

CATIVO



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
MESTRADO EM GEOLOGIA REGIONAL**

**PETROGRAFIA, QUÍMICA MINERAL, DATAÇÃO E
CARATERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS GRANULITOS DA REGIÃO
DE MACACO – ITAPIPOCA (CE).**

MAGNÓLIA BARBOSA DO NASCIMENTO

**FORTALEZA
FEVEREIRO/2006**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**PETROGRAFIA, QUÍMICA MINERAL, DATAÇÃO E
CARATERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS GRANULITOS DA REGIÃO
DE MACACO – ITAPIPOCA (CE).**

MAGNÓLIA BARBOSA DO NASCIMENTO

Orientador: Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto

Dissertação de Mestrado submetida à
Coordenação do Curso de Pós-Graduação
em Geologia - Área de Concentração em
Geologia Regional, da Universidade Federal
do Ceará–UFC, para obtenção do grau em
Mestre.

**FORTALEZA
FEVEREIRO/2006**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto.
Universidade Federal do Ceará-UFC

Prof. Dr. Marcos Aurélio Farias de Oliveira.
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Prof. Dr. Christiano Magini.
Universidade Federal do Ceará - UFC

Fortaleza, 23 de fevereiro de 2006.

N196p

Nascimento, Magnólia Barbosa do
Petrografia, química mineral, datação e caracterização
tecnológica dos granulitos da região de macaco-
Itapipoca(CE)./ Magnólia Barbosa do Nascimento.
ix;153 fls.:il.-

Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) -
Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.
Orientador: Prof Dr José de Araújo Nogueira Neto

1.Granulito macaco 2.Evolução geológica
3.Caracterização geológica-Itapipoca I. Título

C.D.D.552.4
C.D.U.551.3.053

“O que prevemos raramente ocorre, o que menos esperamos geralmente acontece”.

AGRADECIMENTOS

De início agradeço a Deus por está sempre presente em minha vida me dando força para lutar e vencer.

A minha família por me apoiar e entender incondicionalmente e em especial minha mãe e tio.

Agradeço também ao orientador e amigo Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto (Zeca), pela paciência, disponibilidade e ensinamentos que tornaram possíveis o término desse trabalho.

A todos os professores do DEGEO que me acompanharam durante minha formação.

A amiga de sempre Glória por está sempre com uma palavra de incentivo.

A amiga mais doida que tenho, Paula por sua contribuição (conhecimentos e financeira) nos trabalhos de campo e durante as análises de química mineral em São Paulo, e sem esquecer é claro o Mamute (Hélio Fábio), apesar de quase me deixar cega, por nos conduzir nos trabalhos de campo e coleta de amostras.

Ao amigo de sempre André pela valiosa ajuda com figuras e o inglês donde tu raí donde tu rein.

A amiga de mestrado Iaponira pela ajuda com a descrição das lâminas.

A colega de sala e agora de mudança Martha pela paciência e tolerância as minhas músicas muitas vezes em alto volume.

Aos secretários Júnior e Leal.

A Fundação Cearense de Amparo a Pesquisa – FUNCAP, pelo suporte financeiro dado ao desenvolvimento deste trabalho.

Enfim a todos que contribuíram com a realização desse trabalho, meu muito obrigado.

SUMÁRIO

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
ÍNDICE DE FOTOS.....	v
ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFIAS.....	vii
ÍNDICE DE QUADROS.....	ix
RESUMO	
ABSTRACT	
1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 – ARCABOUÇO GEOLÓGICO REGIONAL.....	9
3 – PETROGRAFIA.....	22
4 – QUÍMICA MINERAL.....	54
5 – METAMORFISMO E GEOTERMOBAROMETRIA.....	82
6 – GEOCRONOLOGIA.....	92
7 – CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DOS GRANULITOS.....	96
8 – CONCLUSÕES.....	110
9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
ANEXOS I – TABELAS COM OS RESULTADOS DE QUÍMICA MINERAL	
ANEXOS II – MAPAS DE PONTOS E GEOLÓGICO	

ÍNDICE

1 – Introdução	1
1.1. Apresentação.....	1
1.2. Localização e Vias de Acesso à Área de Pesquisa.....	1
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivos gerais.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Metodologia.....	3
1.4.1. Análise Química Mineral.....	4
1.4.2. Análise Geocronológica.....	4
2 – Arcabouço Geológico Regional	9
2.1. Considerações Gerais.....	9
2.2. Domínio Ceará Central (DCC).....	11
2.3. Enquadramento Geológico da área Pesquisada.....	17
2.3.1. O Granulito da Região de Macaco.....	18
2.3.2. Estrutural.....	19
2.3.2.1. Feições Dúcteis.....	19
2.3.2.2. Feições Rúpteis.....	21
3 – Petrografia	22
3.1. Biotita gnaisse com hornblenda.....	22
3.2. Granulitos.....	26
3.2.1. Enderbitos.....	26
3.2.2. Charnockitos.....	32
3.3. Granodioritos.....	37
3.4. Monzogranitos.....	41
3.5. Granodioritos com granadas.....	45
3.6. Diques (Sienogranitos).....	50
4 – Química Mineral	54
4.1. Biotita gnaisse com hornblenda.....	54
4.2. Granulitos.....	58
4.2.1. Enderbitos.....	58
4.2.2. Charnockitos.....	65
4.3. Granodioritos.....	73
4.4. Granodioritos com granadas.....	77
5 – Metamorfismo e Geotermobarometria	83
5.1. Reações Metamórficas.....	83
5.1.1. Biotita gnaisse com hornblenda.....	83
5.1.2. Enderbitos.....	85
5.1.3. Granodioritos.....	88
5.1.4. Granodioritos com granadas.....	90
6 – Geocronologia	93
6.1. Introdução.....	93
6.2. Datação pelo método Sm/Nd.....	93
6.3. Datação pelo método U/Pb.....	94
6.4. Resultados obtidos.....	94
7 – Caracterização Tecnológica dos Granulitos	97
7.1. Introdução.....	97
7.2. Petrografia.....	97
7.3. Índices físicos.....	100

7.4. Resistência à compressão uniaxial simples.....	101
7.5. Resistência à flexão de 3 (três) pontos.....	103
7.6. Desgaste Amsler (desgaste por abrasão).....	104
7.7. Ensaio de alterabilidade.....	105
7.8. Quadro comparativo dos ensaios no Verde Netuno e valores especificados por Frazão & Farjallat, 1995 e ASTM.....	109
8 – Conclusões.....	111
9 – Referências Bibliográficas.....	113
ANEXOS I – Tabelas com os resultados de química mineral	
ANEXOS II – Mapas de pontos e geológico	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa de Localização da Área de Pesquisa.....	2
Figura 02 - Principais Domínios dos Terrenos Pré-Cambrianos do Ceará (Arthaud <i>et al.</i> , 1998).....	10
Figura 03 – Mapa geológico regional mostrando as partes constituintes da Província Borborema e arredores do Lineamento de Patos. Segundo Van Schumus <i>et al.</i> , (1995) e modificado por Fetter <i>et al.</i> , (2003).	11
Figura 04 – Mapa geológico do município de Itapipoca com a área de pesquisa. Fonte: Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará – Mapas na Escala 1:500000 (CPRM – 2003).....	18
Figura 05 – Estereograma das foliações presentes na área.....	20
Figura 06 – Diagrama de rosetas mostrando o comportamento das fraturas.....	22
Figura 07 – Diagrama de classificação normativa QAP (Le Maitre, 1989), mostrando a classificação da rocha como enderbitito.....	27
Figura 08 – Diagrama de classificação normativa QAP (Le Maitre, 1989), mostrando o campo de plotagem dos charnockitos (Amostras CIP2A e CIP2B).....	33
Figura 09 – Diagrama de Le Maitre, (1989), mostrando a classificação da rocha como granodiorito.....	38
Figura 10 – Diagrama de classificação de rochas plutônicas de Le Maitre, (1989), mostrando a classificação como um granito (monzogranito).....	42
Figura 11 – Diagrama de classificação de rochas plutônicas de Le Maitre, (1989), mostrando que a rocha plota no campo dos granodioritos.....	46
Figura 12 – Diagrama de Le Maitre, (1989), mostrando o campo de plotagem da rocha (Amostra – MMAG-4).....	51
Figura 13 – Classificação para as biotitas (Biotita gnaissé com hornbenda).....	55
Figura 14 – Classificação das biotitas de acordo com o diagrama FeO-MgO-Al ₂ O ₃ (Nockolds, 1974). Símbolos: M – moscovita; B – biotita; B+P±O – biotita, piroxênio e olivina e H+B – hornblenda e biotita (Biotita gnaissé com hornbenda).....	56
Figura 15 – Classificação dos anfibólios para os biotita gnaissé com hornblenda, segundo a relação TSi X Mg (Mg + Fe ⁺²), (ANa + AK) > 0,5; Ti < 0,5; Fe ⁺³ < Al ^{VI} (Biotita gnaissé com hornbenda).....	57
Figura 16 – Classificação do plagioclásio e feldspato potássico (Biotita gnaissé com hornbenda).....	58
Figura 17 – Classificação das biotitas para os enderbitos.....	59
Figura 18 – Classificação das biotitas de acordo com o diagrama FeO-MgO-Al ₂ O ₃ (Nockolds, 1974), para os enderbitos. Símbolos: M – moscovita; B – biotita; B+P±O – biotita, piroxênio e olivina e H+B – hornblenda e biotita (Enderbitos).....	60
Figura 19 – Classificação dos anfibólios para os enderbitos, segundo a relação TSi X Mg (Mg + Fe ⁺²), (ANa + AK) < 0,5; Ti < 0,5 (Enderbitos).....	61
Figura 20 – Classificação dos feldspatos analisados nos enderbitos.....	62
Figura 21 – Classificação dos orto e clinopiroxênios (Wo – wolastonita; En – enstatita e Fs – fosterita) (Enderbitos).....	63
Figura 22 – Classificação da granada com as proporções dos membros finais de almadina-piropo-grossulária, mostrando que a granada tende a almandina (Enderbitos).....	64
Figura 23 – Classificação da granada com as proporções dos membros finais de almandina-piropo-espessartita (Enderbitos).....	65
Figura 24 – Classificação para as biotitas dos charnockitos mostrando duas gerações distintas.....	66

Figura 25 – Classificação das biotitas de acordo com o diagrama FeO-MgO-Al ₂ O ₃ (Nockolds, 1974), para os charnockitos. Símbolos: M – moscovita; B – biotita; B+P±O – biotita, piroxênio e olivina e H+B – hornblenda e biotita.....	67
Figura 26 - Classificação dos anfibólios no campo ferro-magnésiano (Fe-Mg-Mn) e cálcico dos charnockitos, segundo Hawthorne (1981), pela relação BCa + BNa X BNa.....	68
Figura 27 - Classificação dos anfibólios para os charnockitos, segundo a relação TSi X Mg (Mg + Fe ⁺²), Fe-Mg-Mn grupo ortorrômbico para o primeiro grupo de amostras.....	68
Figura 28 - Classificação dos anfibólios para os charnockitos, segundo a relação TSi X Mg (Mg + Fe ⁺²), ANa + AK > 0,5; Ti < 0,5; Fe ⁺³ < Al ^{VI} para o segundo grupo de amostras.....	69
Figura 29 – Classificação dos feldspatos analisados nos charnockitos.....	70
Figura 30 – Classificação dos ortopiroxênios no campo da ferrossilita (Wo – wolastonita; En – enstatita e Fs – fosterita) (Charnockitos).....	71
Figura 31 – Proporções dos membros finais de almandina-piropo-grossulária (Charnockitos).....	72
Figura 32 – Proporções dos membros finais de almandina-piropo-espessartita (Charnockitos).....	73
Figura 33 – Classificação para as biotitas dos granodioritos.....	74
Figura 34 – Classificação das biotitas de acordo com o diagrama FeO-MgO-Al ₂ O ₃ (Nockolds, 1974), para os granodioritos. Símbolos: M – moscovita; B – biotita; B+P±O – biotita, piroxênio e olivina e H+B – hornblenda e biotita.....	75
Figura 35 – Classificação dos anfibólios presente nos granodioritos, segundo a relação TSi vs. Mg/(Mg+Fe ⁺²), (ANa + AK) > 0,50 e Ti < 0,50 e Fe ⁺³ < Al ^{VI}	76
Figura 36 – Classificação do feldspato dos granodioritos (Or – ortoclásio; Ab – albita; An – anortita).....	77
Figura 37 – Classificação da biotita para os granodioritos com granadas.....	79
Figura 38 – Classificação das biotitas dos granodioritos com granadas de acordo com o diagrama FeO-MgO-Al ₂ O ₃ (Nockolds, 1974).....	79
Figura 39 – Classificação dos anfibólios presente nos granodioritos com granadas, segundo a relação TSi vs. Mg/(Mg+Fe ⁺²), (ANa + AK) > 0,50 e Ti < 0,50 e Fe ⁺³ < Al ^{VI}	80
Figura 40 – Classificação do feldspato potássico dos granodioritos com granadas no campo da sanidina (Or – ortoclásio; Ab – albita; An – anortita).....	81
Figura 41 – Proporções dos membros finais de almandina-piropo-grossulária dos granodioritos com granada.....	82
Figura 42 - Proporções dos membros finais de almandina-piropo-espessartita dos granodioritos com granada.....	82
Figura 43 – Diagrama de evolução isotópica de Nd dos charnockitos.....	95
Figura 44 – Diagrama concórdia U/Pb para os charnockitos.....	96

