito Pórfiro seja ainda muito restrito, estas rochas apresentam analogias em termos de SM com as rochas paleoproterozóicas selecionadas para comparação.

10 - CONCLUSÕES

A interpretação dos dados de SM, assim como o estudo detalhado dos minerais óxidos de Fe e Ti, permitiram uma melhor compreensão dos processos magmáticos e hidrotermais que geraram e modificaram as associações magmáticas da região de Canaã dos Carajás.

Os testes metodológicos realizados em amostras com baixa SM ($<1 \times 10^{-3}$ Slv) comprovaram que o sensor bobina plana do suscetibilímetro SI-1 não apresenta neste intervalo de SM uma precisão adequada, se fazendo necessária a obtenção nestes casos de testemunhos para posterior medição através da bobina cilíndrica (sensor SMS), a qual mostrou uma precisão adequada. Confirmou-se, ainda, observações anteriores de pesquisadores do GPPG (Oliveira *et al.* 2002, Figueiredo *et al.* 2003), que nas amostras com SM $>1 \times 10^{-3}$ Slv, os valores obtidos com as duas bobinas tendem a se aproximar, sendo, porém, sistematicamente mais baixos aqueles fornecidos pela bobina plana em relação à bobina cilíndrica, fazendo-se necessária a utilização de um fator de correção de 1,7 para compensar os valores mais baixos fornecidos pela bobina plana em relação à bobina cilíndrica.

As rochas estudadas foram subdivididas em dois grupos principais em termos de valores de suscetibilidade magnética (SM). O primeiro, formado por rochas com valores mais elevados de SM, gerados em condições oxidantes e composto por Biotita-granito/Leucogranito (SM média de $8,722 \times 10^{-3}$ Slv), Granito Foliado (SM média de $1,380 \times 10^{-2}$ Slv), Microgranito/Dacito Pórfiro (SM média de $9,285 \times 10^{-3}$ Slv) e Gabro (SM média de $2,694 \times 10^{-2}$ Slv). O segundo, composto por Associação Tonalítica-Trondhjémítica (Valor representativo de SM $5,114 \times 10^{-5}$ Slv) e Trondhjemitó (Valor representativo de SM $7,546 \times 10^{-5}$ Slv), apresenta valores de SM predominantemente baixos $< 1 \times 10^{-3}$ Slv e formou-se em condições redutoras. Dentre as rochas estudadas, o Tonalito/Quartzo-Diorito e o Granito Planalto constituem casos especiais. Ambos apresentam grande dispersão dos valores de SM, o primeiro provavelmente devido à neoformação de cristais de magnetita a partir de processos hidrotermais sofridos por estas rochas; o segundo, por razões que não puderam ser esclarecidas necessitará de estudos complementares.

Os principais minerais óxidos de Fe e Ti encontrados são magnetita (dominante nas rochas com mais altos valores de SM) e ilmenita. A principal fase secundária é a hematita, que ocorre intercrescida com a ilmenita ou substituindo a magnetita, sob a forma de martita. Vários tipos texturais de ilmenita (em treliça, composta, sanduíche, individual e em manchas) foram identificados. Além dos óxidos, ocorrem em menor quantidade os sulfetos pirita e calcopirita.

A partir dos estudos texturais e mineralógicos realizados no Biotita-granito/Leucogranito, foram traçados alguns estágios de evolução da magnetita e da ilmenita: A titanomagnetita primária deu origem a intercrescimentos de magnetita pobre em Ti e ilmenita em treliça e em manchas, a partir do processo de oxi-exsolução. A presença de cristais de ilmenita individual e composta sugere que os mesmos se formaram no estágio magmático, provavelmente em equilíbrio com a titanomagnetita. Em amostras mais intensamente transformadas, a magnetita foi reequilibrada e apresenta-se homogênea e sem evidências de ilmenita em treliça. Em um estágio mais tardio, a magnetita sofreu oxidação e formou martita. Em estágio *subsólido* mais tardio, os diferentes tipos texturais de ilmenita foram, em muitas amostras, intensamente alterados e parcialmente substituídos por associações complexas de rutilo ± titanita ± hematita ± ilmeno-hematita, indicando a presença de soluções fortemente oxidantes. Embora localmente martitizada, a magnetita foi aparentemente menos afetada por essas transformações.

Condições oxidantes, entre os tampões HM e FMQ e próximas as do tampão NNO, devem ter predominado durante a formação das rochas do grupo com alta SM, como sugerem os conteúdos expressivos de magnetita, responsáveis por seus altos valores de SM. Porém, no estágio pós-magmático, a fugacidade de oxigênio deve ter crescido para possibilitar a martitização da magnetita e a substituição da ilmenita por rutilo, titanita e hematita. As rochas que apresentaram valores mais baixos de SM e conteúdos mais reduzidos ou nulos de magnetita foram provavelmente formadas sob condições de fO_2 mais redutoras, abaixo do tampão FMQ.

A comparação das propriedades magnéticas das unidades estudadas com as de outras rochas similares do Cráton Amazônico indicou, de um modo geral, fortes analogias. Constataram-se semelhanças razoáveis quanto aos valores de

suscetibilidade magnética (SM), características texturais dos principais minerais óxidos de Fe e Ti que as compõem e dos processos secundários que afetaram essas rochas. Isso pode indicar condições similares de formação em termos de fugacidade de oxigênio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTHOFF, F.J. 1996. *Etude pétrologique et structurale des granitoïdes de Marajoara (Pará, Brésil): leur rôle dans l'évolution archéenne du craton Amazonien (2,7-3,2 Ga)*. Université Henri Poincaré, Nancy I – France. 296p (Tese de Doutorado).
- ARAÚJO, O. J. B. & MAIA, R. G. N. 1991. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Programa Grande Carajás. Serra dos Carajás Folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Brasília, DNPM/CPRM, p.164.
- AVELAR, V. G.; LAFON, J. M.; CORREIO, J. R.; MACAMBIRA, E. M. B. 1999. O Magmatismo arqueano da região de Tucumã-Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*. 29(2): 454-460.
- BARROS, C. E. M.; BARBEY, P. 1998. A importância da granitogênese tardi-arqueana (2.5 Ga) na evolução tectono-metamórfica da Província Mineral de Carajás – O Complexo Granítico Estrela e sua auréola de contato. *Revista Brasileira de Geociências*, **28 (4)**: 513-522.
- BARROS, C. E. M. 1991. *Evolução petrológica e estrutural do Gnaiss Estrela. Curionópolis, PA*. Belém, Centro de Geociências-UFPa, 135p. (Dissertação de Mestrado)
- BARROS, C. E. M. & DALL'AGNOL, R. 1994. Deformação de rochas granitóides em regime dúctil: o exemplo do Gnaiss Estrela, Região de Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, **24(3)**: 129-138.
- BARROS, C. E. M.; DALL'AGNOL, R.; BARBEY, P. & BOULLIER, A. M. 1997. Geochemistry of the Estrela Granite Complex, Carajas Region, Brazil: an example of an Archaean A-type granitoid. *Journal of South of American Earth Sciences*, 10, (3-4): 321-330.
- BARROS, C. E. M.; SARDINHA, A. S.; BARBOSA, J. P. O.; KRIMSKI, R.; MACAMBIRA, M. J. B. 2001. Pb-Pb and U-Pb zircon ages of Archean syntectonics granites of the Carajás Metallogenic Province, northern Brazil. In: SIMPOSIO SUDAMERICANO DE GEOLOGIA ISOTOPICA, 3. Pucon, Chile. Sociedade Geologica de Chile. CD ROM.
- BUDDINGTON, A. F. & LINDSLEY, H. D. 1964. Iron-Titanium oxides minerals and synthetic equivalents. *J. Petrology*, **5 (2)**: 310-357.

- CLARK, D. A. 1999. Magnetic Petrology of igneous intrusions: implications for exploration and magnetic interpretation. *Exploration Geophysics*, **30**: 5-26.
- COSTA, J. B. S.; ARAÚJO, O. J. B.; SANTOS, A.; JORGE JOÃO, X. S.; MACAMBIRA, M. J. B.; LAFON, J. M. 1995. A Província Mineral de Carajás: Aspectos Tectono-Estruturais, Estratigráficos e Geocronológicos. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, *Série Ciências da Terra*, **7**: 199-235.
- DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M. A.; ALMEIDA, J. A. C. ALTHOFF, F.J.; LEITE, A. A. S.; OLIVEIRA, D. C.; BARROS, C.E.M. 2006. Archean and Paleoproterozoic Granitoids of the Carajás Metallogenic Province, Eastern Amazonian Craton. In: SYMPOSIUM ON MAGMATISM, CRUSTAL EVOLUTION, AND METALLOGENESIS OF THE AMAZONIAN CRATON, 1. *Excution Guide...*, Belém, p.99-150.
- DALL'AGNOL, R.; PICHAVANT, M.; CHAMPENOIS, M. 1997. Iron-titanium oxide minerals of the Jamon Granite, eastern Amazonian region, Brazil: implications for the oxygen fugacity in Proterozoic, A-type granites. *An. Acad. Bras. Ci.*, **69** (3):325-347.
- DALL'AGNOL, R.; SOUZA, Z. S.; ALTHOFF, F. J.; MACAMBIRA, M. J. B.; LEITE, A. A. S. 1996. Geology and geochemistry of the Archean Rio Maria Granite-Greenstone Terrain, Carajás Province, Amazonian Craton. In: SYMPOSIUM ON ARCHEAN TERRANES OF THE SOUTH AMERICA PLATAFORM. Brasília, 1996. Extended abstracts....Brasília, SBG. p.29-30.
- DIAS. S. B. & DALL'AGNOL. R. 2004. Estudo de suscetibilidade magnética do Granodiorito Rio Maria e Rochas máficas associadas, leste de Bannach, SE do Pará. In: XV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, PROPESP/UFGA, p. 84
- DOCEGEO (Rio Doce Geologia e Mineração - Distrito Amazônia). 1988. Revisão Litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás, Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, **35**, Belém. *Anexos...*, vol. Província Mineral de Carajás - Litoestratigrafia e Principais Depósitos Minerais. p. 11-54.

- FERREIRA, M. S. & BARROS, C. E. M. 2001. Suscetibilidade magnética de rochas graníticas arqueanas da Província Mineral de Carajás. In: XII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPA, Belém-PA. p.170.
- FERREIRA, M. S.; BARROS, C. E. M.; FIGUEIREDO, M. A. B. M. 2002b. Suscetibilidade magnética de rochas graníticas arqueanas da Província Mineral de Carajás. In: XII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPA, Belém-Pa. Revista virtual de iniciação Acadêmica, PROPESP/UFPA.
- FERREIRA, M. S.; BARROS, C. E. M.; SARDINHA, A. S.; FIGUEIREDO, M. A. B. M. 2002a. Suscetibilidade magnética de rochas graníticas arqueanas da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41, João Pessoa. *Anais*. SBG-NE, p. 444.
- FIGUEIREDO, M. A. B. M. 1997. *Comportamento Magnético e Natureza dos Minerais Opacos de Granitóides Arqueanos da Região de Rio Maria, Sudeste do Pará*. Belém, UFPA, 55p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- FIGUEIREDO, M. A. B. M. 1999. *Minerais óxidos de Fe e Ti e Suscetibilidade Magnética em vulcânicas e granitóides Proterozóicos de Vila Riozinho, Província Aurífera do Tapajós - Pa*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 171p. (Dissertação de Mestrado).
- FIGUEIREDO, M. A. B. M. & MAGALHÃES, M. S. 1993. Suscetibilidade Magnética do Metatonalito Gnáissico Arco Verde e do Granito Garantã, Região de Marajoara, sudeste do estado do Pará: um estudo preliminar. In: SEMIN. INIC. CIENT. 4. *Resumos*. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências.
- FIGUEIREDO, M. A. B. M.; DALL'AGNOL, R.; LAMARÃO, C. N.; OLIVEIRA, D. C. 2003. Petrologia Magnética do Granito São Jorge Antigo, Província Aurífera do Tapajós. *Revista Brasileira de Geociências*, **33 (2)**:149-158.
- FROST, B. R. 1991. 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).
- GOMES, A. C. B. 2003. *Geologia, Petrografia e Geoquímica dos Granitóides Arqueanos da Região de Canaã dos Carajás – SE do estado do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 160p. (Dissertação de Mestrado).