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 01 – Bandamento gnáissico presente nos biotita (AFL67 -UTM - 419937/9620985).....	20
Foto 02 – Dobras intrafoliares (AFL68 -UTM - 422102/9621795).....	20
Foto 03 – Zonas de cisalhamento com minerais de plagioclásio rotacionados (AFL5 -UTM - 426715/9624665).....	20
Foto 04 – Zonas de cisalhamento com minerais de plagioclásio orientados formando pequenos dobramentos (AFL5 -UTM - 426715/9624665).....	20
Foto 05 – Biotita gnaïsse migmatizado, com bandas quartzo-feldspáticas (AFL66 -UTM - 419940/9620986).....	21
Foto 06 – Pequenas zonas de cisalhamento de direção sinistral e veios aplíticos recortando os biotita gnaïsse (AFL67 - UTM - 419937/9620985).....	23
Foto 07 – Injeção de granodiorito e xenólitos do biotita gnaïsse com auréola de contato (resfriamento) (AFL66 - UTM – 419940/9620986).....	23
Foto 08 – Dobras de arrasto mostrando movimentação dextral (AFL67 - UTM – 419937/9620985).....	23
Foto 09 – Contato entre o gnaïsse e o granodiorito porfirítico (AFL66 - 419940/9620986).....	23
Foto 10 – Material granodiorítico mais fino recortando os biotita gnaïsses e granodiorito demonstrando um evento posterior aos mesmos (AFL67 - UTM - 419937/9620985).....	23
Foto 11 e 12 – Aspecto geral dos corpos na pedreira Santa Rosa, AFL16 - UTM – 428873/9627375).....	27
Foto 13– Frente de lavra no Serrote Macaco (AFL57 - UTM – 428904/9627369).....	27
Fotos 14 e 15 – Porções de cor clara dos enderbitos no Serrote Macaco (AFL57 UTM – 428904/9627369).....	27
Fotos 16, 17, 18 e 19 – Aspectos macroscópico do charnockito/charno-enderbito presente na mineração Santa Rosa (UTM - 423988 / 9623790).....	33
Foto 20 – Granodioritos foliados com injeções de material mais fino (AFL47 - UTM – 428606/96211876).....	38
Fotos 21 e 22 – Aspecto milonitizado com indicadores de forte deformação sofrida (AFL47 - UTM - 428606/96211876).....	38
Foto 23 - Migmatização da rocha e núcleos compostos por material de granulação mais fina, com veios pegmatíticos distribuídos por todo o corpo (AFL53 - UTM – 425563/9626394)....	38
Fotos 24 e 25 – Aspecto geral da rocha disposta em corpos alongados com granulação variando de média a grossa exibindo megacristais de feldspato potássico e plagioclásio constituindo a foliação de fluxo (AFL6 - UTM – 426180/9623804).....	42
Foto 26 – Enclave de material máfico presente na rocha (AFL6 - UTM – 426180/9623804)..	42
Foto 27 – Rocha com uma granulação mais fina e foliação marcada por megacristais de feldspato potássico (AFL3 - UTM – 426643/9624552).....	42
Fotos 28 e 29 – Material máfico segregado formando enclaves (AFL64 - UTM – 423899/9623023).....	42
Foto 30, 31 e 32 – Aspectos gerais de pedreira desativada na área (AFL76 - UTM – 421772/9629438).....	46
Foto 33 e 34 – Aspecto macroscópico da rocha exibindo megacristais de granada presentes (AFL24 - UTM – 421794/9629494).....	46
Foto 35 – Enclaves máficos presente na rocha (AFL75 - UTM – 421629/9629079).....	46
Fotos 36 e 37 – Blocos de siegranito (AFL23 - UTM – 421021/9629280).....	51
Foto 38 – Aspecto macroscópico da rocha (AFL23 - UTM – 421021/9629280).....	51
Fotos 39, 40, 41, 42, 43 e 44 - Placas polidas do granulito Verde Netuno usadas no ensaio de resistência ao ataque químico.....	108

ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografias 01 e 02 – Quartzo com bandas de recristalização e microclinas geminadas (albita periclina) sericitizadas (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).....	25
Fotomicrografias 03 e 04 – Biotita em paleta alongada inclusa em hornblenda prismática (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).....	25
Fotomicrografias 05 e 06 – Plagioclásio geminado (albita carlsbad) com inclusão de apatita (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).....	25
Fotomicrografias 07 e 08 – Minerais de granada bem formados em conjunto com plagioclásio e quartzo (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica) (amostra MMAG52).....	30
Fotomicrografias 09 e 10 – Intercrescimento anfibólio, granada a partir de minerais de hiperstênio (Luz natural ortoscópica e Luz ortoscópica) (amostra MMAG52).....	30
Fotomicrografias 11 e 12 – Hiperstênio com anfibólio e granada circundados por plagioclásio e quartzo (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica) (amostra MMAG57A)....	30
Fotomicrografias 13 e 14 – Hiperstênio com anfibólio, biotita, plagioclásio e opacos (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica) (amostra CIPA).....	31
Fotomicrografias 15 e 16 – Hiperstênio, granada e biotita circundando por hornblenda com clivagens perpendiculares (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica) (amostra CIPA).....	31
Fotomicrografias 17 e 18 – Relictos de biotita com intercrescimento de hornblenda, hiperstênio, plagioclásio, opacos e quartzo (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica) (amostra CIPA).....	31
Fotomicrografias 19 e 20 – Hornblendas prismáticas, biotita, feldspato potássico sericitizado, mirmequita, antipertitas e opacos (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica)...	36
Fotomicrografia 21 – Minerais de feldspato potássico sericitizado e plagioclásio com geminação albita carlsbad (Luz natural polarizada).....	36
Fotomicrografia 22 – Hornblenda em conjunto com hiperstênio, plagioclásio e pertitas (feldspato potássico) (Luz ortoscópica).....	36
Fotomicrografia 23 – Opacos, feldspato potássico e hornblenda (Luz natural polarizada)....	36
Fotomicrografia 24 – Minerais de piroxênio (hiperstênio) em conjunto com granadas, opacos e hornblenda (Luz ortoscópica).....	36
Fotomicrografias 25 e 26 – Hornblendas prismáticas com crescimento de titanita, biotita com hornblenda intercrescida (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).....	40
Fotomicrografias 27 e 28 – Quartzo formando mosaico granoblástico e biotita acompanhando a foliação (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).....	40
Fotomicrografias 29 e 30 – Plagioclásio com geminação albita carlsbad e hornblenda (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).....	40
Fotomicrografia 31 - Textura inequigranular protomilonítica (Luz natural polarizada).....	44
Fotomicrografia 32 – Minerais de quartzo com extinção ondulante e plagioclásios alterados (sericitizados) (Luz ortoscópica).....	44
Fotomicrografia 33 – Plagioclásio, biotita e hornblenda (Luz ortoscópica).....	44

Fotomicrografia 34 – Biotitas e hornblendas circundadas por quartzo e feldspato potássico(Luz natural polarizada).....	44
Fotomicrografia 35 – Opacos, hornblenda e biotita (Luz natural polarizada).....	44
Fotomicrografia 36 – Feldspato potássico sericitizado (Luz natural polarizada).....	44
Fotomicrografia 37 – Microclina alterada (sericitizada) com geminação albita periclina (Luz natural polarizada).....	49
Fotomicrografia 38 – Hornblenda prismática, biotita com inclusão de zircão e titanita (Luz ortoscópica).....	49
Fotomicrografias 39 e 40 – Hornblenda intercrescida em biotita, quartzo e plagioclásio com geminação albita carlsbad (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).....	49
Fotomicrografias 41 e 42 – Granada com hornblenda intercrescendo nas fraturas e inclusões de quartzo e zircão (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).....	49
Fotomicrografias 43 e 44 – Minerais de plagioclásio com geminação albita carls bad, biotita, quartzo, feldspato potássico alterado (sericitizado), hornblenda e biotita (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).....	53

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 01 – Coordenadas UTM e geográficas dos vértices da área de pesquisa.....	1
Quadro 02 – Geobarômetro Al – hornblenda nos biotita gnaiss com hornblenda.....	84
Quadro 03 – Resultados do termômetro Ti em hornblenda para os biotita gnaiss com hornblenda.....	85
Quadro 04 – Resultados do termômetro hornblenda-plagioclásio para os biotita gnaiss com hornblenda.....	85
Quadro 05 – Resultados do geobarômetro Gr-Cpx-Pl para os enderbitos.....	86
Quadro 06 – Resultados do geotermômetro Gr-Cpx para os enderbitos.....	87
Quadro 07 – Geobarômetro Al – hornblenda nos granodioritos.....	89
Quadro 08 – Resultados do termômetro Ti em hornblenda para os granodioritos.....	89
Quadro 09 – Resultados do termômetro hornblenda-plagioclásio para os granodioritos.....	90
Quadro 10 – Geobarômetro Al – hornblenda nos granodioritos com granada.....	91
Quadro 11 – Resultados do termômetro Ti em hornblenda para os granodioritos.....	91
Quadro 12 – Resultados obtidos na determinação das idades modelo T_{DM} pelo método Sm/Nd.....	95
Quadro 13 – Resultados obtidos na determinação das idades pelo método U/Pb.....	96
Quadro 14 – Resultados da análise petrográfica.....	99
Quadro 15 - Índices físicos do Verde Netuno.....	101
Quadro 16 - Resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial realizado no Laboratório de Rocha Ornamental da UNESP e dos dados estatísticos do Verde Netuno..	102
Quadro 17 - Resultados do ensaio de resistência à flexão 3 pontos realizado no Laboratório de Rocha Ornamental da UNESP e dos dados estatísticos do Verde Netuno..	103
Quadro 18 - Resultados do ensaio de Desgaste Amsler do Verde Netuno.....	105
Quadro 19 - Resultados quantitativos obtidos no ensaio de resistência ao ataque químico relativo à perda do brilho – PB do Verde Netuno.....	107
Quadro 20 – Quadro comparativo dos ensaios no Verde Netuno.....	109

RESUMO

A área em apreço constitui-se de um conjunto formado por biotita gnaisses com hornblenda, granulitos (enderbitos e charnockitos), granodioritos, monzogranitos, granodioritos com granadas e diques (sienogranitos) e coberturas colúvio-aluvionares.

A associação mineral metamórfica representante dos biotita gnaisses com hornblenda é formada por biotita + hornblenda + plagioclásio + feldspato potássico + quartzo, estabelecendo assim condições de P e T compatíveis ao fácies anfíbolito. Os valores de P para esses litotipos estão entre 5,8 a 7,1 kbar e as temperaturas em torno de 707°C.

Para os enderbitos a associação encontrada foi ortopiroxênio (hiperstênio) + clinopiroxênio + granada + plagioclásio + biotita + hornblenda + quartzo. Os valores de pressão, em média, estão em torno de 9,5kbar e a temperatura, em média, em 732°C; esses resultados são coerentes com as condições do fácies granulito.

Os granodioritos mostraram valores de pressão de 7,6Kbar em média. As temperaturas calculadas para esses litotipos ficaram em torno de 764°C.

Nos granodioritos com granadas a pressão média encontrada foi de 9,1Kbar e temperaturas com média de 837°C.

As análises isotópicas realizadas pelo método Sm/Nd (T_{DM}) e U/Pb em zircão no charnockito resultaram no valor de $\varepsilon(t) = -2,349$ para uma idade Sm/Nd (T_{DM}) de 2,56Ga e uma idade U/Pb de 2092 ± 11 Ma, esse valor negativo de $\varepsilon(t)$ indica que houve um processo de retrabalhamento crustal e que provavelmente o conjunto granulítico não representa as raízes do arco magmático de Santa Quitéria.

A caracterização tecnológica realizada nos enderbitos da área seguiram normas específicas da ABNT e ASTM. Para os ensaios físico-mecânico foram obtidos os seguintes resultados: índices físicos (massa específica aparente, 2,844 e 2,849Kg/m³ ; porosidade aparente, 0,49% ; absorção de água, 0,17%); resistência a compressão uniaxial simples, 175,09 e 160,19MPa; resistência a flexão de 3 (três) pontos, 15,06 e 13,71MPa e desgaste por atrito (Amsler), 0,77 e 0,94mm.

Nos ensaios de alterabilidade (ataque químico) a maior perda de brilho ocorreu no ataque por hidróxido de potássio e a menor pela adição do ácido clorídrico. As características físico-mecânicas, associadas ao aspecto estético qualificam este material para aplicação como rochas ornamentais e de revestimento.

ABSTRACT

The study area is constituted by an assembly formed by biotite gneiss with hornblende, granulites (enderbites and charnockites), granodiorites, monzogranites, granodiorites with garnet and dikes (sienogranites) and alluvium colluvial deposits.

The mineral metamorphic association representative of the biotite gneiss with hornblende is formed by biotite + hornblende + plagioclase + potassic feldspar + quartz, establishing conditions of P and T compatible to the Anfibolite facies. The values of P for those litotipos are between 5,8 to 7,1 kbar and the temperatures around 707°C on average.

The granodiorites showed values of pressure of 7,68Kbar on average. The temperatures calculated for those litotipos stayed around 764°C.

In the granodiorites with garnet in pressure medium found was of 9,15Kbar and temperatures medium of 837°C.

The isotopyc analyses did used method Sm/Nd (T_{DM}) and U/Pb in zircon in charnockite resulted in the value of $\varepsilon(t) = -2,349$, for an age Sm/Nd (T_{DM}) de 2,56Ga and an age U/Pb de 2092 ± 11 Ma, that negative value of $\varepsilon(t)$ indicates that had a process of crustal reworking and probably this granulite does not represent the base of magmatic arc of Santa Quitéria.

The technological characterization did in the enderbites of the area followed specific norms by ABNT and ASTM. For the physical-mechanical analysis results obtained are: physical indexes (specific gravity 2,844 and 2,849kg/m³; porosity 0,49%; water absorption 0,17%); simple uniaxial compression resistance 175,09 and 160,19MPa; flexural resistance, 15,06 and 13,71MPa and (Amsler) abrasive wear, 0,77 and 0,94mm.

In the weathering test (chemical attack) the biggest loss of brilliance occurred in the attack by potassium hydroxide while the smallest loss was caused by the addition of the chloridric acid. The petrographics aspects and the results of physical and physical-mechanical tests suggest a potential use of this rocks as both dimension and covering stones in construction purposes.

1 - Introdução

1.1. Apresentação

A dissertação em apreço corresponde a um mapeamento geológico, análise e interpretação de dados petrográficos, geoquímica mineral, caracterização tecnológica e análises isotópicas (métodos Sm/Nd e U-Pb) de rochas granulíticas aflorantes na região de Macaco, município de Itapipoca (CE), com intuito de uma análise voltada a história crustal da região supra citada, para a qual é aventada a possibilidade de corresponder à porção mais profunda do Arco Magmático (“Raízes do Arco”) de Santa Quitéria (Fetter *et al.*, 2003).

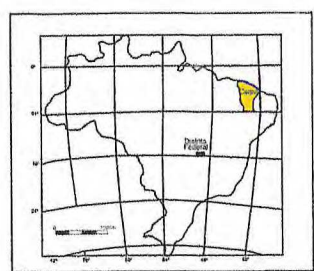
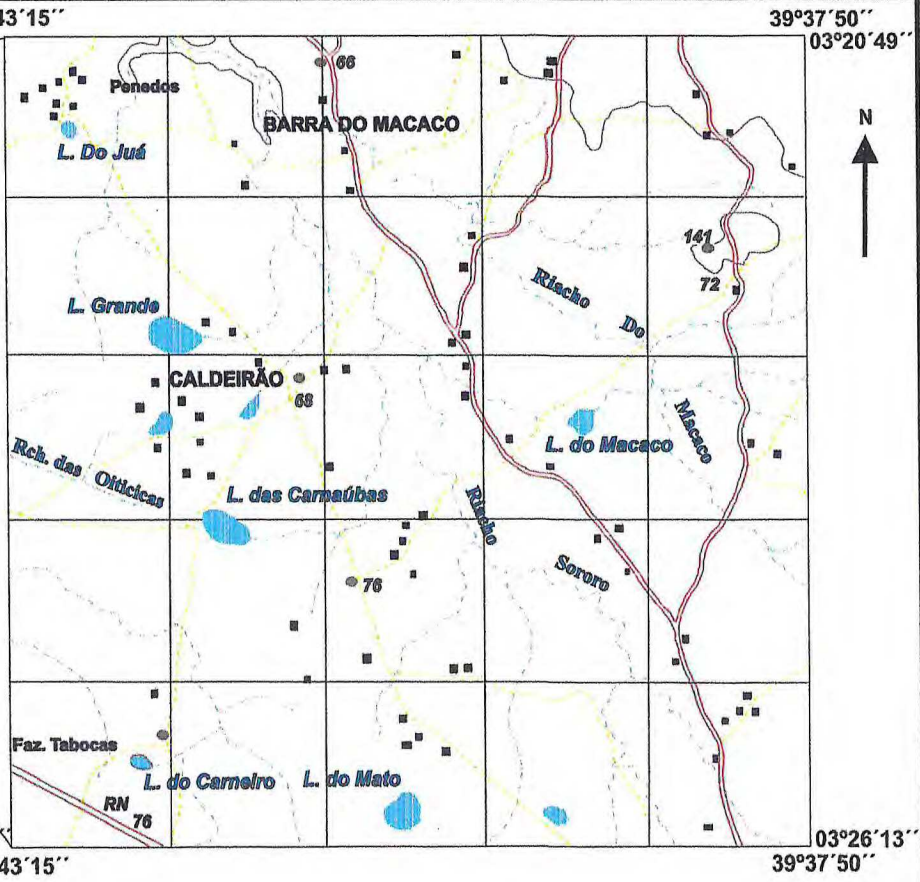
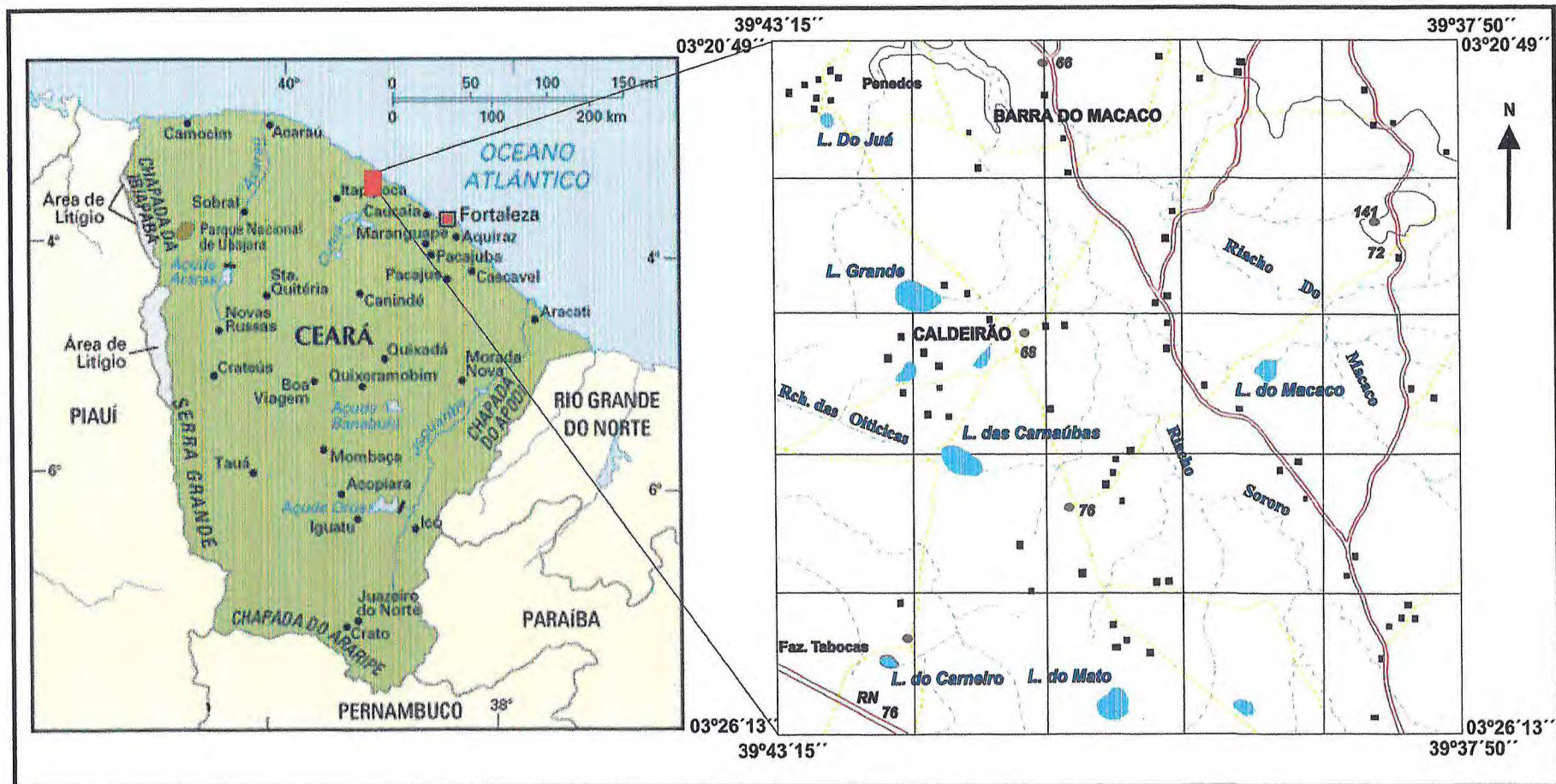
1.2 – Localização e Vias de Acesso à Área Pesquisada

A área em questão está localizada no Estado do Ceará, a noroeste do município de Itapipoca, este último situado na folha SA.24-Y-D-II. O acesso é realizado saindo de Fortaleza para Itapipoca pela BR-222, passando pelos municípios de Caucaia, São Luis do Curu até Umirim, de onde se segue para norte pela CE-402 por aproximadamente 140Km até a sede (Figura 01).

A área de estudo totaliza 100Km² e está delimitada pelos (4) vértices a seguir:

Número do vértice	Coordenadas (UTM)		Coordenadas Geográficas	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
1	420000	96300000	03°20'49"	39°43'15"
2	430000	96300000	03°20'49"	39°37'50"
3	430000	96200000	39°43'15"	03°26'13"
4	420000	96200000	39°37'50"	03°26'13"

Quadro 01 – Coordenadas UTM e geográficas dos vértices da área de pesquisa.



LEGENDA

- Estrada
 - Caminho
 - Drenagem
 - Lagoas
 - Curva de nível
 - Localidades
 - Ponto Cotado
- 0 2 4Km

Introdução

Figura 01 – Mapa de Localização da Área de Pesquisa.

1.3 – Objetivos

1.3.1. Objetivos gerais

O objetivo principal desta dissertação é a reconstrução da evolução geológica da “Suíte” granulítica Macaco, através de dados petrográficos, de química mineral e geocronológicos.

1.3. 2. Objetivos específicos

- Mapeamento e caracterização das unidades litoestratigráficas presentes na área;
- Confecção de mapa geológico na escala de 1: 50000;
- Análise e interpretação de dados petrográficos e química mineral determinando assim as condições de P e T das unidades;
- Obtenção de dados geocronológicos Sm/Nd e U/Pb em zircão;
- Caracterização tecnológica dos granulitos presentes na área.

1.4 – Metodologia

A metodologia empregada nesta dissertação cobre ampla gama de atividades, e para tanto, seu desenvolvimento é aqui separado em etapas/atividades distintas:

a- Etapa inicial – Levantamento bibliográfico acerca da geologia da região, mais especificamente sobre o corpo granulítico do Macaco. Triagem de mapas da região com interesse voltado à área estudada. Interpretação fotogeológica, em escala de 1:25000 para confecção de mapa fotogeológico preliminar.

b- Etapa de campo – Reconhecimento geológico, com 30 (trinta) dias efetivos de campo, realizado em três fases. Foram realizadas visitas aos afloramentos da região com descrição dos litotipos, estudo das relações de contatos, tomada de atitudes dos elementos estruturais diversos, coleta de amostras para análises petrográfica, química mineral, geocronológica e caracterização tecnológica.

c- Etapa laboratorial – Caracterizada pela diversidade de atividades conforme os objetivos propostos. Inicialmente foi realizada a preparação de amostras para a análise petrográfica e de química mineral. Assim, por meio de serras diamantadas e politrizes especiais, foram confeccionadas 23 lâminas. A preparação de amostras para geocronologia Sm/Nd (T_{DM}) em rocha total foi efetuada com a pulverização de duas amostras de rochas (enderbito e charnockito) através de trituradores, até o

moinho oscilante com recipiente de ágata, atingindo então frações de 250mesh. Para os estudos geocronológicos U-Pb em zircões, 2 (duas) amostras (enderbito e charnockito) foram trituradas, sendo separadas as frações entre 120-200mesh para concentração de pesados e separação dos zircões.

1.4.1. Análise Química em Mineral

Nessa etapa foram confeccionadas 9 (nove) lâminas para as análises químicas minerais. As lâminas foram analisadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Petrografia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP.

As análises químicas de minerais foram obtidas por Microsonda Eletrônica JEOL (JXA – 8600) cujas condições instrumentais de análise são as seguintes:

- Potencial de aceleração: 15kv
- Corrente de amostra: 10nA
- Diâmetro do feixe eletrônico: 5 μ

O tratamento desses dados, assim como a elaboração de diagramas de classificação dos minerais, foi feito através do programa MINPET 2.ΦL (Richard, 1995).

Após essa etapa, foram realizados os cálculos termobarométricos, utilizando o programa ESCHER (programa em Basic escrito por T. G. Nijland, Universidade de Utrecht – Holanda).

1.4.2. Análise Geocronológica

As amostras para as datações foram preparadas na Universidade Estadual Paulista - UNESP e posteriormente enviadas para o laboratório de geocronologia da Universidade de Brasília (UNB), para serem analisadas pelos métodos Sm/Nd (T_{DM}) em rocha total e U/Pb em zircão, objetivando fornecer a idade do protólito em estudo.

Foram analisadas (2) duas amostras de granulitos, sendo 1 (uma) de enderbito (amostra CIPA) e 1 (uma) de charnockito (amostra CIP2).

➤ Método Sm/Nd (T_{DM}) em rocha total

1) Preparação e separação por cromatografia

Amostras de mão homogêneas e representativas foram coletadas para a datação. Estas rochas foram britadas e moídas e o pó resultante deste processo foi então analisado. Coloca-se aproximadamente 300mg de amostra em uma bomba de Teflon previamente descontaminada (faz-se necessário um ciclo de limpeza envolvendo o HF/HNO₃ e HCL) juntamente com o traçador isotópico (*spike*). As amostras levam 5 (cinco) dias para serem completamente dissolvidas na estufa e, posteriormente, são encaminhadas para as colunas de cromatografia.

O processo de separação nas colunas se divide em duas etapas. Na primeira é necessário separar somente os Elementos Terras Raras (ETR) dos demais elementos químicos presentes na análise (o Sm e o Nd são dois ETR). Nesta etapa usa-se o HCL em diferentes concentrações (0.25, 0.5 e 6N). Na segunda etapa, em colunas menores, separa-se o Nd e posteriormente o Sm dos demais ETR, agora usando diferentes concentrações do ácido (0.18 e 0.5N de HCL). Os elementos concentrados estão prontos para a análise no espectrômetro.

2) Espectrometria de massa e resultados analíticos

Análises Sm/Nd (T_{DM}) rocha total foram desenvolvidas e os Elementos Terras Raras extraídos usando o método de Patchet & Ruiz (1987). As composições isotópicas foram medidas com o espectrômetro de massa VG com multi-coletores. O Sm foi depositado com H₃PO₄ em filamento de Ta (tântalo) e tipicamente analisado como Sm⁺ em multi-coletor. O Nd foi depositado com ácido fosfórico em um filamento de Rênio (Re) junto com uma fina camada de resina AGW-50 e analisado com Nd⁺ usando módulos dinâmicos.

➤ Método U/Pb

1) Separação do zircão das amostras.

As amostras coletadas no campo são quebradas, britadas, moídas e peneiradas em diferentes granulometrias, guardando os concentrados das frações < 60mesh, onde os diferentes minerais estão desagregados. Este concentrado é levado para uma bateia onde os minerais pesados (minerais como zircão, titanita, granada, monazita, apatita e minerais magnéticos) são separados

por densidade dos minerais leves (minerais como quartzo e feldspato). Um novo concentrado, agora com poucas gramas, é obtido. O principal mineral a ser usado na metodologia U/Pb é o zircão. O zircão é separado dos demais minerais pesados através de um separador magnético do tipo Frantz.