- GOMES, A. C. B. & DALL'AGNOL, R. 2003. Geoquímica dos Granitóides da Região à Leste de Canaã dos Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9., Belém, *Resumos Expandidos*. p. 781-783.
- GOMES, A. C. B. & DALL'AGNOL, R. 2004. Nova Associação Tonalítica-Trondhjemítica na região de Canaã dos Carajás: TTGs com alto conteúdos de Ti, Zr e Y. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, Araxá. *Resumos*, SBG. CD-ROM.
- GOMES, A. C. B. & DALL'AGNOL, R. Nova Associação Tonalítica-Trondhjemítica Neoarqueana na Região de Canaã dos Carajás: TTGS com Altos conteúdos de Ti, Zr e Y. *Revista Brasileira de Geociências*. no prelo.
- GOMES, A. C. B.; DALL'AGNOL, R.; OLIVEIRA, M. A. 2004. Granitos Arqueanos Cálcico-Alcalinos e do Tipo-A da Região a Leste de Canaã dos Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, Araxá. *Resumos*, SBG. CD-ROM.
- HAGGERTY, S. E. 1979. The aeromagnetic mineralogy of igneous rocks. *Can. J. Earth Sci.* **16**: 1281-1293.
- HAGGERTY, S. E. 1981a. 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**).
- HAGGERTY, S. E. 1981b. Oxidation of opaque mineral oxides in basalts. In: RUMBLE III, D. Ed. *Oxide minerals*. 2nd ed. Washington, Mineralogical Society of America. Hg 1-Hg 99. (Reviews in Mineralogy, **3**).
- HAGGERTY, S. E. 1991. Oxide Textures – a mini-atlas. In: LINDSLEY, D.H. ed. *Oxide minerals: Petrologic and magnétic significance*. Mineralogical Society of America. p. 126-219. (Reviews in Mineralogy, 25).
- HUHN, S. R. B.; MACAMBIRA, J. B. M.; DALL'AGNOL, R. 1999. Geologia e Geocronologia Pb-Pb do Granito Alcalino Arqueano Planalto, Região de Serra do Rabo Carajás- PA. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, Manaus. *Boletim de resumos expandidos*, p. 463-466.
- ISHIHARA, S. 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, **27**: 293-305.

- ISHIHARA, S. 1981. The granitoid series and mineralization. In: SKINNER, B. J. Ed. *Economic Geology*, 75th anniversary Volume, p. 458-484.
- LAPOINTE, P.; MORRIS, W. A.; HARDING, K. L. 1986. Interpretation of magnetic susceptibility: a new approach to geophysical evaluation of the degree of rocks alteration. *Can. J. Earth Sci.*, **23**: 393-401.
- LEITE, A. A. S. 2001. *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. Belém, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 330p. (Tese Doutorado).
- LEITE, A. A. S.; FIGUEIREDO, M. A. B. M.; DALL'AGNOL, R. 1997. Comportamento magnético e natureza dos minerais opacos do Maciço Granítico Arqueano Xinguara, sudeste do Pará. In: COSTA, M.L.; ANGÉLICA, R. S. (Coord.). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém: FINEP/SBG. Núcleo Norte. P. 205-222.
- LIMA, F. D. 2002. *Evolução tectônica da terminação leste da Falha Carajás, sul do Estado do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, 98p. (Dissertação de Mestrado).
- LIMA, F. D. & PINHEIRO, R. V. L. 2001. Formação Gorotire: considerações sobre uma unidade siliciclástica particular da Serra dos Carajás - PA. In: Reis, N. J. & Monteiro, M. A. S. (eds.) *Contribuições à Geologia da Amazônia*, 2, SBG, pp.: 201-224.
- MACAMBIRA, M. J. B. & LAFON, J. M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Série Ciências da Terra, **7**: 263-288.
- MACAMBIRA, M. J. B. & LANCELOT, J. 1996. Time Constraints for the Formation of the Archean Rio Maria Crust, Southeastern Amazonian Craton, Brazil. *International Geology Review*, **38**: 1134-1142.
- MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z. G.; KROGH, T. E.; LINDENMAYER, D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**:329-354.

- MAGALHÃES, M. S. 1991. *Minerais opacos e suscetibilidade magnética de granitóides da Amazônia Oriental: Implicações Petroológicas*. Belém, UFPA. 274 p. (Dissertação de Mestrado).
- MAGALHÃES, M. S. & DALL'AGNOL, R. 1992. 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*, **22**: 184-197p.
- MAGALHÃES, M. S.; DALL'AGNOL, R.; SAUCK, W. A.; GOUVEA, L. J. 1994. Suscetibilidade magnética: um indicador da evolução petrológica de granitóides da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, **24 (3)**:139-149.
- NASCIMENTO, F. G. C. DO. 2003. *Estudo de suscetibilidade magnética e caracterização dos minerais óxidos de Fe e Ti, das rochas granitóides arqueanas da região de Canaã dos Carajás-Pa*. Belém, UFPA. 61p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- NOGUEIRA, A. C. R. 1995. *Análise Faciológica e Aspectos Texturais da Formação Águas Claras, região Central da Serra dos Carajás- PA*. Belém, UFPA, Centro de Geociências. 167 p. (Dissertação de Mestrado)
- OLIVEIRA, D. C.; DALL'AGNOL, R.; BARROS, C. E. M.; FIGUEIREDO, M. A. B. M. 2002. Petrologia Magnética do Granito Redenção, SE do Cráton Amazônico. *Contribuições a Geologia da Amazônia*, **3**: 115-132.
- OLIVEIRA, J. K. M. 2002. *Caracterização estrutural da borda sudeste do Sistema Transcorrente Carajás com ênfase nas rochas do Terreno Granítico-Gnáissico*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 138p. (Dissertação de Mestrado).
- OLIVEIRA, M. A. DE. 2003. *Caracterização Petrográfica, Estudo de Suscetibilidade Magnética e Minerais Óxidos de Fe e Ti do Granito Planalto, Vila Planalto-PA*. Belém, UFPA. 47p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- OLIVEIRA, M. A. DE.; DALL'AGNOL, R.; FIGUEIREDO, M. A. B. M. 2001. Estudo de Suscetibilidade Magnética e minerais opacos dos diques da região de Rio Maria, SE do Pará, 47p. XI SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, UFPA, p. 145.

- PAIVA JUNIOR, A. L. & DALL'AGNOL, R. 2005. Estudo de suscetibilidade magnética (SM) e minerais óxidos de Fe e Ti do Granito Santa Rosa, região de São Félix do Xingu, Província Mineral de Carajás. XVI SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, UFGA, p. 145.
- PIDGEON, R. T.; MACAMBIRA, M. B.; LAFON, J. M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an anderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulites facies metamorphism and the protolith of the enderbite, *Chem. Geol.*, **166**: 159-171.
- PINHEIRO, R. V. L. 1997. *Reactivation history of the Carajás and Cinzento Strike slip Systems, Amazon, Brazil*. Durhan, University of Durhan. 408p. (Tese de Doutorado).
- REED, S. J. B. 1996. Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology, Cambridge University Press, p. 201.
- ROLANDO, A.P. & MACAMBIRA, M.J.B. 2002. Geocronologia dos granitóides arqueanos de região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do Cráton Amazônico, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41, João Pessoa. *Boletim de Resumos Expandidos*. João Pessoa, SBG, p. 525.
- ROLANDO, A.P. & MACAMBIRA, M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range área, SSE of Amazonian Craton, Brazil, based in zircon ages and Nd isotopes. *Simpósio de Geologia Isotópica Sulamericano (4)*. (Aceito)
- SARDINHA, A. S. 2002. *Geologia, geoquímica e geocronologia do Granito Serra do Rabo, Província Mineral de Carajás*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 116p. (Dissertação de Mestrado).
- SARDINHA, A. S. 2005. *Geocronologia das séries magmáticas e evolução crustal da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás- PA*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. p. 69. (Exame de Qualificação ao Doutorado).
- SARDINHA, A. S. & BARROS, C. E. M. 2002. Geologia, geoquímica e geocronologia do Granito Serra do Rabo, Província Mineral de Carajás. In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41, João Pessoa. *Anais*. p. 472.

- SARDINHA, A. S.; DALL'AGNOL, R.; GOMES, A. C. B.; MACAMBIRA, M. J. B.; GALARZA, M. A. 2004. Geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão de granitóides arqueanos da região de Canaã dos Carajás, Província Mineral de Carajás. In: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42, Araxá. *Resumos*, SBG. CD ROM.
- SOARES, C.M. 1996. *Estudo das relações de contato do Granodiorito Rio Maria com os Granitos Jamon e Musa e com diques proterozóicos*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 65p. (Trabalho de Conclusão de Curso).
- SOARES, J.E.B. 1997. *Petrografia, suscetibilidade magnética e química mineral dos Metagabros de Águas Claras, Serra dos Carajás-Pará*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. p. 165. (Dissertação de Mestrado).
- SOARES, J.E.B. 2002. *Geologia, petrografia e geoquímica das rochas granitóides arqueanas da região de Serra Dourada, Canaã dos Carajás-PA*. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. p. 70. (Exame de Qualificação ao Doutorado).
- SOUZA, Z.S.; DALL'AGNOL, R.; ALTHOFF, F.J.; LEITE, A.A.S.; BARROS, C.E.M. 1996. Carajás Mineral Province: geological, geochronological and tectonic contrast on the Archean evolution of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain and the Carajás Block. In: SYMPOSIUM ON ARCHEAN TERRANES OF SOUTH AMERICA PLATAFORM, Brasilia, 1996, *Extended abstracts...* SBG. p. 31-32.
- TARLING, D.H. 1971. *The commoner magnetic minerals and their identification. Principles and applications of paleomagnetism*. London, Chapman and Hall. 164p.
- WONES, D. R. 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *Am. Mineral.* **74**:744-749.