2) Lavagem, pesagem, diluição isotópica e extração do U e Pb.

A etapa seguinte consiste na utilização de líquidos pesados de diferentes densidades, tais como o bromofórmio (densidade 2,6) e o Iodeto de Metileno (densidade 3,2), cujo principal objetivo é a purificação do concentrado de zircão. As impurezas existentes no concentrado de zircão são removidas com HNO₃ (pirita e apatita são dissolvidos nesta etapa). Posteriormente, o concentrado de zircão é levado novamente para o separador magnético Frantz, onde são separadas várias frações de zircões com diferentes susceptibilidades. A razão disto é que existe uma relação inversa entre susceptibilidade magnética e a concentração de Pb neste mineral.

Com o auxílio de uma lupa são escolhidos 10-20 grãos de zircão para cada fração a ser analisada. Escolhem-se zircões sem impurezas, bem formados e sem zonação. Os zircões são levados para abrasão à Ar, que consiste em colocá-los dentro de uma cápsula com ar comprimido para que suas bordas (faces minerais) sejam arredondadas e assim o zircão não apresente sobrecrescimentos metamórficos, e a análise isotópica seja feita só do núcleo do cristal. A razão desta etapa é obter uma idade de cristalização mais precisa e eliminar a perda de chumbo que possa haver durante o metamorfismo ou qualquer outro evento posterior que afete o zircão analisado.

As amostras estão prontas para serem dissolvidas. A parte principal desta etapa é a limpeza das bombas de Teflon e microcápsulas de Teflon onde os zircões serão depositados, bem como o cuidado que se deve ter com os ácidos utilizados durante a preparação das amostras. É necessário fazer um ciclo de limpeza usando os ácidos HF/HNO₃, HCL e HF. Então depositam-se os zircões pesados anteriormente nas microcápsulas. Dependendo da amostra pode-se usar de 1 (um) até 10 (dez) grãos por microcápsula, pesando-se em média 30µg por amostra. Geralmente 1 (um) grão pesa de 1 a 14 microgramas.

Nas microcápsulas contendo o zircão é adicionado uma solução com os traçadores isotópicos (*spike*) ²⁰⁵Pb e ²³⁵U. As microcápsulas são deixadas em estufa,

a 250°C, por 3 (três) dias, para que ocorra a completa dissolução dos zircões. Após esta etapa, a solução é passada através de colunas de troca iônica, (cromatografia) utilizando resina aniônica AG-1X8 200-400mesh, para purificação de U e Pb, através da lixiviação de outros elementos químicos por diferentes ácidos (HBr e HCL em diversas etapas).

3) Espectrometria de Massa e Resultados Analíticos

O procedimento aqui utilizado segue o descrito em Van Schmus *et al.*, (1996). As razões isotópicas foram medidas em modo estático usando um espectrômetro de massa multi-coletor marca VG equipado com um detector Daly para exemplares pequenos. A composição isotópica do Pb foi analisada em filamentos individuais de Re (Rênio) usando sílica gel e ácido fosfórico, corrigidos pela análise de Pb radiogênico de padrões internacionais, no caso o NBS SEM 982. Em muitos casos, Urânio foi depositado em filamento de Re com ácido fosfórico e uma camada de carbono coloidal, e analisado como U^+ . Nos exemplos não foram usadas colunas de purificação iônica em que o U é medido como UO_2^+ . O fracionamento do U foi monitorado pela análise do padrão NBS U-500, isto é, os fatores de correção isotópica são calculados através da análise de padrões que possuem razões conhecidas. Incertezas nas razões U/Pb ocorrem devido a incertezas no fracionamento e espectrometria de massa; são típicas ao redor de 0.5%, podendo chegar a 2% em monocristais de zircão.

^{208}Pb , ^{207}Pb e ^{206}Pb radiogênicos foram calculados pela correção de brancos analíticos do Pb não radiogênico original, a fim de calcular as idades das amostras pelo modelo de Stacey & Kramers (1975). Incertezas na razão de Pb radiogênico são tipicamente menores ($\pm 0.1\%$) nos exemplos que têm baixas razões $^{206}Pb/^{204}Pb$, sendo que em casos destas razões serem elevadas, correções foram efetuadas. Cuidados durante a obtenção das medidas, como o controle da temperatura, são importantes para evitar o efeito do fracionamento isotópico.

As constantes de decaimento usadas foram $0.155125 \times 10^{-9} \text{ano}^{-1}$ para ^{238}U e $0.98485 \times 10^{-9} \text{ano}^{-1}$ para ^{235}U . Os brancos analíticos variaram de 100 à 10pg de Pb total nos últimos anos no IGL, dependendo do procedimento de dissolução usado no laboratório limpo. Geralmente, os valores dos brancos não interferem significativamente na incerteza das idades das amostras, embora em muitas das análises de

monozircões este possa ser um fator que contribui para o aumento da incerteza do cálculo da idade.

d- Etapa final – Tratamento, integração dos dados e confecção do documento final.

2 – Arcabouço Geológico Regional

2.1. Considerações Gerais

A Província Borborema compreende uma extensa região com rochas de idade pré-cambriana, que cobrem uma superfície superior a 450.000km² do Nordeste Brasileiro, constituindo uma área de intensa complexidade litoestrutural e longa história geológica, desde a era Arqueana. Nesta Província, é marcante a atuação do ciclo Brasileiro/Pan-Africano (Neoproterozóico), caracterizada pelo intenso magmatismo granítico e desenvolvimento de extensas zonas de cisalhamento transcorrentes (Almeida *et al.*, 1977). A Província Borborema tem sido recentemente dividida em domínios geotectônicos diversos, formando blocos crustais que foram amalgamados durante a orogênese (colagem) brasileira (Santos, 2003).

Os terrenos Pré-Cambrianos expostos no Estado do Ceará podem ser divididos em vários domínios litoestruturais, os quais englobam variadas seqüências de litotipos, com evoluções tectôno-metamórficas e sedimentares distintas (Kegel, 1965; Caby *et al.*, 1991; Arthaud *et al.*, 1998). Tais domínios são limitados por expressivas descontinuidades crustais materializadas por megazonas de cisalhamento. Correspondem a 5 (cinco) os principais domínios Pré-Cambrianos do Ceará, e são denominados por: Piancó – Alto Brígida (A), Granjeiro (B), Sistema Orós – Jaguaribe (C), Ceará Central (D) e NW do Ceará (Médio Coreaú) (E) (Arthaud *et al.*, 1998) (Figura 02).

A área objeto da pesquisa situa-se no Domínio Ceará Central (DCC), descrito a seguir.

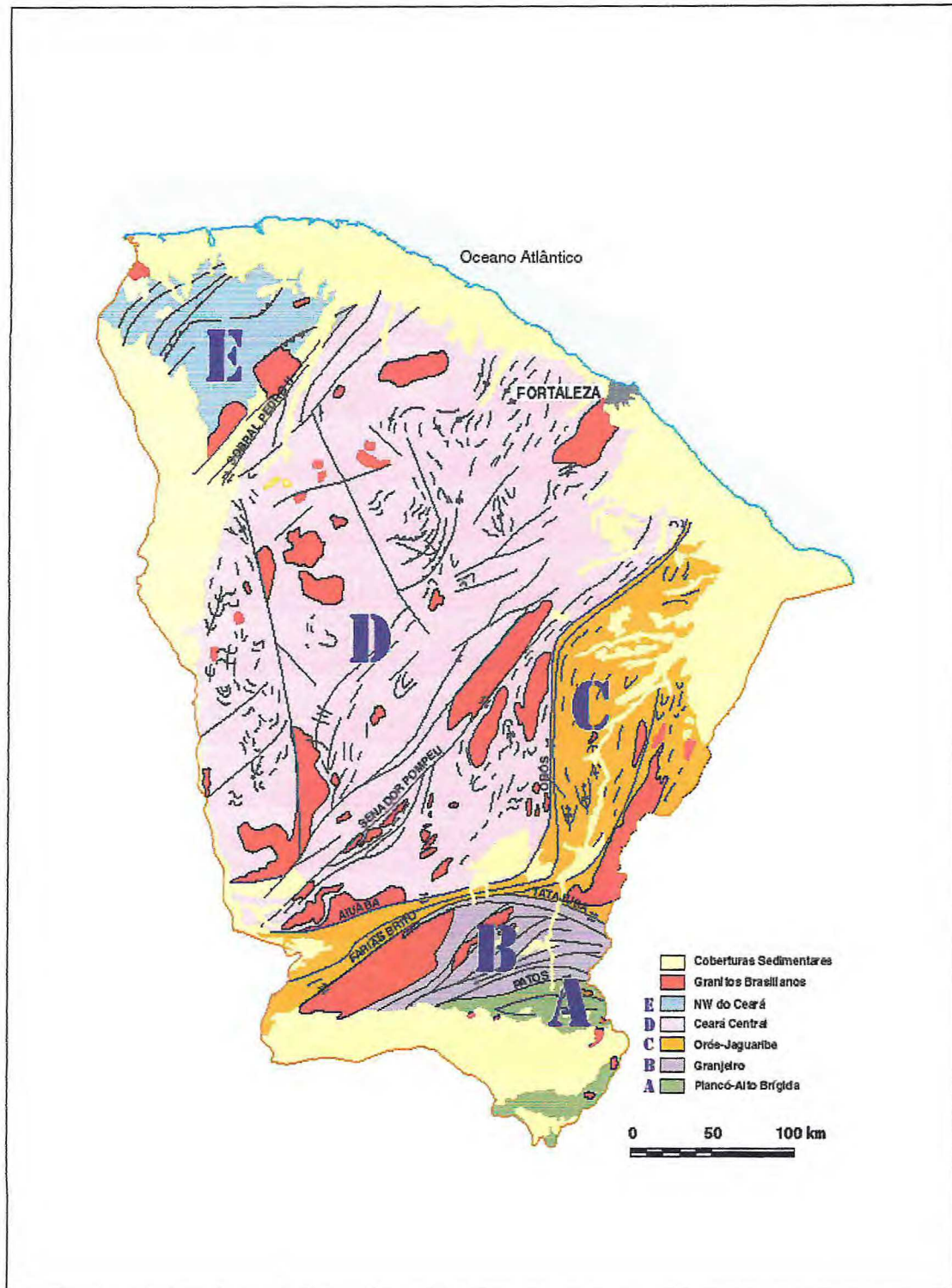


Figura 02 - Principais Domínios dos Terrenos Pré-Cambrianos do Ceará (Arthaud *et al.*, 1998).

2.2. Domínio Ceará Central (DCC)

O Domínio Ceará Central é a mais extensa unidade litoestrutural da região central da Província Borborema, com 80.000Km², delimitado a NW pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasiliano), a SE pela zona de cisalhamento Senador Pompeu (ZCSP), e a SW-W é encoberto pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba (Van Schmus *et al.*, 1995 e modificado por Fetter *et al.*, 2003) (Figura 03).

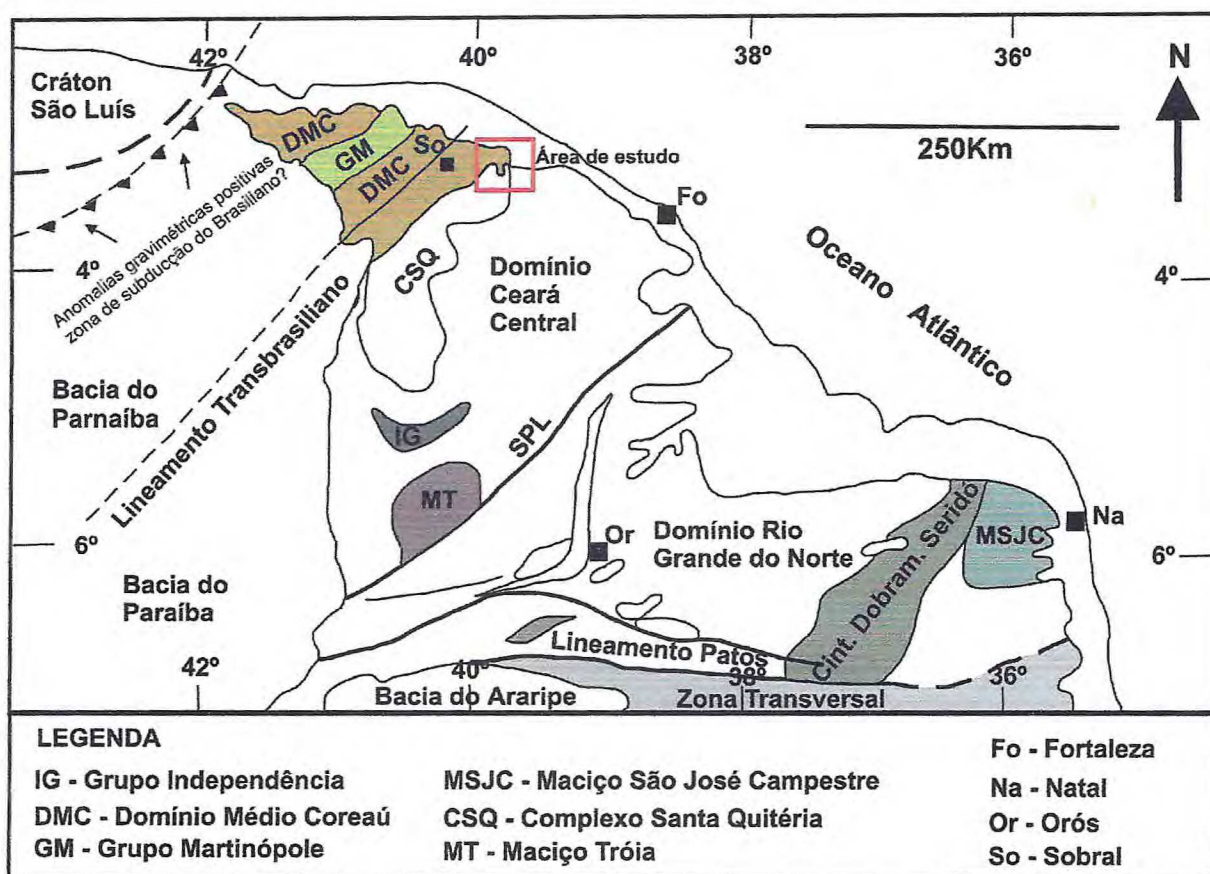


Figura 03 – Mapa geológico regional mostrando as partes constituintes da Província Borborema e arredores do Lineamento de Patos.