ANEXO I

ANÁLISES SEMI - QUANTITATIVAS EDS (MEV) DE MINERAIS DAS ROCHAS
ESTUDADAS

TONALITO- Figura 12

AER- 4A espec 1

Magnetita

Componen Type		Mole Conc.	Conc.elementos	Conc. Oxido recalculada	
O	Calc	11,913	3,732		
Fe	Calc	87,508	95,69	123,105185	99,46045179
Mn	Calc	0,002	0,002	0,0025824	0,0020864
Cr	Calc	0,431	0,439	0,439	0,354681554
Ti	Calc	0,145	0,136	0,2268616	0,183288439
		100	100	123,773629	100,0005082

AER- 4A espec 2

Magnetita

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	12,087	3,791		
Fe	Calc	87,393	95,682	123,094893	99,06953908
Mn	Calc	0,037	0,04	0,051648	0,041567472
Cr	Calc	0,407	0,414	0,414	0,333196514
Ti	Calc	0,077	0,073	0,6905934	0,555805104
		100	100	124,2511344	100,0001082

AER- 4A espec 3

Anfibólio

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	24,564	13,025		
Si	Calc	28,666	26,683	57,0802736	39,25230737
Al	Calc	13,344	11,932	22,187554	15,25768246
Fe	Calc	12,558	23,243	29,9021195	20,56274631
Mn	Calc	0,072	0,13	0,167856	0,115429287
Ti	Calc	0,131	0,207	0,3452967	0,237449671
Ca	Calc	15,555	20,662	28,9102704	19,88068291
Mg	Calc	5,11	4,117	6,8255743	4,693732589
		100	100	145,4189445	100,0000306

AER- 4A espec 4

Biotita

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	16,517	7,971		
Si	Calc	28,781	24,381	52,1558352	36,05707317
Al	Calc	10,546	8,583	15,9600885	11,03374295
Fe	Calc	19,04	32,071	41,2593415	28,52396265
Mn	Calc	0,089	0,148	0,1910976	0,132112162
Cr	Calc	0,122	0,191	0,191	0,132044688
Ti	Calc	1,935	2,794	4,6606714	3,22207801
Mg	Calc	6,476	4,748	7,8717092	5,441975831
K	Calc	13,444	15,854	19,0977284	13,20289835
Cl	Calc	3,049	3,261	3,261	2,254438361
		100	100	144,6484718	100,0003262

TONALITO- Figura 13

AER-08 espec 1

Magnetita

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	38,451	15,182		
Fe	Calc	61,523	84,788	109,079762	99,95304909
Ti	Calc	0,026	0,031	0,0517111	0,047384428
		100	100	109,1314731	100,0004335

AER-08 espec 2

Escapolita (?)

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	50,138	34,951		
Si	Calc	26,24	32,11	68,689712	58,64850198
Al	Calc	9,475	11,138	21,045251	17,96881089
Fe	Calc	1,899	4,62	5,94363	5,074777367
Ti	Calc	0,017	0,036	0,0600516	0,051273128
Ca	Calc	3,353	5,856	8,1937152	6,995940267
K	Calc	0,623	1,062	1,2792852	1,092276535
Mg	Calc	0,159	0,168	0,2785272	0,237811494
Na	Calc	4,506	4,514	6,084872	5,195372307
Cl	Calc	3,59	5,546	5,546	4,735273777
		100	100	117,1210442	100,0000377

AER-08 espec 3

Escapolita (?)

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	56,661	41,346		
Si	Calc	26,174	33,527	71,7209584	68,10583269
Al	Calc	2,775	3,415	6,4526425	6,127400103
Fe	Calc	0,633	1,612	2,073838	1,969307175
Ca	Calc	3,751	6,856	9,5929152	9,10938884
K	Calc	0,72	1,283	1,5455018	1,467601512
Na	Calc	5,375	5,636	7,597328	7,214388271
Cl	Calc	3,912	6,325	6,325	6,006191362
		100	100	105,3081839	100,00011

AER-08 espec 4

Escapolita (?)

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	51,571	37,014		
Si	Calc	26,293	33,126	70,8631392	61,36346169
Al	Calc	9,635	11,661	21,980985	19,03428703
Ca	Calc	3,534	6,353	8,8891176	7,697471965
Mg	Calc	0,128	0,14	0,232106	0,200990639
Na	Calc	4,396	4,534	6,111832	5,292500065
K	Calc	0,648	1,137	1,3696302	1,186022116

Cl	Calc	3,795	6,035	6,035	5,225967908
		100	100	115,48181	100,0007014

TONALITO - Figura 14

AER-08 espec 1

Ilmenita I

Componen	Type	Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	43,758	19,401		
Fe	Calc	26,83	41,521	53,4167665	45,48275476
Mn	Calc	1,471	2,239	2,8909968	2,461595995
Ti	Calc	26,894	35,675	59,5094675	50,67050467
Ca	Calc	1,047	1,163	1,6272696	1,385570655
		100	100	117,4445004	100,0004261

AER-08 espec 2

Rutilo

Componen	Type	Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	54,392	28,524		
Ti	Calc	45,289	71,056	118,5285136	99,5084655
Ca	Calc	0,319	0,419	0,5862648	0,492187988
		100	100	119,1147784	100,0006535

AER-08 espec 3

Titanita

Componen	Type	Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	52,247	31,26		
Si	Calc	15,208	15,973	34,1694416	29,77417752
Al	Calc	1,037	1,046	1,97171	1,718086126
Fe	Calc	0,975	2,037	2,6206005	2,283508914
Ti	Calc	13,468	24,108	40,2145548	35,04169917
Ca	Calc	17,064	25,576	35,7859392	31,18274272
		100	100	114,7622461	100,0002144

AER-08 espec 4

Ilmenita I

Componen	Type	Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	44,277	19,692		
Fe	Calc	26,906	41,769	53,7358185	45,90607786
Mn	Calc	1,454	2,22	2,866464	2,448797157
Ti	Calc	26,937	35,843	59,7897083	51,07786726
Ca	Calc	0,426	0,475	0,6645725	0,567738945
		100	100	117,0565633	100,0004812

AER-08 espec 5

Quartzo

TONALITO - Figura 15

AER- 3 espec 1

Pirita		Mole	Conc.
Componen Type		Conc.	
S	Calc	66,978	53,803
Fe	Calc	33,022	46,197
		100	100

AER-03 espec 2 Calcopirita		Mole	Conc.
Componen Type		Conc.	
S	Calc	50,259	35,174
Fe	Calc	24,761	30,179
Cu	Calc	24,981	34,646
		100	100

Bt-GRANITO Figura - 17

AER- 53 espec 1
Ilmenita I

Componen Type		Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	12,235	4,108		
Fe	Calc	44,916	52,647	67,7303655	48,63416185
Mn	Calc	1,274	1,469	1,8967728	1,361988152
Cr	Calc	0,064	0,07	0,07	0,050263885
Ti	Calc	41,511	41,705	69,5681105	49,95376477
		100	100	139,2652488	100,0001787

AER- 53 espec 2
Magnetita

Componen Type		Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	9,947	3,068		
Fe	Calc	89,907	96,792	124,522908	99,8355686
Mn	Calc	0,029	0,03	0,038736	0,031056379
Cr	Calc	0,022	0,023	0,022	0,017638381
Ti	Calc	0,094	0,087	0,1451247	0,116352944
		100	100	124,7287687	100,0006163

AER- 53 espec 3
Biotita

Componen Type		Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	15,737	7,579		
Si	Calc	29,458	24,904	53,2746368	36,46574955
Al	Calc	9,523	7,734	14,590191	9,986783257
Fe	Calc	19,038	32,003	41,1718595	28,18156645
Mn	Calc	0,047	0,078	0,1007136	0,068937062
Ti	Calc	2,664	3,838	6,4021678	4,38219501
Mg	Calc	7,907	5,785	9,5909515	6,564873199
K	Calc	12,778	15,039	18,1159794	12,40013649
Cl	Calc	2,849	3,04	2,849	1,950100962

100 100 146,0954996 100,000342

AER- 53 espec 4

Anfibólio (Fe-Hainstingsita)

Componen	Type	Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	16,249	7,633		
Si	Calc	29,203	24,08	51,511936	35,87007319
Al	Calc	7,733	6,126	11,556699	8,047448244
Fe	Calc	20,706	33,948	43,674102	30,41223757
Mn	Calc	0,101	0,164	0,2117568	0,147455765
Ti	Calc	0,435	0,612	1,0208772	0,710882617
Ca	Calc	12,151	14,298	20,0043318	13,92991414
Mg	Calc	3,627	2,588	4,2906452	2,987768841
K	Calc	3,339	3,833	4,6172318	3,21518575
Cl	Calc	6,456	6,72	6,72	4,679437632
		100	100	143,6075798	100,0004037

BT-GRANITO Figura 18

AER- 59 espec 1

Magnetita

Componen	Type	Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	10,353	3,203		
Fe	Calc	89,506	96,659	124,3518035	99,84808497
Mn	Calc	0,034	0,036	0,0464832	0,037323612
Cr	Calc	0,04	0,04	0,04	0,032117937
Ti	Calc	0,067	0,062	0,1034222	0,083042693
		100	100	124,5417089	100,0005692

AER- 59 espec 2

Ilmenita P

Componen	Type	Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	11,718	3,971		
Si	Calc	1,587	0,944	2,0194048	1,437278331
Al	Calc	0	0	0	0
Fe	Calc	41,41	48,982	63,015343	44,8501395
Mn	Calc	2,561	2,98	3,847776	2,738591621
Cr	Calc	0,053	0,058	0,058	0,041280551
Ti	Calc	41,47	42,045	70,1352645	49,91762715
Ca	Calc	1,201	1,02	1,427082	1,015702268
		100	100	140,5028703	100,0006194

AER- 59 espec 3

Magnetita

Componen	Type	Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	10,071	3,109		
Fe	Calc	89,768	96,729	124,4418585	99,83622298
Mn	Calc	0,057	0,061	0,0787632	0,063189513
Cr	Calc	0,061	0,061	0,061	0,048938594

Ti	Calc	0,043 100	0,039 100	0,0650559 124,6466776	0,052192529 100,0005436
----	------	--------------	--------------	--------------------------	----------------------------

AER- 59 espec 4
Ilmenita P

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	11,792	3,955		
Fe	Calc	43,009	50,349	64,7739885	46,27903497
Mn	Calc	2,28	2,626	3,3906912	2,422545226
Cr	Calc	0,061	0,067	0,067	0,047869452
Ti	Calc	42,857 100	43,003 100	71,7333043 139,964984	51,25125339 100,000703

BT-GRANITO Figura 19

AER- 59 espec 1
Hematita

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	11,061	3,443		
Fe	Calc	88,363	96,013	123,5207245	99,29478328
Mn	Calc	0,044	0,047	0,0606864	0,048784064
Cr	Calc	0,018	0,018	0,018	0,014469686
Ti	Calc	0,514 100	0,479 100	0,7990199 124,3984308	0,642309281 100,0003463

AER- 59 espec 2
Ilmenita I

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	11,507	3,841		
Fe	Calc	45,26	52,736	67,844864	48,61793088
Mn	Calc	1,644	1,885	2,433912	1,744152149
Cr	Calc	0,031	0,034	0,034	0,024364551
Ti	Calc	41,558 100	41,505 100	69,2344905 139,5472665	49,6137434 100,000191

AER- 59 espec 3
Rutilo

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	21,914	8,55		
Fe	Calc	1,558	2,121	2,7286665	2,136494359
Ti	Calc	76,528 100	89,329 100	124,9891368 127,7178033	97,86413461 100,000629

AER- 59 espec 4
Rutilo

Componen Type		Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	20,459	8,096		
Si	Calc	3,423	2,378	5,0870176	3,911946969

Al	Calc	0,08	0,054	0,10179	0,078277119
Fe	Calc	2,191	3,026	3,892949	2,993701072
Ti	Calc	68,772	81,416	113,9172672	87,60306003
Ca	Calc	5,075	5,031	7,0393752	5,413321644
		100	100	130,038399	100,0003068