A região central cearense está inserida no Sistema de Dobramentos Jaguaribeana, conforme Brito Neves *et al.*, (1975), onde na maior parte, expõem-se terrenos do embasamento fortemente retrabalhados, superposto, em algumas áreas, por faixas de rochas supracrustais.

Souza & Braga (1984), em trabalhos realizados na porção central do Domínio Ceará Central, descrevem as seguintes unidades litoestratigráficas: uma

representada pelo embasamento cristalino de idade Transamazônica constituída por litótipos gnáissico-migmatíticos, que englobam restos de corpos básicos/ultrabásicos, ortognaisses, quartzitos, anfibolitos e lentes de mármore; uma segunda unidade, a cobertura dobrada, está representada por uma seqüência vulcano-sedimentar cujo posicionamento no Proterozóico Médio é feito em relação ao Grupo Martinópolis, de Prado *et al.*, (1979). Estas faixas estão representadas como unidades proterozóicas geradas ou retrabalhadas no Ciclo Brasileiro. A terceira unidade é composta por uma associação magmática-plutônica do Neoproterozóico caracterizada por corpos granitóides de dimensões batolíticas, com representantes das fases sin, tardi e pós-tectônica do Ciclo Brasileiro.

Caby & Arthaud (1986), classificaram os terrenos Pré-Cambrianos cearenses em três tipos: terrenos arqueanos com retrabalhamento no Brasileiro, seqüências supracrustais monocíclicas, deformadas e metamorizadas no Ciclo Brasileiro e os Complexos Graníticos Brasileiros. Esses autores referiram-se aos grandes lineamentos do Ceará como zonas de cisalhamento dúctil que recortam os terrenos Pré-Cambrianos da parte sul do estado como sistemas ramificados de extensões regionais, enquanto na parte centro-norte, com terrenos arqueanos sobrepondo-se aos proterozóicos.

Monié *et al.*, (1997), descreve no Domínio Ceará Central as *nappes* de Independência e Domínio Tróia-Pedra Branca. As *nappes* consistem de uma cobertura proterozóica monocíclica chamada por muitos autores de Grupo Ceará, subdividido em duas porções principais: uma inferior composta por quartzitos, mármore e gnaisses calcissilicáticos ricos em escapolita, o que aponta para uma deposição do tipo plataformal sob condições evaporíticas locais. Também são encontradas intrusões pré-metamórficas de sienito, quartzo sienito, *sills* acamadados e em menores quantidades álcali-gabro, todas exibindo trama gnáissica e assembléia de alto grau metamórfico; a porção superior consiste de gnaisses pelíticos que foram sujeitos a condições anatéticas tardi-cinemáticas, indicadas pelo desenvolvimento de abundantes leucossomas em rochas semi-pelíticas.

Um Cinturão Granulítico na região de Mombaça, ainda segundo aquele autor, está exposto ao longo da parte sudoeste da zona de cisalhamento de Senador Pompeu. A chanockitização progressiva de gnaisses e metassedimentos tomaram lugar em condições sin-cinemáticas durante a colocação de veios sigmoidais e *plug* de noritos. A cristalização da granada, ortopiroxênio e feldspato mesoperítico foi

iniciada nas margens dos veios noríticos e progressivamente se desenvolveu dentro dos gnaisses, substituindo as tramas mais antigas e suas assembléias minerais. Em último estágio, os veios noríticos foram fatiados, boudinados e assimilados pela hospedeira sendo parcialmente fundidos pelas rochas regionais.

O Domínio Tróia-Pedra Branca consiste de uma associação de terrenos ígneos representando um embasamento não migmatítico menos retrabalhado, sobreposto pelas *nappes* de Independência (Monié *et al.*, 1997). Os gnaisses cinza bandados derivam de várias rochas intrusivas, principalmente tonalitos e granodioritos e não exibem nenhuma evidência de fusão anatética regional pós-ígneia preservando assim as relações intrusivas originais com as rochas supracrustais (metassedimentares e *greenstone*) que compõem uma grande parte desse domínio.

Arthaud *et al.*, (1998), definem o Domínio Ceará Central como caracterizado por grandes *nappes* recumbentes bem preservadas que envolvem o embasamento policíclico e as rochas supracrustais. Relatam para o conjunto um metamorfismo de alta pressão associado ao empilhamento de *nappes*, evoluindo em direção a um metamorfismo de alta temperatura, com descompressão de *nappes*, enquanto condições de mais baixas pressões afetaram o embasamento para-autóctone. Subseqüentemente, dominaram processos transpressionais ao longo da zona de cisalhamento Senador Pompeu, através da qual conjuntos alongados de plútons foram intrudidos.

Fetter (1999) e Fetter *et al.*, (2003), subdividem o Domínio Ceará Central (DCC) em distintos terrenos, a saber: I – Embasamento Arqueano; II – Terrenos Acrescionários Paleoproterozóicos; III – Terreno Santa Quitéria.

I - Embasamento Arqueano

Em algumas áreas do DCC, os terrenos do embasamento foram caracterizados com arranjos litoestratigráficos similares aos de terrenos do tipo granito-greenstone de áreas cratônicas. Tais terrenos afloram ao longo da borda ocidental da zona de cisalhamento Senador Pompeu. Nas regiões de Tróia, Pedra Branca e Mombaça. Pessoa & Arcanjo (1984) e Pessoa *et al.*, (1986), reconheceram uma seqüência meta-vulcano-sedimentar composta por metabasaltos, sills máfico-ultramáficos, xistos grafitosos, mármore, quartzitos e metacherts; além de uma suíte metaplutônica básica-ultrabásica formada por metagabros, metadioritos, meta-

anortositos, serpentinitos e piroxenitos com níveis de cromititos. Essa assembléia tem recebido a denominação de Grupo Cruzeta e/ou Seqüência Tróia. A idade da referida seqüência é atribuída ao arqueano, visto que Pessoa *et al.*, (1986), registraram idade Rb-Sr em rocha total de $2,6 \pm 0,1$ Ga em leucognaisse peraluminoso, e Fetter *et al.*, (1997), obtiveram para uma rocha félsica intercalada nas metavulcânicas máficas com idade U-Pb em zircão de 2.776 ± 65 Ma, e idade modelo (T_{DM}) de 2,81Ga com valores de ϵNd de +2,1.

Os terrenos gnáissicos e granulitos de composição tonalítica a granodiorítica, situados entre as zonas de cisalhamento Sabonete-Inharé e Senador Pompeu (Complexo Mombaça de Medeiros *et al.*, 1993), apresentam rochas arqueanas com idades modelos (T_{DM}) variando entre 2,8 e 3,04Ga, e cujas idades U-Pb em cristais de zircão contidos nos gnaisses, exibem com 2.857 ± 42 Ma e 2.794 ± 77 Ma (Fetter, 1999). O autor supracitado também obteve em ortognaisses tonalíticos, localizados à borda da zona de cisalhamento Sabonete-Inharé, idade U-Pb (mono-zircões) arqueana (2.773 ± 60 Ma) e idade T_{DM} de 2,92Ga com valores negativos de ϵNd (- 0,2).

II - Terrenos Acrescionários Paleoproterozóicos

São constituídos por paragnaisses e ortognaisses diversos, situados entre o Complexo de Santa Quitéria e a zona de cisalhamento Senador Pompeu (ZCSP). Correspondem ao Grupo Itatira e parte do Grupo Ceará, este último formado por rochas paraderivadas, com quartzitos basais seguidos de xistos, paragnaisses e carbonatos, fechando a seqüência. Outra ramificação é encontrada na borda oriental da zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasiliano no Ceará). Rochas desta unidade (Fetter, 1999), forneceram em 18 idades modelos de (T_{DM}) valores variando entre 2,22 e 2,44Ga com valores de ϵNd de +1,9 a 0,6. Quatro idades U-Pb em cristais de zircão de ortognaisses tonalíticos que resultaram no intervalo de 2,10 a 2,14Ga. Estes terrenos evoluíram provavelmente a partir de uma série de terrenos do tipo arco de ilhas (island arc) durante um intervalo de cerca de 50Ma na orogênese Transamazônica/Eburneana (Fetter, 1999; Fetter *et al.*, 2003).

III - Terreno Santa Quitéria (Arco Magmático Continental).

A denominação é recente (Van Schmus *et al.*, 1997; Fetter *et al.*, 1997, Fetter *et al.*, 2003), porém derivada do termo "Complexo ou Maciço de Santa Quitéria"

(Brito Neves, 1975; Santos & Brito Neves, 1984; Cavalcante *et al.*, 1983). Formado por migmatitos tonalíticos a granodioríticos, Fetter (1999), obteve idade U-Pb em zircão de 622Ma e idades modelos T_{DM} variando entre 0,990 a 1,16Ga. Tais dados foram interpretados como uma mistura de material juvenil do Ciclo Brasileiro/Pan Africano com materiais mais antigos do embasamento num ambiente de arco magmático continental de idade pré-brasiliana. Neste modelo, materiais supracrustais circundantes às rochas plutônicas podem corresponder a sedimentos derivados do arco e depositados em bacias do tipo *ante* e *retro-arco* (*fore-arc/back-arc basin*) (Fetter *et al.*, 2003).

O Batólito de Santa Quitéria inclui uma grande variedade de litotipos dioríticos e graníticos sendo flanqueado por sedimentos de *fore-arc* e *back-arc* (vulcânico vulcanoclástico e rochas calcissilicáticas) (Fetter *et al.*, 2003).

Baseado em observações de campo efetuadas no Batólito de Santa Quitéria foram distinguidos 4 (quatro) tipos principais de granitóides associados ao desenvolvimento do arco magmático (Fetter *et al.*, 2003). São eles: i – pré-colisional tipo I, rochas dioríticas, granodioríticas, interpretadas como representantes de uma fase mais primitiva de magmatismo do arco. As rochas dominantes desta seqüência são granodioritos cinzentos megaporfiríticos, fortemente deformadas, metamorfizadas (fácies Anfibólito). Durante a fase posterior ao desenvolvimento do arco, sendo representados por xistos, gnaisses e migmatitos com estruturas variadas (agmatítico, estromático, flebítico, dobrado, estolítico, oftálmico, schlieren e nebulítico); ii – o segundo tipo de granitóide consiste de um migmatito mais evoluído de cor rosa acinzentado, com estruturas nebulíticas e homofânicas, constituindo o mais alto grau de deformação das seqüências dioríticas e granodioríticas pré-colisionais, são autóctones ou alóctones, localmente contém grandes enclaves de gnaisses dioríticos e anfibolíticos; iii – o terceiro grupo de granitóides inclui granitóides cinza megaporfiríticos pouco deformados e monzogranitos. Localmente estas rochas contêm quantidades variáveis de quartzo, enclaves dioríticos, sem sinais de interação com o magma, correspondendo a uma fase de alojamento do granito, associada a efeito distensivo regional durante desenvolvimento do arco; iv – uma fase de desenvolvimento final do arco magmático é caracterizada pelo posicionamento de granitos megaporfiríticos e subordinadamente granitóides com alto-K e baixo-Ca equigranulares, de composição variando entre monzogranítica e álcali feldspato granítica (Fetter *et al.*, 2003).

Considerando a evolução proposta por Fetter *et al.*, (2003), para o arco magmático de Santa Quitéria, a “Suíte” granulítica Macaco poderia corresponder à porção mais profunda do arco (“Raiz do Arco”), representante dos primeiros estágios de formação do mesmo, exumado por efeito tectônico.

Além do conjunto Pré-Cambriano descrito anteriormente, unidades mais jovens Terciária/Tércio-Quaternárias e Quaternárias são também individualizadas no DCC. Correspondem positivamente ao Grupo Barreiras, Coberturas Colúvio-Eluvionares Indiferenciadas e Aluviões.

Grupo Barreiras

Trata-se de uma seqüência sedimentar variada, constituída de clásticos finos a grosseiros que ocorrem na região litorânea. São arenitos argilosos de coloração variando de vermelho a esverdeada, passando por tons amarelados. A matriz é argilosa de natureza caulínica e o cimento mais comum é argilo-ferruginoso. A granulometria varia de conglomerática a areia fina ou silte, diminuindo da base para o topo. Os grãos e seixos variam de bem arredondados a sub-angulosos, constituídos predominantemente de quartzo, com feldspatos e argilas subordinadas (CPRM, 2003).

Coberturas Colúvio-Aluvionares Indiferenciadas

Esta unidade forma tabuleiros dispersos, aplainados com suaves ondulações gerados por dissecação lenta, através dos sistemas de drenagens. São constituídos de um material areno-argiloso grosseiro esbranquiçado, de pouca espessura, sem estratificação, em que o quartzo é o mineral dominante. Ela recobre os sedimentos do Grupo Barreiras e as rochas do embasamento cristalino.

Aluviões

São sedimentos inconsolidados constituídos de blocos e seixos de rochas regionais ou quartzo, associados às areias quartzosas grossas a médias, na maioria dos casos restritos às calhas dos rios. Quando ultrapassam as margens formando as planícies de inundação, apresentam granulometria mais fina (areia, silte e argila) e a superfície mais plana do que o leito dos rios.

2.3. Enquadramento Geológico da Área Pesquisada

Recentes investigações de campo e estudos geocronológicos de rochas do Neoproterozóico na parte noroeste da Província de Borborema, Estado do Ceará, NE Brasil, provêm informações importantes pertinentes à natureza da convergência entre a Província de Borborema e os crátons Oeste Africano e São Luis durante a formação do Gondwana Ocidental. Dados de U-Pb em zircão indicam a existência de magmatismo ao longo da margem convergente noroeste da Província Borborema, ocorrido por volta de 777Ma, seguido pelo desenvolvimento de um grande batólito de arco continental (o Batólito de Santa Quitéria) entre ca. 665 e 591Ma na parte central do Estado do Ceará. Neste sentido os granulitos presentes na área de pesquisa poderão adicionar novos dados que possam comprovar esse evento.