AER- 59 espec 5

Titanita

Componen	Type	Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	19,323	8,49		
Si	Calc	17,964	13,856	29,6407552	19,53983361
Al	Calc	0,284	0,211	0,3986845	0,262821535
Fe	Calc	1,269	1,946	2,503529	1,65038103
Ti	Calc	38,235	50,263	83,8437103	55,27160619
Ca	Calc	22,925	25,234	35,3074128	23,27541814
		100	100	151,6940918	100,0000605

AER- 59 espec 6

Clorita

Componen	Type	Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	20,274	9,082		
Si	Calc	25,626	20,153	43,1112976	30,62556216
Al	Calc	4,539	3,43	6,480985	4,603985963
Fe	Calc	34,791	54,403	69,9894595	49,71936968
Ti	Calc	3,669	4,918	8,2037158	5,827785805
Mg	Calc	10,059	6,845	11,3483255	8,06166521
Ca	Calc	1,042	1,169	1,6356648	1,161949577
		100	100	140,7694482	100,0003184

AER- 59 espec 7

Ilmeno-hematita

Componen	Type	Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	13,96	4,545		
Fe	Calc	71,689	81,466	104,806009	81,8144986
Mn	Calc	0,06	0,067	0,0865104	0,067532435
Cr	Calc	0,021	0,022	0,022	0,017173815
Ti	Calc	14,271	13,901	23,1882581	18,10140209
		100	100	128,1027775	100,0006069

AER- 59 espec 8

Ilmenita I

Componen	Type	Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	13,147	4,442		
Fe	Calc	44,587	52,586	67,651889	48,81335205
Mn	Calc	1,609	1,867	2,4106704	1,739388281
Cr	Calc	0,05	0,055	0,055	0,039684544
Ti	Calc	40,607	41,05	68,475505	49,4076216
		100	100	138,5930644	100,0000465

BT-GRANITO - Figura 20

AER-53 espec 1

Ilmenita C

Componen	Type	Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	12,762	4,307		
Fe	Calc	43,873	51,682	66,488893	47,76020587
Mn	Calc	1,485	1,721	2,2221552	1,596215323
Cr	Calc	0,055	0,06	0,06	0,043099114
Ti	Calc	41,825	42,23	70,443863	50,60113423
		100	100	139,2149112	100,0006545

AER- 53 espec 2

Ilmenita P

Componen	Type	Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	13,358	4,531		
Fe	Calc	43,33	51,301	65,9987365	47,47427456
Mn	Calc	1,401	1,632	2,1072384	1,515780751
Cr	Calc	0,054	0,059	0,059	0,042439937
Ti	Calc	41,857	42,477	70,8558837	50,96812236
		100	100	139,0208586	100,0006176

AER- 53 espec 3

Magnetita

Componen	Type	Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	9,944	3,068		
Fe	Calc	89,73	96,62	124,30163	99,63978645
Mn	Calc	0,037	0,039	0,0503568	0,040365849
Cr	Calc	0,084	0,084	0,084	0,06733413
Ti	Calc	0,205	0,189	0,3152709	0,252720139
		100	100	124,7512577	100,0002066

AER- 53 espec 4

Biotita

Componen	Type	Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	18,161	8,864		
Si	Calc	29,272	25,079	53,6489968	37,03327659
Al	Calc	9,204	7,575	14,3129625	9,880071031
Fe	Calc	18,079	30,799	39,6229135	27,35123493
Mn	Calc	0,104	0,174	0,2246688	0,155086252
Ti	Calc	2,999	4,38	7,306278	5,043438464
Mg	Calc	6,89	5,108	8,4685532	5,845743475
K	Calc	13,364	15,938	19,1989148	13,2527869
Cl	Calc	1,927	2,084	2,084	1,438560887
		100	100	144,8672876	100,0001985

AER- 53 espec 5

Ilmenita T e P

Componen Type		Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	12,839	4,329		
Fe	Calc	44,592	52,485	67,5219525	48,63537668
Mn	Calc	1,596	1,848	2,3861376	1,718710681
Cr	Calc	0,041	0,045	0,045	0,032413043
Ti	Calc	40,931	41,293	68,8808533	49,61417912
		100	100	138,8339434	100,0006795

BT-GRANITO - Figura 21

AER-47 espec 1

Magnetita

Componen Type		Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	9,49	2,917		
Fe	Calc	90,215	96,8	128,65	99,6582448
Mn	Calc	0,057	0,06	0,077472	0,060013397
Cr	Calc	0,032	0,032	0,0467648	0,036226179
Ti	Calc	0,207	0,19	0,316939	0,24551562
		100	100	129,0911758	100

AER-47 espec 2

Ilmenita S

Componen Type		Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	12,218	4,111		
Fe	Calc	34,544	40,571	52,1945915	37,43563484
Mn	Calc	11,565	13,362	17,2530144	12,37441521
Cr	Calc	0,035	0,038	0,0555332	0,039830192
Ti	Calc	41,638	41,917	69,9217477	50,15011976
		100	100	139,4248868	100

AER- 47 espec 3

Ilmenita T

Componen Type		Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	11,122	3,711		
Fe	Calc	35,124	40,906	52,625569	37,59998009
Mn	Calc	11,674	13,375	17,2698	12,33894756
Cr	Calc	0,039	0,043	0,0628402	0,044898142
Ti	Calc	42,04	41,966	70,0034846	50,01617421
		100	100	139,9616938	100

AER- 47 espec 4

Biotita

Componen Type		Mole	Conc.		
		Conc.			
O	Calc	19,28	9,47		
Si	Calc	28,651	24,704	52,8467968	36,33240501
Al	Calc	10,332	8,558	16,17462	11,12012232
Fe	Calc	18,675	32,016	41,188584	28,31733249
Mn	Calc	0,29	0,489	0,6313968	0,434088074

Ti	Calc	2,444	3,592	5,9918152	4,119399279
Mg	Calc	6,671	4,978	8,2530262	5,673991777
K	Calc	11,877	14,256	17,1727776	11,80636006
Cl	Calc	1,78	1,938	3,1945992	2,196300987
		100	100	145,4536158	100

AER- 47 espec 5

Rutilo

Componen	Type	Mole Conc.	Conc.		
O	Calc	22,13	8,584		
Fe	Calc	6,178	8,364	10,760286	7,216623576
Ti	Calc	70,94	82,321	137,3196601	92,0964644
Ca	Calc	0,753	0,732	1,0242144	0,686912019
		100	100	149,1041605	100

BT-GRANITO Figura 22

AER-30B espec 1

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,716 wt. %		0,116	
Ti	0,168 wt. %		0,015	0,2802408 0,223785426
Cr	0,035 wt. %		0,006	0,051149 0,040844876
Mn	0,016 wt. %		0,004	0,0206592 0,01649734
Fe	97,066 wt. %		0,553	124,875409 99,71887236
	100 wt. %			125,227458 100

AER-30B espec 2

Ilmenita C

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	3,874 wt. %		0,257	
Ti	41 wt. %		0,276	68,3921 49,08782439
Cr	0,026 wt. %		0,008	0,0379964 0,02727158
Mn	2,348 wt. %		0,082	3,0317376 2,176002826
Fe	52,751 wt. %		0,43	67,8641615 48,7089012
	100 wt. %			139,3259955 100

AER-30B espec 3

Biotita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	7,634 wt. %		0,384	
Mg	4,759 wt. %		0,117	7,8899461 5,332113037
Al	9,218 wt. %		1,479	17,42202 11,77399425
Si	24,54 wt. %		0,247	52,495968 35,47735711
Cl	2,73 wt. %		0,081	4,500132 3,041239091
K	16,638 wt. %		0,202	20,0421348 13,54469687
Ti	3,301 wt. %		0,104	5,5063981 3,721284877
Mn	0,144 wt. %		0,025	0,1859328 0,125655447
Fe	31,036 wt. %		0,405	39,927814 26,98365932

	100 wt. %		147,9703458	100
AER-30B espec 4				
Biotita				
Elt.	Conc	Error		
		2-sig		
O	7,288 wt. %	0,381		
Mg	4,643 wt. %	0,118	7,6976297	5,208483449
Al	8,231 wt. %	1,419	15,55659	10,52612878
Si	24,454 wt. %	0,249	52,3119968	35,39611285
Cl	2,588 wt. %	0,08	4,2660592	2,886563735
K	16,836 wt. %	0,205	20,2806456	13,72258878
Ti	3,714 wt. %	0,111	6,1953234	4,19197086
Mn	0,017 wt. %	0,009	0,0219504	0,014852403
Fe	32,227 wt. %	0,417	41,4600355	28,05329915
	100 wt. %		147,7902306	100

BT-GRANITO Figura 22b

AER-30B espec 1

Rutilo

Elt.	Conc	Error		
		2-sig		
O	6,996 wt. %	0,556		
Ti	91,24 wt. %	0,435	152,197444	98,53082633
Fe	1,764 wt. %	0,085	2,269386	1,469173673
	100 wt. %		154,46683	100

AER-30B espec 2

Hematita

Elt.	Conc	Error		
		2-sig		
O	2,972 wt. %	0,123		
Ti	2,065 wt. %	0,054	3,4446265	2,742000232
Cr	0,064 wt. %	0,009	0,0935296	0,074451667
Mn	0,033 wt. %	0,007	0,0426096	0,033918201
Fe	94,865 wt. %	0,537	122,0438225	97,1496299
	100 wt. %		125,6245882	100

AER-30B espec 3

Rutilo

Elt.	Conc	Error		
		2-sig		
O	6,776 wt. %	0,502		
Ti	81,308 wt. %	0,405	135,6298748	89,83675466
Cr	0,092 wt. %	0,017	0,1344488	0,08905445
Mn	0,08 wt. %	0,017	0,103296	0,068419863
Fe	11,742 wt. %	0,214	15,106083	10,00577103
	100 wt. %		150,9737026	100

AER-30B espec 4

Hematita

Elt.	Conc	Error		
------	------	-------	--	--

		2-sig		
O	2,82 wt. %	0,115		
Ti	0,457 wt. %	0,024	0,7623217	0,60885579
Cr	0,059 wt. %	0,008	0,0862226	0,068864797
Mn	0,028 wt. %	0,006	0,0361536	0,02887538
Fe	96,635 wt. %	0,535	124,3209275	99,29340403
	100 wt. %		125,2056254	100

GRANITO FOLIADO Figura 24

AER-14 espec 1

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,227 wt. %	0,108		
Ti	0,027 wt. %	0,006	0,0450387	0,035801545
Cr	0,039 wt. %	0,006	0,0569946	0,045305365
Mn	0,041 wt. %	0,007	0,0529392	0,042081702
Fe	97,665 wt. %	0,571	125,6460225	99,87681139
	100 wt. %		125,800995	100

AER-14 espec 2

Allanita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	8,073 wt. %	0,439		
Al	7,561 wt. %	1,436	14,29029	9,87063083
Si	23,881 wt. %	0,257	51,0862352	35,28643353
Ca	27,307 wt. %	0,269	38,2079544	26,39110981
Fe	20,147 wt. %	0,343	25,9191155	17,90292713
La	5,251 wt. %	0,276	6,1583728	4,25372924
Ce	7,781 wt. %	0,339	9,1138853	6,295169463
	100 wt. %		144,7758532	100

Apatita espec 3

AER-14 espec 4

Biotita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	7,02 wt. %	0,437		
Mg	4,91 wt. %	0,146	8,140289	5,440644559
Al	9,886 wt. %	6,712	18,68454	12,48800146
Si	25,686 wt. %	0,277	54,9474912	36,72471199
Cl	0,294 wt. %	0,091	0,4825716	0,322531614
K	17,155 wt. %	0,235	20,664913	13,8116038
Ti	4,21 wt. %	0,159	7,022701	4,693693306
Mn	0,377 wt. %	0,132	0,4867824	0,325345945
Fe	30,463 wt. %	0,446	39,1906495	26,19346733
	100 wt. %		149,6199377	100