Em escala regional mais detalhada, observa-se que a Folha Itapipoca (SA-24-Y-D-II) inclui litologias representativas do Pré-Cambriano, não diferenciado, Proterozóico Médio e Superior, além do Terciário e Quaternário (Figura 04).

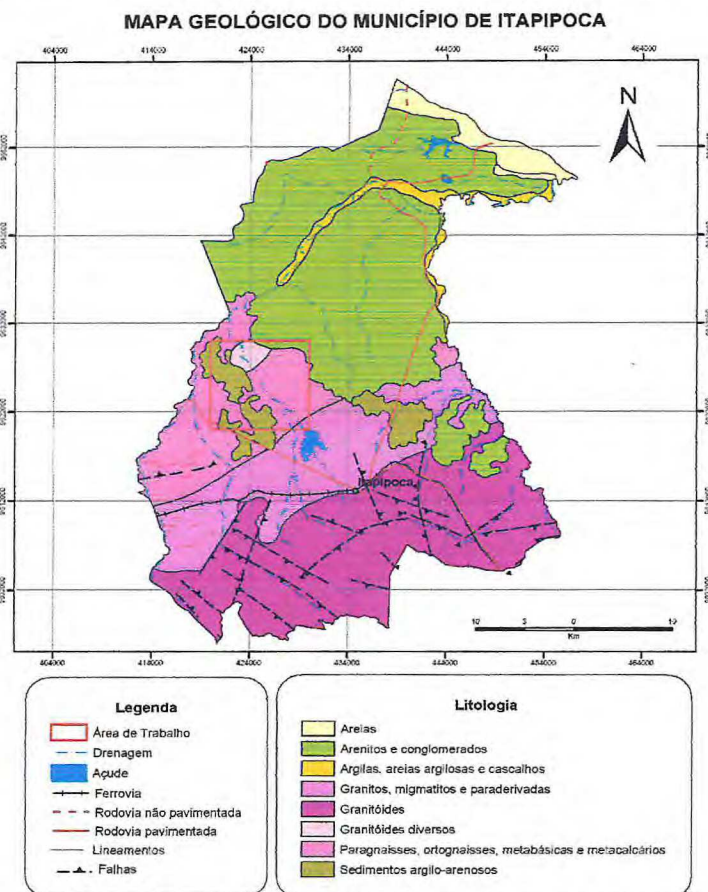


Figura 04 – Mapa geológico do município de Itapipoca com a área de pesquisa.

Fonte: Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará – Mapas na Escala 1:500. 000 (CPRM – 2003).

Na área de pesquisa os litotipos encontrados incluem biotita gnaisses com hornblenda, granulitos (enderbitos e charnockitos/charnoenderbitos), granodioritos, monzogranitos, granodioritos com granadas, diques (sienogranitos) e coberturas colúvio-aluvionares (Mapa geológico da área em anexo).

Os biotita gnaisses com hornblenda ocorrem na porção sudeste. São migmatizados com granulação média a fina e cor acinzentada.

Os granulitos presentes (enderbitos e charnockitos) localizam-se no centro e nordeste da área. Os enderbitos apresentam granulação fina à média e cor verde escuro e os charnockitos uma granulação que varia de média a grossa e coloração que vai do cinza claro ao rosado.

Granodioritos distribuem-se pela área intercalando-se as outras unidades. Possui uma coloração acinzentada com tons rosados e granulação fina a grossa.

Os monzogranitos encontrados têm sua maior expressividade na porção central da área associados aos granodioritos com granadas. São rochas de cor rosada a acinzentada com granulação variando de média a grossa.

Granodioritos com granadas ocorrem principalmente à nordeste da área. Exibem uma granulação média a grossa com megacristais de granadas arredondadas que conferem uma extrema beleza à rocha.

Os diques (sienogranitos) encontrados na área estão representados por 2 (dois) corpos na porção noroeste da área que mostram uma coloração rosada e granulação variando de fina a média.

As coberturas colúvio-aluvionares presentes na área ocupam mais de 50% da área recobrendo as unidades presentes. Esses sedimentos inconsolidados estão representados principalmente por areia grossa a média com presença de blocos e seixos de rochas regionais.

2.3.1. O Granulito da Região de Macaco

As ocorrências de rochas granulíticas da região de Itapipoca foram encontradas recentemente, e o número de trabalhos desenvolvido na região é pouco expressivo. Deve-se a Gorayeb & Abreu (1998), o registro da ocorrência de rochas granulíticas no centro-norte do Estado do Ceará.

O conjunto granulítico por sua vez está posicionado a aproximadamente 13Km a noroeste da cidade de Itapipoca, na localidade denominada Macaco, o que sugeriu segundo aqueles autores o nome de Granulito Macaco.

A ocorrência de granulitos no serrote do Macaco é representada, predominantemente, por charno-enderbitos e enderbitos. São leucocráticos, de granulação grossa e de cor verde-escura, variando para os tons cinza-azulado. Possuem textura granoblástica com grãos alongados de quartzo e feldspatos, e minerais máficos agregados em concentrações isoladas. Mineralogicamente contém plagioclásio, feldspato potássico, quartzo, ortopiroxênio, clinopiroxênio, biotita, opacos, hornblenda e granada, acessoriamente exibem zircão e apatita.

2.3.2. Estrutural

Estruturalmente, a área de Itapagé/Itapipoca está inserida no bloco tectônico compreendido entre as falhas Sabonete-Inharé a leste; rio Groaíras a oeste e Forquilha a noroeste. A foliação principal tem direção $N60^{\circ} - 70^{\circ}W$ e mergulhos que variam de 30° a 75° SW. Esta direção é anômala comparada com as outras feições estruturais das rochas do entorno (Souza Filho, 1998).

Nos terrenos ortoderivados e migmatíticos, S_n compreende uma foliação gnáissica ou bandamento migmatítico que está recortada pela foliação S_{n+1} .

A área de pesquisa mostra processos que variam de dúcteis a rúpteis. A presença maciça de coberturas colúvio-aluvionares dificultou a identificação das estruturas presentes na área.

2.3.2.1. Feições Dúcteis

Os litotipos da área apresentam foliação principal (S_n) com direção preferencial NW-SE, mergulhando para SW (Figura 05).

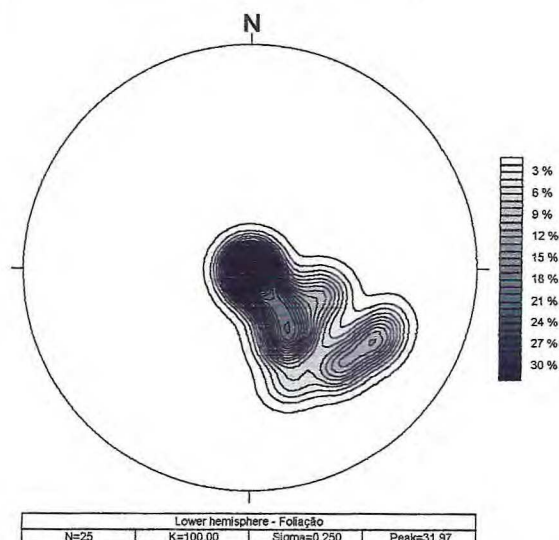


Figura 05 – Estereograma das foliações presentes na área.

Nos biotita gnaisses com hornblenda o bandamento gnáissico (S_n) mostra dobras intrafoliares com vergência para NE (Fotos 01 e 02).

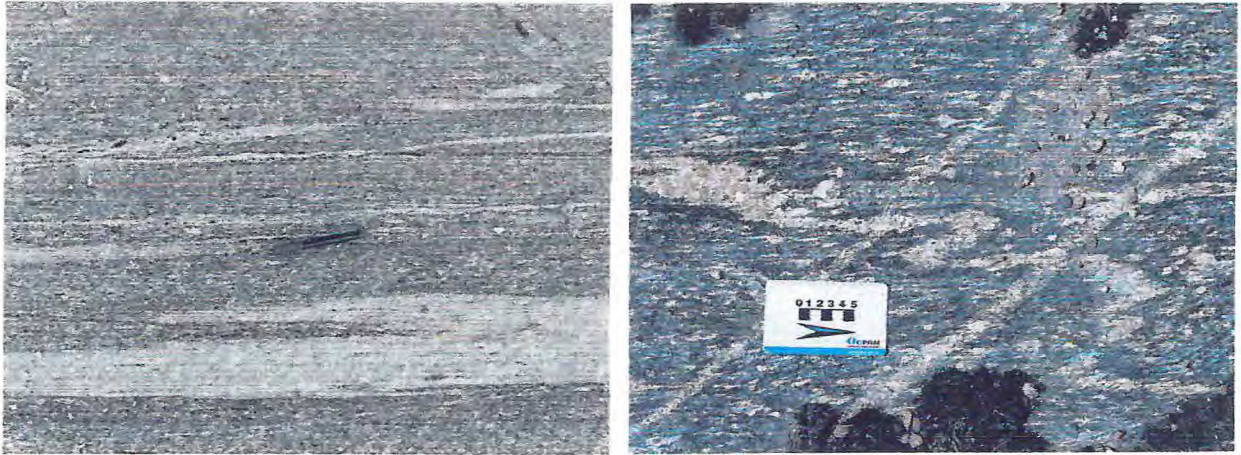


Foto 01 – Bandamento gnáissico presente nos biotita (AFL67 -UTM - 419937/9620985). Foto 02 – Dobras intrafoliares (AFL68 -UTM - 422102/9621795).

Pequenas zonas de cisalhamento estão presentes nos granodioritos, com indicadores cinemáticos mostrando minerais de plagioclásio de movimentação sinistral (Fotos 03 e 04).

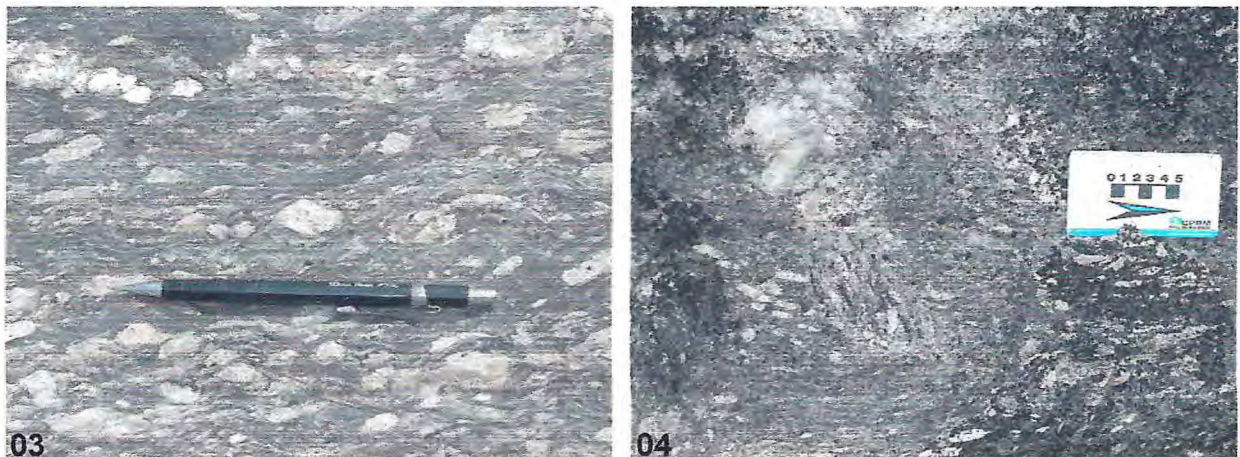


Foto 03 – Zonas de cisalhamento com minerais de plagioclásio rotacionados (AFL5 -UTM - 426715/9624665). Foto 04 – Zonas de cisalhamento com plagioclásio orientado formando pequenos dobramentos (AFL5 -UTM - 426715/9624665).

O conjunto S_n/S_{n-1} , em escala regional apresenta algumas inflexões das foliações posicionando-as para NE.

As lineações minerais encontradas ocorrem nos planos das foliações gnáissicas e mostram caimento para SE.

2.3.2.2. Feições Rúpteis

As fraturas presentes caracterizam os eventos de fase rúptil que sugerem condições de P e T reduzidas, provocando assim uma menor competência das rochas. Em alguns pontos nota-se a presença de fraturas com espaçamentos constantes (Foto 05).



Foto 05 –Fraturas com espaçamento constante encontradas na área (AFL7 – UTM – 426070/9623842) .

As medidas referentes a essas fraturas indicam uma direção preferencial de fraturamento para NW-SE com a presença de 2 (duas) famílias marcantes de direções N60°W e N80°W (Figura 06).

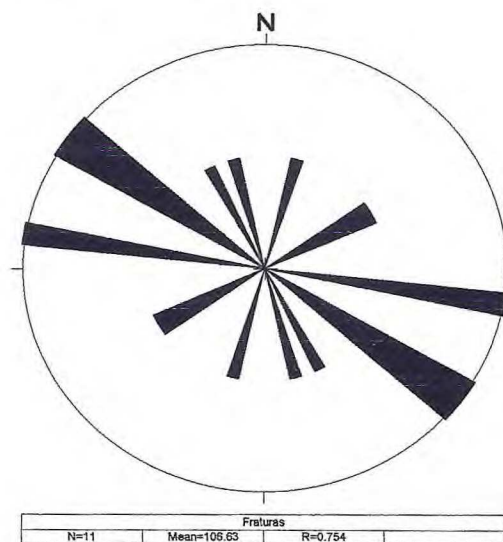


Figura 06 – Diagrama de rosetas mostrando o comportamento das fraturas.