GRANITO FOLIADO Figura 25

AER-14A espec 1

Magnetita					
Elt.	Conc	Error	2-sig		
O	2,344 wt. %	0,119			
Ti	0,048 wt. %	0,009	0,0810288	0,064483134	
Cr	0,036 wt. %	0,007	0,0526104	0,041867626	
Mn	0,037 wt. %	0,007	0,0477744	0,038019112	
Fe	97,534 wt. %	0,614	125,477491	99,85563013	
	100 wt. %		125,6589046	100	

AER-14A espec 2 Hematita					
Elt.	Conc	Error	2-sig		
O	2,723 wt. %	0,135			
Ti	0,068 wt. %	0,011	0,1134308	0,090611803	
Cr	0,051 wt. %	0,008	0,0745314	0,059537837	
Mn	0,05 wt. %	0,009	0,06456	0,051572395	
Fe	97,109 wt. %	0,647	124,9307285	99,79827797	
	100 wt. %		125,1832507	100	

GRANITO FOLIADO Figura 26

AER-16A espec 1 Magnetita					
Elt.	Conc	Error	2-sig		
O	2,484 wt. %	0,11			
Ti	0,04 wt. %	0,007	0,066724	0,053166615	
Cr	0,18 wt. %	0,014	0,263052	0,209603509	
Mn	0,003 wt. %	0,002	0,0038736	0,003086539	
Fe	97,292 wt. %	0,55	125,166158	99,73414334	
	100 wt. %		125,4998076	100	

AER-16A espec 2 Martita					
Elt.	Conc	Error	2-sig		
O	2,672 wt. %	0,115			
Ti	0,047 wt. %	0,008	0,0784007	0,062588552	
Cr	0,19 wt. %	0,014	0,277666	0,221665276	
Mn	0,001 wt. %	0,001	0,0012912	0,001030786	
Fe	97,09 wt. %	0,557	124,906285	99,71471539	
	100 wt. %		125,2636429	100	

AER-16A espec 3 Epidoto					
Elt.	Conc	Error	2-sig		
O	7,507 wt. %	0,426			
Al	9,96 wt. %	1,438	18,8244	12,60149135	
Si	24,447 wt. %	0,233	52,2970224	35,00884361	

Ca	31,04 wt. %	0,265	43,431168	29,07383439
Cr	0,199 wt. %	0,027	0,2908186	0,194680737
Mn	0,052 wt. %	0,015	0,0671424	0,044946685
Fe	26,795 wt. %	0,365	34,4717675	23,07620323
	100 wt. %		149,3823189	100

GRANITO FOLIADO Figura 27

AER-16A espec 1

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,295 wt. %	0,101		
Ti	0,042 wt. %	0,007	0,0700602	0,055727352
Cr	0,027 wt. %	0,005	0,0394578	0,031385561
Mn	0,016 wt. %	0,004	0,0206592	0,016432761
Fe	97,621 wt. %	0,527	125,5894165	99,89645433
	100 wt. %		125,7195937	100

AER-16A espec 2

Martita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,657 wt. %	0,111		
Ti	0,035 wt. %	0,006	0,0583835	0,046613612
Cr	0,027 wt. %	0,005	0,0394578	0,03150326
Mn	0,01 wt. %	0,003	0,012912	0,010308991
Fe	97,271 wt. %	0,536	125,1391415	99,91157414
	100 wt. %		125,2498948	100

AER-16A espec 3

Ilmenita alterada

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	4,169 wt. %	0,304		
Al	0,151 wt. %	0,174	0,28539	0,198215704
Si	2,941 wt. %	0,073	6,2913872	4,369640643
Ca	4,908 wt. %	0,082	6,8672736	4,769618667
Ti	45,934 wt. %	0,304	76,6225054	53,21764551
Cr	0,065 wt. %	0,013	0,094991	0,06597536
Mn	0,233 wt. %	0,027	0,3008496	0,208953065
Fe	41,599 wt. %	0,393	53,5171135	37,16995105
	100 wt. %		143,9795103	100

AER-16A espec 4

Rutilo

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,238 wt. %	0,434		
Ti	80,915 wt. %	0,4	134,9743115	88,33989163
Fe	13,848 wt. %	0,23	17,815452	11,66010837
	100 wt. %		152,7897635	100

AER-16A espec 5

Hematita Titanifera

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	3,096 wt. %	0,134		
Ti	6,047 wt. %	0,093	10,0870007	7,943547099
Cr	0,051 wt. %	0,009	0,0745314	0,058693729
Mn	0,028 wt. %	0,007	0,0361536	0,028471082
Fe	90,778 wt. %	0,517	116,785897	91,96928809
	100 wt. %		126,9835827	100

GRANITO FOLIADO Figura 28

AER-16A espec 1

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,264 wt. %	0,092		
Ti	0,055 wt. %	0,007	0,0917455	0,072952569
Cr	0,019 wt. %	0,004	0,0277666	0,022078956
Mn	0,019 wt. %	0,004	0,0245328	0,019507559
Fe	97,642 wt. %	0,485	125,616433	99,88546092
	100 wt. %		125,7604779	100

AER-16A espec 2

Ilmenita alterada

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,978 wt. %	0,434		
Al	0,173 wt. %	0,16	0,32697	0,213524422
Si	7,279 wt. %	0,099	15,5712368	10,16863732
Ca	13,172 wt. %	0,126	18,4302624	12,03569482
Ti	63,874 wt. %	0,346	106,5482194	69,58022758
Mn	0,151 wt. %	0,021	0,1949712	0,127323953
Fe	9,373 wt. %	0,178	12,0583645	7,874591907
	100 wt. %		153,1300243	100

AER-16A espec 3

Rutilo

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,878 wt. %	0,452		
Ti	92,193 wt. %	0,386	153,7871433	98,41192965
Fe	1,929 wt. %	0,078	2,4816585	1,588070345
	100 wt. %		156,2688018	100

AER-16A espec 4

Hematita Titanifera

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,259 wt. %	0,099		
Ti	4,732 wt. %	0,072	7,8934492	6,188242616
Cr	0,034 wt. %	0,006	0,0496876	0,038953684

Mn	0,024 wt. %	0,005	0,0309888	0,024294349
Fe	92,951 wt. %	0,464	119,5814615	93,74850935
	100 wt. %		127,5555871	100

AER-16A espec 5

Feldspato Potássico

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	12,205 wt. %	0,548		
Al	10,381 wt. %	1,202	19,62009	12,62384035
Si	45,524 wt. %	0,277	97,3849408	62,65883313
K	31,891 wt. %	0,265	38,4158986	24,71732652
	100 wt. %		155,4209294	100

Quartzo espec 6

AER-16A espec 7

Plagioclásio

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	16,475 wt. %	0,604		
Na	2,862 wt. %	0,089	3,857976	2,325572603
Al	15,312 wt. %	1,637	28,93968	17,44472411
Si	56,293 wt. %	0,36	120,4219856	72,58989442
Ca	9,058 wt. %	0,164	12,6739536	7,639808869
	100 wt. %		165,8935952	100

GRANITO FOLIADO Figura 29

AER-16A espec 1

Ilmenita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	3,253 wt. %	0,232		
Ca	0,526 wt. %	0,024	0,7359792	0,521077285
Ti	43,638 wt. %	0,273	72,7925478	51,5375206
Cr	0,058 wt. %	0,012	0,0847612	0,060011392
Mn	11,734 wt. %	0,179	15,1509408	10,72694867
Fe	40,791 wt. %	0,362	52,4776215	37,15444205
	100 wt. %		141,2418505	100

AER-16A espec 2

Rutilo

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	6,409 wt. %	0,502		
Ti	87,195 wt. %	0,413	145,4499795	94,6456677
Fe	6,396 wt. %	0,156	8,228454	5,354332298
	100 wt. %		153,6784335	100

AER-16A espec 3

Ilmenita

Elt.	Conc	Error
------	------	-------

		2-sig		
O	3,214 wt. %	0,234		
Ti	44,98 wt. %	0,278	75,031138	52,95524557
Cr	0,038 wt. %	0,01	0,0555332	0,039194051
Mn	0,346 wt. %	0,03	0,4467552	0,31530951
Fe	51,422 wt. %	0,409	66,154403	46,69025087
	100 wt. %		141,6878294	100

AER-16A espec 4
Hematita Titanífera

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,747 wt. %	0,117		
Ti	3,397 wt. %	0,067	5,6665357	4,482263825
Cr	0,051 wt. %	0,008	0,0745314	0,058954786
Mn	0,019 wt. %	0,005	0,0245328	0,019405592
Fe	93,786 wt. %	0,511	120,655689	95,4393758
	100 wt. %		126,4212889	100

GRANITO FOLIADO Figura 30

AER-16A espec 1
Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,296 wt. %	0,111		
Ti	0,037 wt. %	0,046	0,0617197	0,049094686
Cr	0,03 wt. %	0,035	0,043842	0,034873942
Mn	0,017 wt. %	0,036	0,0219504	0,017460357
Fe	97,62 wt. %	0,561	125,58813	99,89857101
	100 wt. %		125,7156421	100

AER-16A espec 2
Martita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,668 wt. %	0,116		
Ti	0,065 wt. %	0,009	0,1084265	0,086568199
Cr	0,049 wt. %	0,007	0,0716086	0,057172624
Mn	0,021 wt. %	0,005	0,0271152	0,021648896
Fe	97,196 wt. %	0,561	125,042654	99,83461028
	100 wt. %		125,2498043	100

AER-16A espec 3
Ilmenita alterada

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,909 wt. %	0,461		
Al	0,245 wt. %	0,221	0,46305	0,308151864
Si	5,058 wt. %	0,096	10,8200736	7,200574115
Ca	8,506 wt. %	0,113	11,9015952	7,920308261
Ti	62,361 wt. %	0,381	104,0243841	69,22645031
Mn	0,197 wt. %	0,027	0,2543664	0,169276493

Fe	17,725 wt. %	0,275	22,8032125	15,17514832
	100 wt. %		150,2666818	99,99990936

Gabro Figura 32

AER- 75 espec 1

Ti-Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,217 wt. %	0,145		
Ti	18,823 wt. %	0,179	31,3986463	23,6053524
Cr	0,164 wt. %	0,018	0,2396696	0,180182461
Mn	1,186 wt. %	0,053	1,5313632	1,151271543
Fe	77,61 wt. %	0,505	99,845265	75,06319359
	100 wt. %		133,0149441	100

AER- 75 espec 2

Ilmenita C

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,699 wt. %	0,219		
Ti	43,096 wt. %	0,283	71,8884376	50,75480391
Cr	0,085 wt. %	0,015	0,124219	0,087701322
Mn	0,412 wt. %	0,034	0,5319744	0,375585522
Fe	53,707 wt. %	0,435	69,0940555	48,78190924
	100 wt. %		141,6386865	100

AER- 75 espec 3

Ilmenita T

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,741 wt. %	0,222		
Ti	43,324 wt. %	0,284	72,2687644	51,01192138
Cr	0,069 wt. %	0,013	0,1008366	0,071176929
Mn	0,454 wt. %	0,036	0,5862048	0,413780883
Fe	53,412 wt. %	0,434	68,714538	48,50312081
	100 wt. %		141,6703438	100

AER- 75 espec 4

Ti-Magnetita alterada (?)

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,903 wt. %	0,183		
Al	0,18 wt. %	0,203	0,3402	0,25368178
Si	3,249 wt. %	0,081	6,9502608	5,182699981
Ca	6,315 wt. %	0,099	8,835948	6,588827219
Ti	14,664 wt. %	0,171	24,4610184	18,24019605
Mn	0,132 wt. %	0,019	0,1704384	0,12709323
Fe	72,559 wt. %	0,516	93,3471535	69,60750174
	100 wt. %		134,1050191	100

Gabro Figura 33

AER-75 espec 1

Titano-Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,432 wt. %	0,154		
Ti	19,104 wt. %	0,182	31,8673824	23,99064502
Cr	0,092 wt. %	0,014	0,1344488	0,101216767
Mn	1,091 wt. %	0,051	1,4086992	1,060507638
Fe	77,281 wt. %	0,509	99,4220065	74,84763057
	100 wt. %		132,8325369	100

AER-75 espec 2

Ilmenita P

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	3,181 wt. %	0,23		
Si	1,671 wt. %	0,057	3,5746032	2,557080324
Ca	0,485 wt. %	0,026	0,678612	0,485442802
Ti	35,985 wt. %	0,267	60,0265785	42,93981015
Cr	0,134 wt. %	0,019	0,1958276	0,140084612
Mn	0,251 wt. %	0,027	0,3240912	0,231837545
Fe	58,292 wt. %	0,466	74,992658	53,64574457
	100 wt. %		139,7923705	100

Gabro Figura 34

AER-75 espec 1

Ti-Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,742 wt. %	0,155		
Ti	12,359 wt. %	0,151	20,6160479	15,87647526
Cr	0,076 wt. %	0,013	0,1110664	0,08553254
Mn	0,191 wt. %	0,021	0,2466192	0,189922125
Fe	84,632 wt. %	0,554	108,879068	83,84807008
	100 wt. %		129,8528015	100

AER-75 espec 2

Ilmenita T

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,917 wt. %	0,235		
Ti	42,685 wt. %	0,292	71,2028485	50,42563778
Cr	0,089 wt. %	0,016	0,1300646	0,092111349
Mn	0,473 wt. %	0,038	0,6107376	0,432522485
Fe	53,836 wt. %	0,451	69,260014	49,04972838
	100 wt. %		141,2036647	100

AER-75 espec 3

Ilmenita C

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,753 wt. %	0,23		
Ti	43,283 wt. %	0,294	72,2003723	50,97220548

Cr	0,123 wt. %	0,018	0,1797522	0,126901923
Mn	0,27 wt. %	0,029	0,348624	0,246122473
Fe	53,57 wt. %	0,45	68,917805	48,65477013
	100 wt. %		141,6465535	100

AER-75 espec 4

Ti-Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,517 wt. %	0,169		
Al	0,112 wt. %	0,164	0,21168	0,158619066
Ti	20,842 wt. %	0,2	34,7665402	26,05175808
Cr	0,082 wt. %	0,014	0,1198348	0,089796316
Mn	0,722 wt. %	0,044	0,9322464	0,698564124
Fe	75,726 wt. %	0,528	97,421499	73,00126241
	100 wt. %		133,4518004	100

AER-75 espec 5

Ti-Magnetita Alterada (?)

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,879 wt. %	0,183		
Al	0,201 wt. %	0,226	0,37989	0,283324932
Si	2,79 wt. %	0,079	5,968368	4,451255509
Ca	1,266 wt. %	0,046	1,7713872	1,321114421
Ti	16,961 wt. %	0,188	28,2926441	21,10087513
Cr	0,105 wt. %	0,016	0,153447	0,114441972
Mn	0,351 wt. %	0,031	0,4532112	0,338008456
Fe	75,448 wt. %	0,547	97,063852	72,39097958
	100 wt. %		134,0827995	100

AER-75 espec 6

Clinopiroxênio (Augita)

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	6,526 wt. %	0,391		
Mg	5,04 wt. %	0,122	8,355816	5,425464994
Si	33,912 wt. %	0,279	72,5445504	47,10346885
Ca	23,445 wt. %	0,243	32,804244	21,29992779
Ti	0,854 wt. %	0,054	1,4245574	0,924970859
Fe	30,223 wt. %	0,405	38,8818895	25,2461675
	100 wt. %		154,0110573	100

Gabro Figura 35

AER-75 espec 1

Ilmenita I

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,777 wt. %	0,249		
Ti	44,189 wt. %	0,317	73,7116709	51,92647878
Cr	0,042 wt. %	0,012	0,0613788	0,043238539
Mn	1,417 wt. %	0,071	1,8296304	1,288890388

Fe	51,575 wt.%	0,471	66,3512375	46,74139229
	100 wt.%		141,9539176	100

AER-75 espec 2
Ilmenita I

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,802 wt.%	0,252		
Ti	44,46 wt.%	0,32	74,163726	52,21352306
Cr	0,122 wt.%	0,02	0,1782908	0,125522156
Mn	1,448 wt.%	0,072	1,8696576	1,316295924
Fe	51,168 wt.%	0,472	65,827632	46,34465886
	100 wt.%		142,0393064	100

AER-75 espec 3
Anfibólio (Actinolita)

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	7,828 wt.%	0,479		
Mg	5,661 wt.%	0,147	9,3853719	6,106623234
Al	1,708 wt.%	0,736	3,22812	2,100386943
Si	33,71 wt.%	0,321	72,112432	46,92019212
Cl	1,517 wt.%	0,071	2,5006228	1,627038486
K	1,091 wt.%	0,059	1,3142186	0,855100674
Ca	17,976 wt.%	0,246	25,1520192	16,36524439
Ti	1,963 wt.%	0,094	3,2744803	2,130551425
Mn	0,271 wt.%	0,04	0,3499152	0,227673481
Fe	28,274 wt.%	0,45	36,374501	23,66718925
	100 wt.%		153,691681	100

AER-75 espec 4
Anfibólio (Hastingsita ?)

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	4,791 wt.%	0,331		
Mg	2,221 wt.%	0,087	3,6821959	2,426203873
Al	6,968 wt.%	1,37	13,16952	8,677414592
Si	23,564 wt.%	0,254	50,4081088	33,21397127
Cl	7,048 wt.%	0,137	11,6179232	7,655065356
K	3,046 wt.%	0,091	3,6692116	2,4176485
Ca	14,957 wt.%	0,206	20,9278344	13,78937847
Ti	0,444 wt.%	0,04	0,7406364	0,488006329
Mn	0,158 wt.%	0,027	0,2040096	0,134422202
Fe	36,804 wt.%	0,466	47,348346	31,19788941
	100 wt.%		151,7677859	100

Gabro Figura 36

AER-23 espec 1
Ilmenita T

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,799 wt.%	0,223		

Ti	44,301 wt. %	0,284	73,8984981	52,05186314
Cr	0,054 wt. %	0,012	0,0789156	0,055585758
Mn	1,512 wt. %	0,065	1,9522944	1,375137026
Fe	51,334 wt. %	0,42	66,041191	46,51741407
	100 wt. %		141,9708991	100

AER-23 espec 2

Rutilo

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,198 wt. %	0,499		
Ca	1,744 wt. %	0,046	2,4402048	1,560950173
Ti	89,541 wt. %	0,451	149,3633421	95,54474065
Fe	3,517 wt. %	0,125	4,5246205	2,89430918
	100 wt. %		156,3281674	100

AER-23 espec 3

Anfibólio

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	7,071 wt. %	0,408		
Mg	4,707 wt. %	0,125	7,8037353	5,119485228
Al	1,754 wt. %	0,688	3,31506	2,174779134
Si	30,781 wt. %	0,282	65,8467152	43,19742698
Cl	1,742 wt. %	0,069	2,8715128	1,883798822
K	1,045 wt. %	0,052	1,258807	0,825815279
Ca	16,062 wt. %	0,21	22,4739504	14,74358787
Ti	3,856 wt. %	0,119	6,4321936	4,219712593
Fe	32,981 wt. %	0,441	42,4300565	27,83539409
	100 wt. %		152,4320308	100

AER-23 espec 4

Pirita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	0,141 wt. %	0,036		
S	50,443 wt. %	0,232		
Fe	49,416 wt. %	0,372		
	100 wt. %			

AER-23 espec 5

Anfibólio (Cl-hastingsita) espec 5

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,514 wt. %	0,351		
Mg	2,49 wt. %	0,091	4,128171	2,717773942
Al	7,584 wt. %	1,406	14,33376	9,436605079
Si	24,758 wt. %	0,257	52,9623136	34,86764377
Cl	5,299 wt. %	0,118	8,7348716	5,750586985
K	2,254 wt. %	0,077	2,7151684	1,787526226
Ca	16,071 wt. %	0,21	22,4865432	14,80397521
Ti	0,48 wt. %	0,041	0,800688	0,527131503

Fe	35,549 wt.%	0,452	45,7337885	30,10875729
	100 wt.%		151,8953043	100

AER-23 espec 6

Epidoto

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	7,284 wt.%	0,509		
Al	13,618 wt.%	1,829	25,73802	16,75185928
Si	25,566 wt.%	0,268	54,6907872	35,59607036
Ca	34,686 wt.%	0,318	48,5326512	31,5879832
Ti	1,139 wt.%	0,069	1,8999659	1,23661266
Fe	17,708 wt.%	0,337	22,781342	14,8274745
	100 wt.%		153,6427663	100

Trondhjemito Figura 39

AER-11A espec 1

Ilmenita I

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,502 wt.%	0,321		
Ti	41,041 wt.%	0,289	68,4604921	36,50819965
Cr	0,059 wt.%	0,013	0,0862226	0,04598027
Mn	2,11 wt.%	0,082	52,9921392	28,25932941
Fe	51,288 wt.%	0,444	65,982012	35,18649068
	100 wt.%		187,5208659	100

AER-11A espec 2

Titanita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	12,103 wt.%	0,759		
Al	0,135 wt.%	0,157	0,25515	0,176210149
Si	16,178 wt.%	0,175	34,6079776	23,90075211
Ca	31,143 wt.%	0,252	43,5752856	30,0937001
Ti	37,555 wt.%	0,34	62,6454955	43,26385309
Mn	0,141 wt.%	0,098	0,1820592	0,125732623
Fe	2,746 wt.%	0,151	3,532729	2,439751928
	100 wt.%		144,7986969	100

AER-11A espec 3

Titanita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	13,486 wt.%	0,758		
Al	0,98 wt.%	0,427	1,8522	1,292748647
Si	17,251 wt.%	0,176	36,9033392	25,7567983
Ca	32,901 wt.%	0,254	46,0350792	32,13032412
Ti	33,975 wt.%	0,32	56,6736975	39,55558025
Mn	0,086 wt.%	0,019	0,1110432	0,077502941
Fe	1,322 wt.%	0,08	1,700753	1,18704575
	100 wt.%		143,2761121	100

AER-11A espec 4

Clorita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	11,572 wt. %	0,348		
Mg	2,469 wt. %	0,128	4,0933551	3,016587803
Al	11,634 wt. %	7,914	21,98826	16,20419321
Si	16,306 wt. %	0,233	34,8817952	25,70605173
K	0,132 wt. %	0,018	0,1590072	0,117179958
Ti	0,261 wt. %	0,087	0,4353741	0,320847854
Mn	0,263 wt. %	0,097	0,3395856	0,250256759
Fe	57,363 wt. %	0,56	73,7974995	54,38488268
	100 wt. %		135,6948767	100