3 – Petrografia

3.1. Biotita gnaisses com hornblenda

Ocorrem na porção sudeste da área nas proximidades da rodovia CE – 354 e na lagoa das Carnaúbas. O biotita gnaisse localizado ao longo da estrada é migmatizado e de cor acinzentada, com granulação variando de média a fina (Foto 05 – Prancha 1). Macroscopicamente são compostos por quartzo, plagioclásio e biotita, com presença de pequenas zonas de cisalhamento destrais e veios aplíticos recortando-o (Foto 06 – Prancha 1).

Em contato com o biotita gnaisse observa-se a injeção de granodiorito acinzentado de granulação média a fina, com xenólitos do gnaisse e auréola de contato (resfriamento) (Foto 07 – Prancha 1). Em uma pedreira a SW da área, encontra-se um granodiorito porfirítico, deformado, com orientação marcada por plagioclásios estirados. Também pode ser observada a presença de dobras de arrasto com uma movimentação dextral (Foto 08 – Prancha 1). O contato entre o gnaisse e o granodiorito porfirítico parece ser de forma gradativa (Foto 09 – Prancha 1). Em outros afloramentos verifica-se a presença do granodiorito mais fino descrito anteriormente, recortando os biotita gnaisses e o granodiorito porfirítico demonstrando assim pertencer a um evento posterior (Foto 10 – Prancha 1).

Nas proximidades da lagoa das Carnaúbas há um ortognaisse migmatítico de cor acinzentada, granulação variando de média a grossa, mineralogicamente com quartzo, plagioclásio e biotita, recortados por veios pegmatíticos redobrados, exibem pequenas dobras intrafoliares com vergência para NE.

Prancha 1

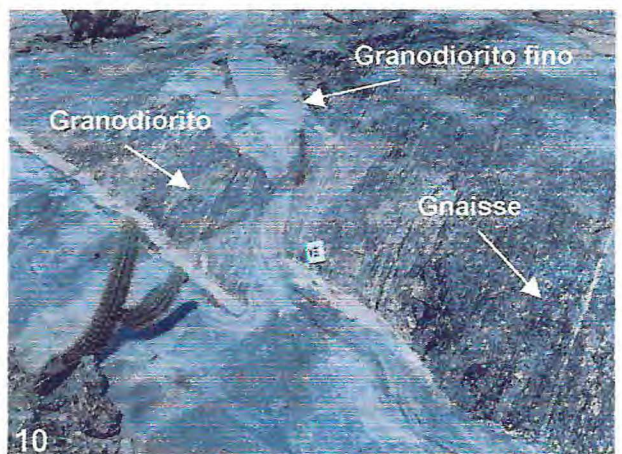
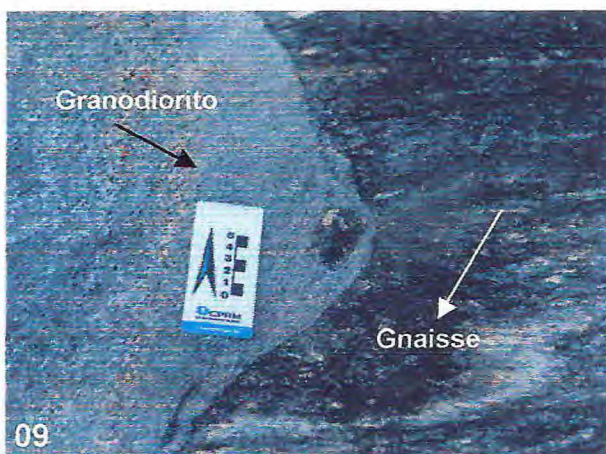
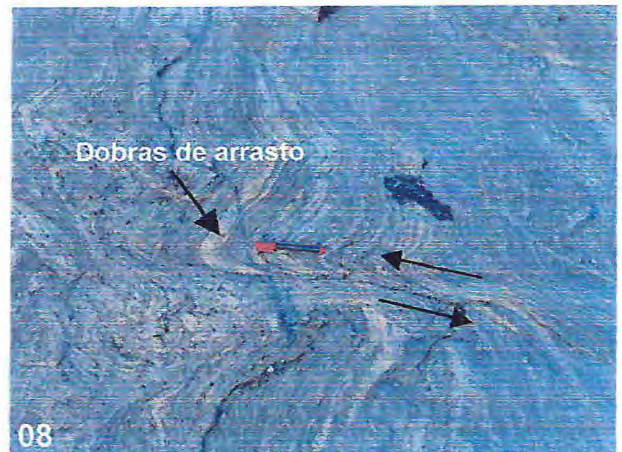
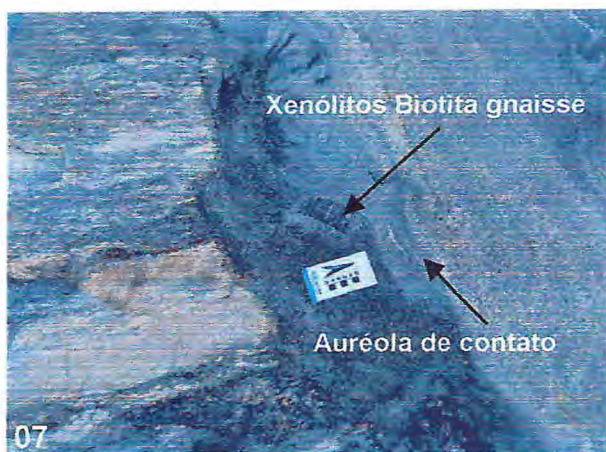


Foto 05 – Biotita gnaïsse migmatizado, com bandas quartzo-feldspáticas (AFL66 -UTM - 419940/9620986). Foto 06 – Pequenas zonas de cisalhamento de direção sinistral e veios aplíticos recortando os biotita gnaïsse (AFL67 - UTM - 419937/9620985). Foto 07 – Injeção de granodiorito e xenólitos do biotita gnaïsse com auréola de contato (resfriamento) (AFL66 - UTM - 419940/9620986). Foto 08 – Dobras de arrasto mostrando movimentação dextral (AFL67 - UTM - 419937/9620985). Foto 09 – Contato entre o gnaïsse e o granodiorito porfirítico (AFL66 - UTM - 419940/9620986). Foto 10 – Material granodiorítico mais fino recortando os biotita gnaïsses e granodiorito demonstrando um evento posterior aos mesmos (AFL67 - UTM - 419937/9620985).

Microscopicamente apresentam textura granolepidoblástica, cuja mineralogia é composta por quartzo (20 a 30%), plagioclásio (10 a 15%), feldspato potássico (5 a 10%), biotita (15 a 25%), hornblenda (5 a 10%); como minerais acessórios têm-se titanita, apatita, zircão, actinolita/tremolita e opacos (5 a 10%).

O quartzo exibe extinção ondulante, com bandas de recristalização, constituindo grãos anedrais, fraturados com contatos irregulares, podendo encontrar-se ainda como inclusões e formando feições mirmequíticas com plagioclásio (Fotomicrografias 01 e 02 – Prancha 2).

O plagioclásio é subeudral com contatos retos e irregulares, sincinemáticos, alongados com a foliação e com geminação do tipo albita carlsbad e intensamente sericitizados. Formam em conjunto com quartzo, mirmequita, e possuem ainda inclusões de pequenos minerais de biotita, apatita e zircão (Fotomicrografia 06 – Prancha 2).

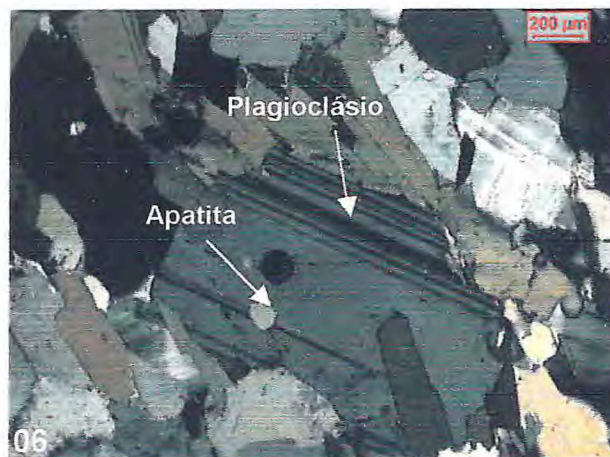
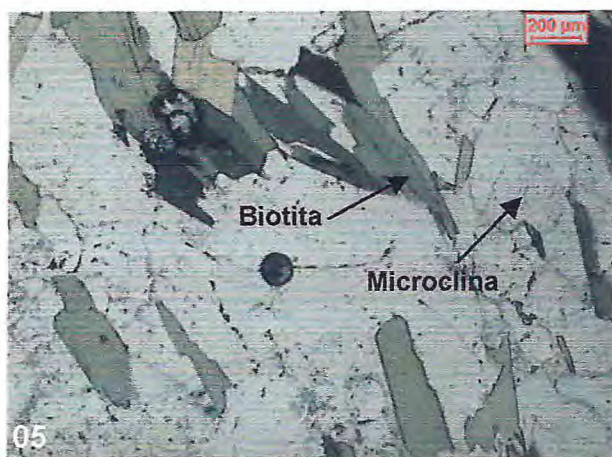
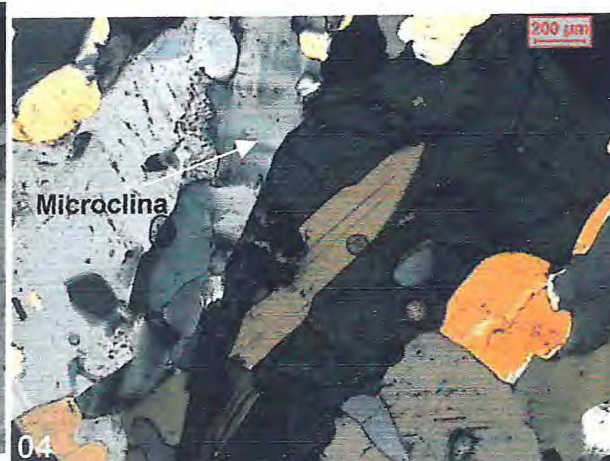
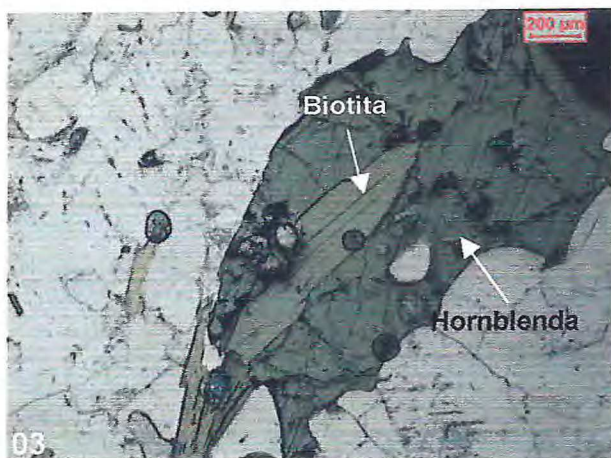
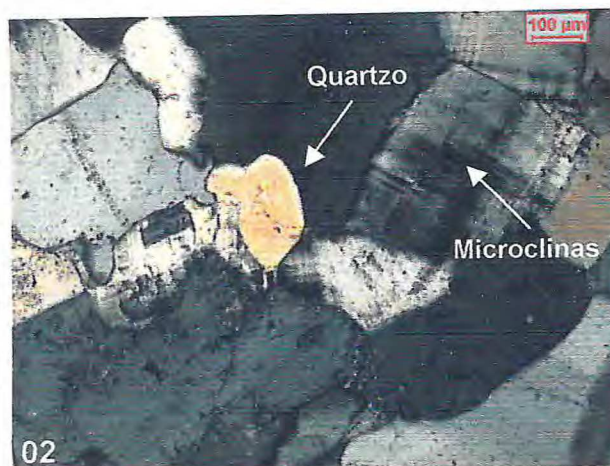
O feldspato potássico pertítico é representado por microclinas anedrais sincinemáticas, que juntamente com o plagioclásio e quartzo acompanham a foliação, exibem geminação típica albita mais periclina e encontram-se bastante alterados (sericitizados) (Fotomicrografias 02, 03 e 04 – Prancha 2).

A biotita apresenta cor acastanhada, formando grãos tabulares, alongados marcando a foliação de forma anastomosada; encontram-se também inclusas em plagioclásios e anfibólios, e em alguns pontos percebe-se a formação de titanitas a partir dessas biotitas (Fotomicrografias 03, 04 e 05 – Prancha 2).

O anfibólio presente está representado por grãos prismáticos de hornblenda esverdeada em contato reto com biotita, encontra-se ainda pontos onde a biotita é desestabilizada, reagindo para formar hornblenda. Como inclusões nesses minerais encontra-se quartzo, biotita e apatita (Fotomicrografias 03, 04 e 05 – Prancha 2).

Os acessórios estão representados por titanita formada a partir da biotita, apatita e zircão subarredondado metamórfico incluso em quartzo, biotita e plagioclásio, além de minerais opacos.

Prancha 2



Fotomicrografias 01 e 02 – Quartzo com bandas de recristalização e microclinas geminadas (albita periclina) sericitizados (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica). Fotomicrografias 03 e 04 – Biotita alongada inclusa em hornblenda prismática (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica). Fotomicrografias 05 e 06 – Plagioclásio geminado (albita carlsbad) com inclusão de apatita (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).

3.2. Granulitos

3.2.1. Enderbitos

Ocorrem na porção central e nordeste da área. Na porção central estão representados pelas rochas aflorantes da pedreira Santa Rosa onde se encontram intercalados aos charnockitos, granodioritos, monzogranitos e granodioritos com granadas (Fotos 11 e 12 – Prancha 3). A nordeste da área afloram no Serrote Macaco em frente de lavra onde apresentam porções mais claras. (Fotos 13, 14 e 15 – Prancha 3). São rochas de cor verde escuro e uma granulação que varia de fina a média, constituídas por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, biotita, anfibólio, piroxênio e granada.

Conforme a classificação normativa QAP (Le Maitre, 1989), essas rochas caem no campo dos enderbítos (Figura 07).