AER-11A espec 5

Bt alterada

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	14,987 wt. %	0,476		
Mg	2,364 wt. %	0,09	3,9192756	2,789879724
Al	12,568 wt. %	1,854	23,75352	16,9086001
Si	26,678 wt. %	0,283	57,0695776	40,62415447
Cl	0,357 wt. %	0,032	0,5884788	0,418900133
K	5,923 wt. %	0,129	7,1348458	5,078836923
Ti	0,677 wt. %	0,049	1,1293037	0,803878527
Mn	0,083 wt. %	0,02	0,1071696	0,076287132
Fe	36,362 wt. %	0,466	46,779713	33,29946299
	100 wt. %		140,4818841	100

Granito Planalto Figura 41

AER 72 espec 1

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,878 wt. %	0,136		
Ti	0,071 wt. %	0,011	0,1198551	0,095897517
Cr	0,037 wt. %	0,007	0,0540718	0,043263502
Mn	0,01 wt. %	0,004	0,012912	0,010331048
Fe	97,004 wt. %	0,634	124,795646	99,85050793
	100 wt. %		124,9824849	100

AER 72 espec 2

Titanita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	9,967 wt. %	0,749		
Al	0,631 wt. %	0,388	1,19259	0,801043028
Si	17,671 wt. %	0,201	37,798269	25,38847369
Ca	33,01 wt. %	0,286	46,18099	31,01900909
Ti	36,414 wt. %	0,374	60,738552	40,79708332
Fe	2,308 wt. %	0,12	2,969242	1,994390865

	100 wt.%		148,879643	100
AER 72 espec 3				
Biotita				
Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	7,398 wt.%	0,38		
Mg	3,542 wt.%	0,118	5,8722818	4,03380559
Al	8,677 wt.%	1,644	16,39953	11,26521479
Si	22,613 wt.%	0,269	48,369207	33,22592209
Cl	1,901 wt.%	0,075	3,1336084	2,152547768
K	11,415 wt.%	0,184	13,750509	9,445541266
Ti	2,261 wt.%	0,093	3,7715741	2,590781097
Fe	42,192 wt.%	0,52	54,280008	37,2861874
	100 wt.%		145,5767183	100

AER 72 espec 4				
Titanita				
Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	9,542 wt.%	0,732		
Al	0,693 wt.%	0,402	1,30977	0,876194538
Si	17,693 wt.%	0,199	37,845327	25,31732198
Ca	34,187 wt.%	0,289	47,827613	31,99515432
Ti	36,061 wt.%	0,37	60,1533541	40,24068371
Fe	1,825 wt.%	0,106	2,3478625	1,570645456
	100 wt.%		149,4839266	100

Granito Planalto Figura 42

AMR- 177 espec 1

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,89 wt.%	0,133		
Ti	0,082 wt.%	0,011	0,0956776	0,076585791
Cr	0,029 wt.%	0,006	0,0423806	0,033923842
Mn	0,021 wt.%	0,005	0,0271152	0,021704548
Fe	96,979 wt.%	0,617	124,7634835	99,86778582
	100 wt.%		124,9286569	100

AMR- 177 espec 2

Ilmenita Cext

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	3,833 wt.%	0,29		
Ti	42,111 wt.%	0,314	70,241148	50,24417505
Cr	0,039 wt.%	0,011	0,0569946	0,040768791
Mn	2,449 wt.%	0,094	3,15921	2,259813582
Fe	51,568 wt.%	0,478	66,342232	47,45524258
	100 wt.%		139,7995846	100

AMR- 177 espec 3

Rutilo

Elt.	Conc	Error		
------	------	-------	--	--

		2-sig		
O	6,882 wt. %	0,606		
Ti	86,159 wt. %	0,482	145,436392	94,20117686
Fe	6,959 wt. %	0,191	8,9527535	5,798823143
	100 wt. %		154,3891455	100

AMR- 177 espec 4

Epidoto

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	10,508 wt. %	0,592		
Al	7,206 wt. %	1,446	13,61934	9,455043411
Si	24,703 wt. %	0,273	52,839717	36,68326204
Ca	31,154 wt. %	0,312	43,584446	30,25791477
Fe	26,428 wt. %	0,427	33,999622	23,60377977
	100 wt. %		144,043125	100

AMR- 177 espec 5

Epidoto

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	11,563 wt. %	0,635		
Al	12,18 wt. %	1,813	23,0202	15,81684814
Si	24,353 wt. %	0,271	52,0959376	35,79436902
Ca	32,459 wt. %	0,318	45,410141	31,20065439
Fe	19,445 wt. %	0,365	25,0159925	17,18812845
	100 wt. %		145,5422711	100

AMR- 177 espec 6

(?)

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	6,114 wt. %	0,261		
Al	9,09 wt. %	1,778	17,1801	12,34523789
Si	15,126 wt. %	0,229	32,354514	23,2492344
Fe	69,669 wt. %	0,645	89,6291685	64,40552771
	100 wt. %		139,1637825	100

AMR- 177 espec 7

Anfibólio (Fe-Hastingsita)

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,65 wt. %	0,333		
Mg	0,139 wt. %	0,022	0,2304481	0,157672484
Al	5,686 wt. %	1,212	10,74654	7,352777718
Si	20,328 wt. %	0,228	43,481592	29,75008522
Cl	8,045 wt. %	0,14	13,261378	9,073428719
K	4,27 wt. %	0,103	5,143642	3,519277487
Ca	12,448 wt. %	0,181	17,414752	11,9151653
Fe	43,434 wt. %	0,486	55,877841	38,23159308
	100 wt. %		146,1561931	100

Granito Planalto Figura 43

AMR- 177 espec 1

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	3,088 wt.%	0,139		
Ti	0,075 wt.%	0,011	0,1251	0,100308475
Cr	0,046 wt.%	0,008	0,0672244	0,053902295
Mn	0,011 wt.%	0,004	0,0142032	0,0113885
Fe	96,781 wt.%	0,624	124,5087565	99,83440073
	100 wt.%		124,7152841	100

AMR- 177 espec 2

Ilmenita Cext

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	3,977 wt.%	0,303		
Ti	42,628 wt.%	0,322	71,103504	50,85181755
Cr	0,116 wt.%	0,02	0,1695224	0,121239062
Mn	2,412 wt.%	0,096	3,11148	2,22526886
Fe	50,867 wt.%	0,484	65,4403955	46,80167453
	100 wt.%		139,8249019	100

AMR- 177 espec 3

Feldspato Potássico

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	13,338 wt.%	0,719		
Al	10,181 wt.%	1,542	19,24209	12,64511912
Si	43,152 wt.%	0,347	92,302128	60,65720529
K	30,663 wt.%	0,329	36,9366498	24,27326431
Ti	0,68 wt.%	0,059	1,13424	0,745376407
Fe	1,986 wt.%	0,124	2,554989	1,679034879
	100 wt.%		152,1700968	100

AMR- 177 espec 4

Anfibólio (Fe-Hastinguisita)

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	10,153 wt.%	0,558		
Mg	1,995 wt.%	0,089	3,3075105	2,236927599
Al	11,579 wt.%	1,909	21,88431	14,80074425
Si	26,54 wt.%	0,303	56,76906	38,39391502
Cl	0,229 wt.%	0,028	0,3774836	0,255298806
K	3,844 wt.%	0,113	4,6304824	3,131676793
Ca	19,103 wt.%	0,261	26,725097	18,07465375
Fe	26,557 wt.%	0,446	34,1655805	23,10678377
	100 wt.%		147,859524	100

AMR- 177 espec 5

Titanita

Elt.	Conc	Error
------	------	-------

		2-sig		
O	10,738 wt.%	0,793		
Al	1,683 wt.%	0,651	3,18087	2,153826699
Si	19,541 wt.%	0,219	41,798199	28,302344
K	1,215 wt.%	0,055	1,463589	0,991023545
Ca	35,328 wt.%	0,312	49,4592	33,48975137
Ti	29,53 wt.%	0,353	49,25604	33,35218793
Fe	1,964 wt.%	0,115	2,526686	1,71086645
	100 wt.%		147,684584	100

AMR- 177 espec 6
Feldspato Potássico

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	14,611 wt.%	0,758		
Al	10,359 wt.%	1,548	19,57851	12,95367584
Si	44,027 wt.%	0,35	94,21778	62,33705121
K	31,003 wt.%	0,334	37,3462138	24,70927295
	100 wt.%		151,1425038	100

Granito Planalto Figura 44

AMR -177 espec 1

Ilmenita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	3,979 wt.%	0,296		
Ti	41,61 wt.%	0,314	69,40548	49,77950732
Cr	0,076 wt.%	0,016	0,1110664	0,079659858
Mn	2,081 wt.%	0,087	2,68449	1,925389603
Fe	52,254 wt.%	0,484	67,224771	48,21544322
	100 wt.%		139,4258074	100

AMR -177 espec 2

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,826 wt.%	0,132		
Ti	0,087 wt.%	0,012	0,145116	0,116043427
Cr	0,032 wt.%	0,006	0,0467648	0,037395929
Mn	0,013 wt.%	0,004	0,01677	0,013410294
Fe	97,042 wt.%	0,62	124,844533	99,83315035
	100 wt.%		125,0531838	100

AMR -177 espec 3

Anfibólio (Fe-Hastingsita)

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,433 wt.%	0,332		
Mg	0,067 wt.%	0,015	0,1110793	0,075860424
Al	5,187 wt.%	1,181	9,80343	6,695148065
Si	20,573 wt.%	0,234	44,087939	30,10938819
Cl	7,442 wt.%	0,137	12,264416	8,375852232

K	3,992 wt. %	0,101	4,8087632	3,284093591
Ca	12,536 wt. %	0,184	17,537864	11,97729736
Ti	0,525 wt. %	0,043	0,8757	0,598049985
Cr	0,096 wt. %	0,019	0,1402944	0,095812566
Fe	44,148 wt. %	0,498	56,796402	38,78849759
	100 wt. %		146,4258879	100

Granito Planalto Figura 45

AMR -177 espec 1

Rutilo

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,761 wt. %	0,531		
Ti	78,827 wt. %	0,467	131,483436	86,89616657
Fe	15,412 wt. %	0,287	19,827538	13,10383343
	100 wt. %		151,310974	100

AMR -177 espec 2

Hematita Titanífera

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	4,139 wt. %	0,192		
Ti	8,787 wt. %	0,135	14,656716	11,57010961
Fe	87,074 wt. %	0,602	112,020701	88,42989039
	100 wt. %		126,677417	100

Granito Planalto Figura 46

AMR -85A espec 1

Ilmenita I

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	3,977 wt. %	0,303		
Ti	42,628 wt. %	0,322	71,103504	50,85181755
Cr	0,116 wt. %	0,02	0,1695224	0,121239062
Mn	2,412 wt. %	0,096	3,11148	2,22526886
Fe	50,867 wt. %	0,484	65,4403955	46,80167453
	100 wt. %		139,8249019	100

AMR -85A espec 2

Anfibólio (Fe-Hastinguisita)

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,754 wt. %	0,341		
Na	0,455 wt. %	0,049	0,61334	0,415157507
Mg	0,534 wt. %	0,043	0,8853186	0,599254349
Al	5,666 wt. %	1,212	10,70874	7,248530663
Si	22,128 wt. %	0,239	47,331792	32,03793776
Cl	6,171 wt. %	0,123	10,1722764	6,885409245
K	3,311 wt. %	0,091	3,9884306	2,699688432
Ca	12,929 wt. %	0,185	18,087671	12,2431806
Ti	1,475 wt. %	0,071	2,4603	1,665327573
Fe	41,577 wt. %	0,478	53,4888105	36,20549972

	100 wt. %		147,7366791	99,99998585
Apatita espec 3				
AMR -85A espec 4				
Anfibólio (Fe-Hainstinguisita)				
Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,547 wt. %	0,33		
Na	0,407 wt. %	0,046	0,548636	0,371589077
Mg	0,74 wt. %	0,049	1,226846	0,830938132
Al	6,832 wt. %	1,308	12,91248	8,745573615
Si	21,08 wt. %	0,231	45,1112	30,55364426
Cl	6,974 wt. %	0,129	11,493152	7,784268157
K	4,451 wt. %	0,104	5,3616746	3,631441823
Ca	12,872 wt. %	0,182	18,0208	12,20541933
Ti	0,265 wt. %	0,03	0,44202	0,299378466
Fe	40,831 wt. %	0,467	52,5290815	35,5777472
	100 wt. %		147,6458901	100,0000001
ATTr Figura 49				
AMR-122 espec 1				
Magnetita				
Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,208 wt. %	0,117		
Ti	0,14 wt. %	0,015	0,23352	0,185521709
Cr	0,051 wt. %	0,008	0,0745314	0,059212028
Mn	0,024 wt. %	0,006	0,0312	0,024787073
Fe	97,577 wt. %	0,622	125,5328105	99,73047919
	100 wt. %		125,8720619	100
AMR-122 espec 2				
Biotita				
Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,792 wt. %	0,336		
Mg	1,318 wt. %	0,079	2,1851122	1,474798745
Al	10,99 wt. %	1,995	20,7711	14,01904772
Si	23,818 wt. %	0,301	50,97052	34,40155564
K	8,733 wt. %	0,173	10,5197718	7,100114241
Ti	0,598 wt. %	0,051	0,997464	0,673218819
Fe	48,752 wt. %	0,598	62,719448	42,33126482
	100 wt. %		148,163416	100
AMR-122 espec 3				
Feldspato potássico				
Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	11,083 wt. %	0,687		
Al	10,65 wt. %	1,588	20,1285	12,78630289

Si	45,984 wt. %	0,364	98,40576	62,51066168
K	32,283 wt. %	0,348	38,8881018	24,70303542
	100 wt. %		157,4223618	100

ATTr Figura 50

AMR-122 espec 1

Thorita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,049 wt. %	0,183		
Al	0,181 wt. %	0,261	0,34209	
Si	7,362 wt. %	0,141	15,7487904	
P	2,58 wt. %	0,084		
La	1,106 wt. %	0,097		
Ce	5,863 wt. %	0,221		
Pb	1,506 wt. %	0,042		
Th	45,01 wt. %	0,546		
U	34,343 wt. %	0,458		
	100 wt. %			

AMR-122 espec 2

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,701 wt. %	0,147		
Ti	0,127 wt. %	0,016	0,211836	0,169159276
Cr	0,029 wt. %	0,007	0,0423806	0,033842556
Mn	0,098 wt. %	0,013	0,1274	0,101733849
Fe	97,044 wt. %	0,703	124,847106	99,69526432
	100 wt. %		125,2287226	100

ATTr Figura 51

AMR-122 espec 1

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	2,088 wt. %	0,128		
Ti	0,132 wt. %	0,016	0,220176	0,174717567
Cr	0,02 wt. %	0,006	0,029228	0,023193468
Mn	0,044 wt. %	0,009	0,0572	0,045390255
Fe	97,716 wt. %	0,698	125,711634	99,75669871
	100 wt. %		126,018238	100

AMR-122 espec 2

Biotita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	7,052 wt. %	0,404		
Mg	1,08 wt. %	0,077	1,790532	1,196681411
Al	12,447 wt. %	2,294	23,52483	15,7225488
Si	26,559 wt. %	0,348	56,83626	37,98585884

K	7,44 wt.%	0,176	8,962224	5,989799043
Ti	0,198 wt.%	0,032	0,330264	0,220728135
Fe	45,224 wt.%	0,633	58,180676	38,88438377
	100 wt.%		149,624786	100

AMR-122 espec 3
Feldspato Potássico

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	10,308 wt.%	0,739		
Al	10,916 wt.%	1,785	20,63124	12,97544298
Si	46,48 wt.%	0,407	99,4672	62,55712122
K	32,296 wt.%	0,388	38,9037616	24,4674358
	100 wt.%		159,0022016	100

ATTr Figura 52

AMR-122 espec 1

Titanita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	7,524 wt.%	0,684		
Al	0,369 wt.%	0,305	0,69741	0,456322969
Si	17,365 wt.%	0,205	37,1611	24,31491301
K	0,05 wt.%	0,011	0,06023	0,039409146
Ca	33,417 wt.%	0,295	46,7838	30,61115056
Ti	39,393 wt.%	0,399	65,707524	42,99314956
Fe	1,883 wt.%	0,111	2,4224795	1,585054756
	100 wt.%		152,8325435	100

Microgranito/Dacito- Pórfiro Figura 54

JES-61 espec 1

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	4,708 wt.%	0,184		
Ti	0,172 wt.%	0,018	0,286896	0,233886997
Cr	0,038 wt.%	0,008	0,0555332	0,04527248
Mn	0,017 wt.%	0,005	0,0221	0,018016642
Fe	95,064 wt.%	0,663	122,299836	99,70282388
	100 wt.%		122,6643652	100

JES-61 espec 2

Ilmenita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,84 wt.%	0,387		
Ti	41,239 wt.%	0,34	68,786652	50,24147558
Cr	0,04 wt.%	0,012	0,04	0,029215828
Mn	4,002 wt.%	0,132	5,2026	3,799956725
Fe	48,879 wt.%	0,507	62,8828335	45,92935187
	100 wt.%		136,9120855	100

JES-61 espec 3

Titanita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	12,182 wt. %	0,846		
Al	0,099 wt. %	0,159	0,18711	0,128920138
Si	16,459 wt. %	0,199	35,22226	24,26839088
Ca	31,296 wt. %	0,285	43,8144	30,18843723
Ti	38,005 wt. %	0,39	63,39234	43,67777893
Fe	1,959 wt. %	0,113	2,5202535	1,736472817
	100 wt. %		145,1363635	100

JES-61 espec 4

Rutilo

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	11,549 wt. %	0,887		
Ca	5,103 wt. %	0,101	7,1442	4,907121637
Ti	81,827 wt. %	0,531	136,487436	93,74883827
Fe	1,521 wt. %	0,1	1,9567665	1,344040093
	100 wt. %		145,5884025	100

Microgranito/Dacito- Pórfiro Figura 55

JES-61 espec 1

Magnetita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	4,383 wt. %	0,191		
Ti	0,226 wt. %	0,022	0,376968	0,306213739
Cr	0,048 wt. %	0,009	0,0701472	0,05698106
Mn	0,021 wt. %	0,006	0,0273	0,022175981
Fe	95,322 wt. %	0,713	122,631753	99,61462922
	100 wt. %		123,1061682	100

JES-61 espec 2

Ilmenita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,846 wt. %	0,411		
Ti	40,988 wt. %	0,36	68,367984	49,96733011
Cr	0,071 wt. %	0,018	0,1037594	0,075833451
Mn	3,57 wt. %	0,132	4,641	3,391914833
Fe	49,524 wt. %	0,543	63,712626	46,56492161
	100 wt. %		136,8253694	100

JES-61 espec 3

Ilmenita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	5,678 wt. %	0,409		
Ti	41,844 wt. %	0,364	69,795792	50,81166375
Cr	0,046 wt. %	0,014	0,0672244	0,048939678

Mn	3,331 wt. %	0,128	4,3303	3,152478698
Fe	49,101 wt. %	0,541	63,1684365	45,98691788
	100 wt. %		137,3617529	100

JES-61 espec 4

Titanita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	10,835 wt. %	0,86		
Al	0,106 wt. %	0,174	0,20034	0,135770005
Si	16,593 wt. %	0,213	35,50902	24,06438963
Ca	31,336 wt. %	0,303	43,8704	29,73087961
Ti	39,484 wt. %	0,423	65,859312	44,63271993
Mn	0,127 wt. %	0,029	0,1651	0,11188793
Fe	1,519 wt. %	0,106	1,9541935	1,324352905
	100 wt. %		147,5583655	100

JES-61 espec 5

Epidoto

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	14,874 wt. %	0,819		
Al	13,158 wt. %	2,104	24,86862	17,5502773
Si	24,088 wt. %	0,305	51,54832	36,37866961
Ca	32,476 wt. %	0,361	45,4664	32,0865383
Fe	15,403 wt. %	0,368	19,8159595	13,98451479
	100 wt. %		141,6992995	100

JES-61 espec 6

Rutilo

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	10,603 wt. %	0,892		
Ca	0,613 wt. %	0,034	0,8582	0,577181513
Ti	88,101 wt. %	0,566	146,952468	98,83272874
Fe	0,682 wt. %	0,069	0,877393	0,590089745
	100 wt. %		148,688061	100

Microgranito/Dacito- Pórfiro Figura 56

JES-61 espec 1

Alanita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	9,46 wt. %	0,56		
Al	8,326 wt. %	2,011	15,73614	
Si	20,388 wt. %	0,32	43,63032	
Ca	16,117 wt. %	0,272	22,5638	
Fe	14,468 wt. %	0,379	18,613082	
La	10,416 wt. %	0,362		
Ce	20,825 wt. %	0,514		
	100 wt. %			

JES-61 espec 2

Ilmenita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	6,511 wt.%	0,443		
Ca	0,634 wt.%	0,038	0,8876	0,654377435
Ti	39,902 wt.%	0,365	66,556536	49,06838137
Cr	0,076 wt.%	0,019	0,1110664	0,081882995
Mn	4,487 wt.%	0,152	5,8331	4,300415745
Fe	48,39 wt.%	0,551	62,253735	45,89616879
	100 wt.%		135,6420374	100,0012263

JES-61 espec 3

Titanita

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	12,573 wt.%	0,933		
Al	0,17 wt.%	0,226	0,3213	0,222405499
Si	15,958 wt.%	0,213	34,15012	23,63888726
Ca	30,38 wt.%	0,305	42,532	29,44086735
Ti	38,839 wt.%	0,428	64,783452	44,84343593
Mn	0,322 wt.%	0,048	0,4186	0,289757055
Fe	1,757 wt.%	0,117	2,2603805	1,564646912
	100 wt.%		144,4658525	100

JES-61 espec 4

Rutilo

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	9,984 wt.%	0,896		
Ca	0,838 wt.%	0,041	1,1732	0,78340888
Ti	88,742 wt.%	0,585	148,021656	98,84203861
Fe	0,436 wt.%	0,057	0,560914	0,374552513
	100 wt.%		149,75577	100

JES-61 espec 5

Epidoto

Elt.	Conc	Error 2-sig		
O	13,938 wt.%	0,788		
Al	12,125 wt.%	2,074	22,91625	16,15105114
Si	23,772 wt.%	0,307	50,87208	35,85392747
Ca	31,377 wt.%	0,359	43,9278	30,95969646
Mn	0,107 wt.%	0,029	0,1391	0,098035726
Fe	18,68 wt.%	0,41	24,03182	16,9372892
	100 wt.%		141,88705	100