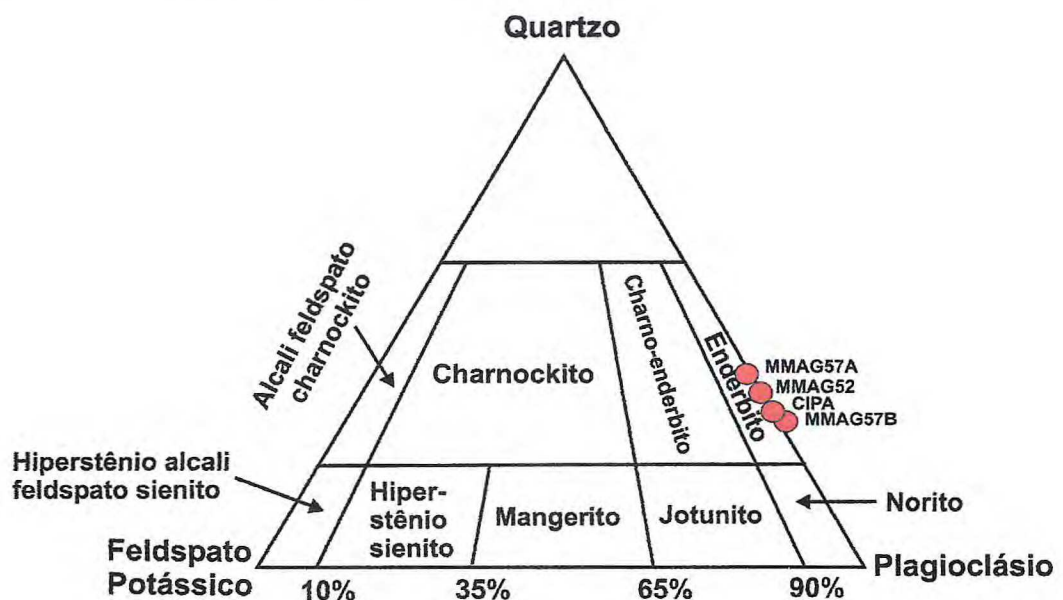


Figura 07 – Diagrama QAP (Le Maitre, 1989), mostrando a classificação do litotipo como enderbítos.

Prancha 3

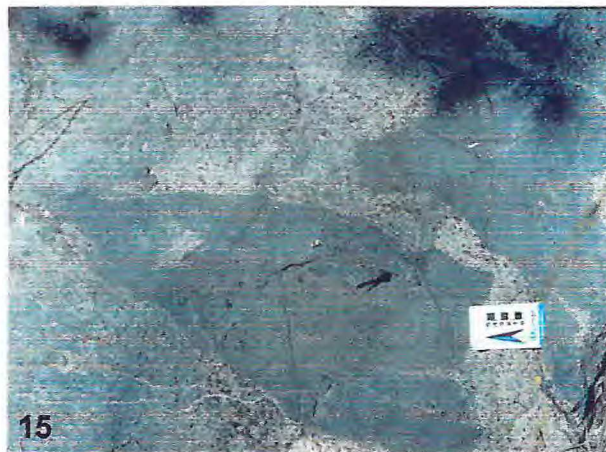


Foto 11 e 12 – Aspecto geral do corpo na pedreira Santa Rosa, AFL16 - UTM – 428873/9627375).
Foto 13– Frente de lavra no Serrote Macaco (AFL57 - UTM – 428904/9627369). Fotos 14 e 15 –
Porções de cor clara dos enderbitos no Serrote Macaco (AFL57 UTM – 428904/9627369).

Ao microscópio exibem uma textura granoblástica inequigranular e são compostos por quartzo (10 a 15%), biotita (5 a 10%), plagioclásio (20 a 25%), anfibólio (10 a 15%), piroxênios (25 a 30%), granada (5 a 10%). Acessoriamente tem-se opacos, titanita, apatita e zircão totalizando (3 a 5%).

O mineral de quartzo exibe forma anedral em contato irregular com os outros minerais presentes, geram bandas de deformação, formando mosaicos granoblásticos em associação com o plagioclásio em meio aos piroxênios e anfibólios, estando ainda como inclusões em minerais de piroxênio (Fotomicrografias 08 e 11 – Prancha 4).

O plagioclásio apresenta-se poligonizado em conjunto com quartzo, com geminação albita carlsbad (Fotomicrografia 11 – Prancha 4). Associando-se ainda com minerais opacos e granadas (Fotomicrografia 08 – Prancha 4).

A biotita ocorre em minerais alongados de cor castanha avermelhada e contato reto entre os grãos. Observa-se que sua presença se dá principalmente intra e intergranular em hiperstênio junto com granadas e opacos, além de intercrescimento de anfibólios (Fotomicrografia 12 – Prancha 4) e (Fotomicrografias 13 e 17 – Prancha 5).

O anfibólio está representado por hornblenda subeudral de cor esverdeada com contato irregular entre os grãos. Percebe-se que o surgimento desses minerais ocorre principalmente nas fraturas do hiperstênio através de reações de desestabilização dos mesmos (Fotomicrografia 10 – Prancha 4) e (Fotomicrografias 13, 15, 16 e 17 – Prancha 5) .

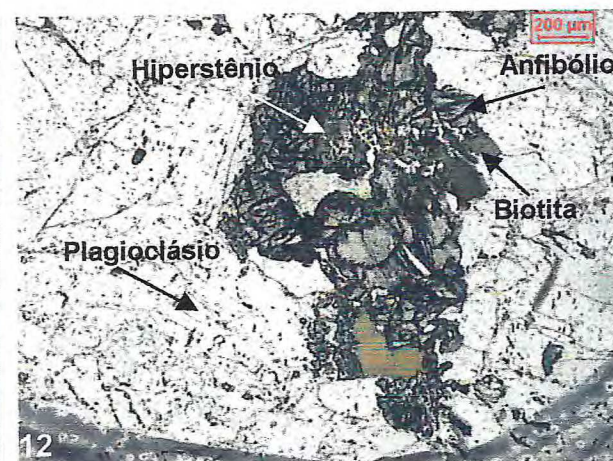
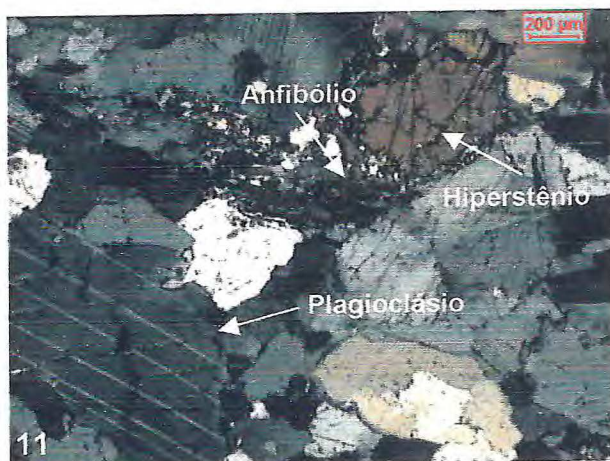
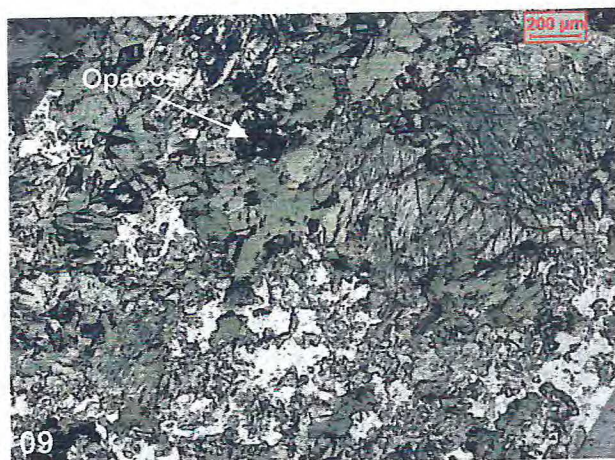
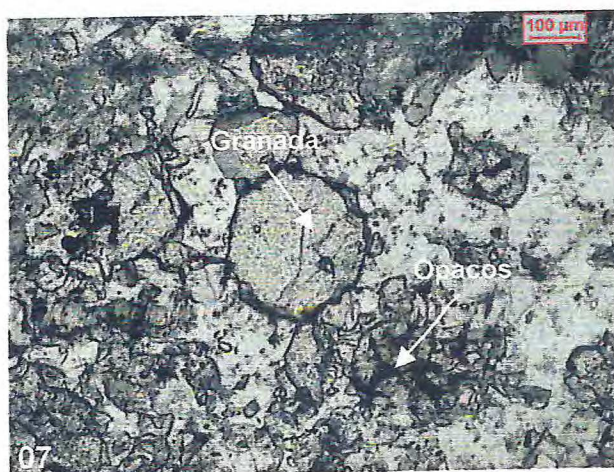
O piroxênio presente é o hiperstênio e encontra-se distribuído por toda a lâmina na forma de grãos bem desenvolvidos. Em alguns pontos esses minerais estão sendo substituídos por anfibólio através de reações de desestabilização, percebe-se ainda intercrescimento de biotita e granada associadas a esses minerais (Fotomicrografias 10 e 12 – Prancha 4) e (Fotomicrografias 16 e 18 – Prancha 5).

A granada ocorre como pequenos grãos arredondados, desestabilizados e fraturados intercrescidos com hiperstênio, anfibólio, biotita e opacos. Por vezes apresentam-se circundadas por minerais opacos, plagioclásios e quartzo

(Fotomicrografias 07, 08 e 10 – Prancha 4) e (Fotomicrografias 16 e 18 – Prancha 5).

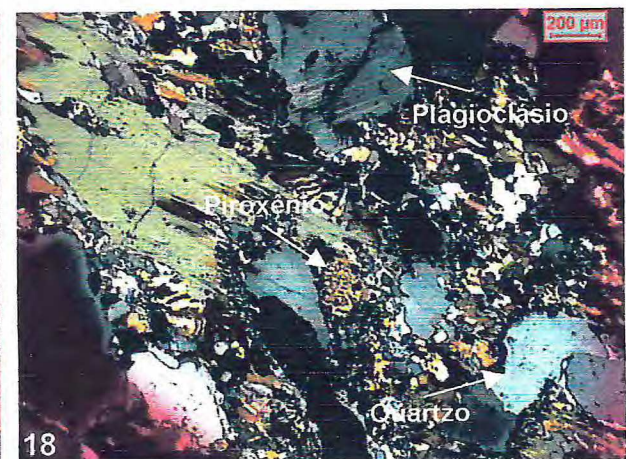
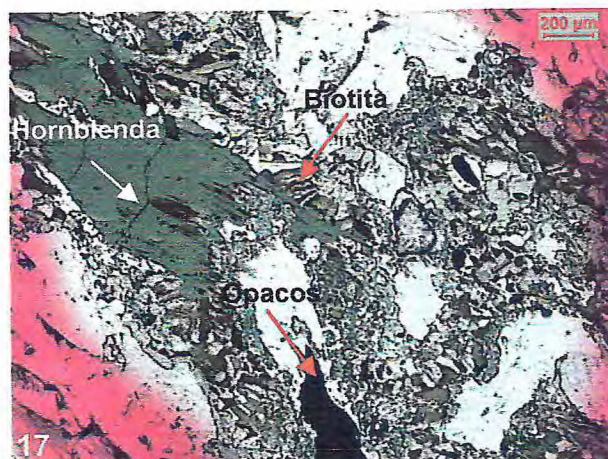
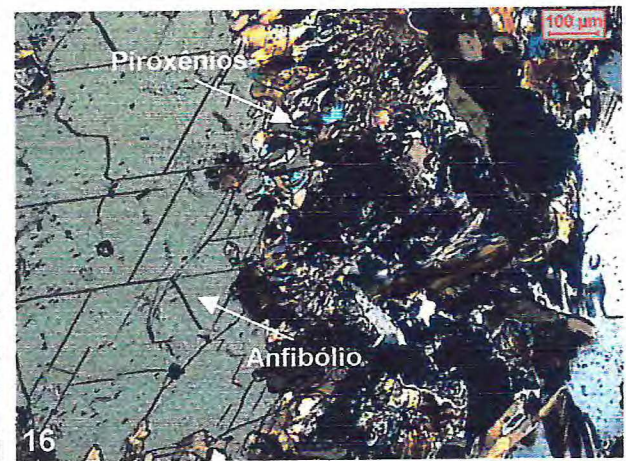
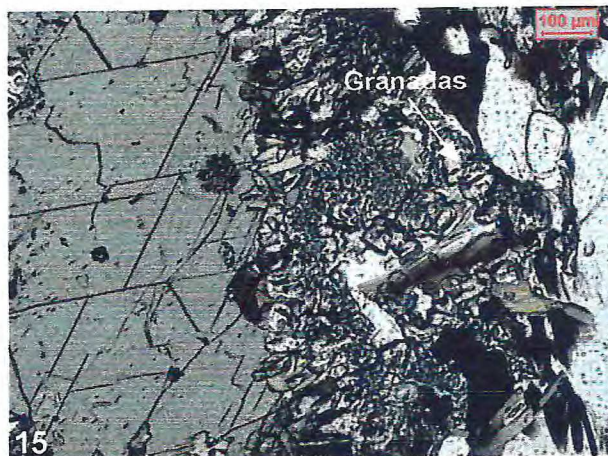
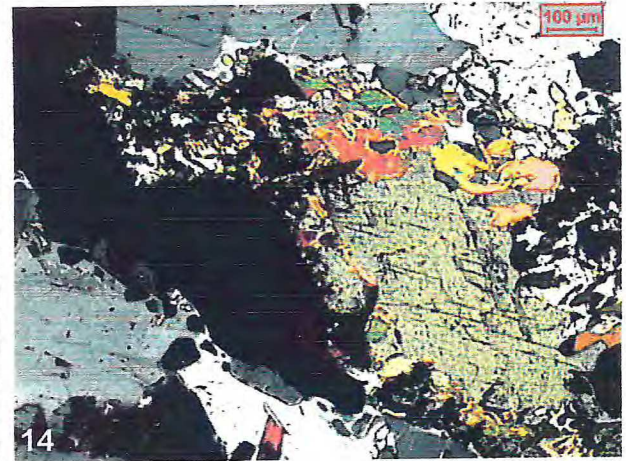
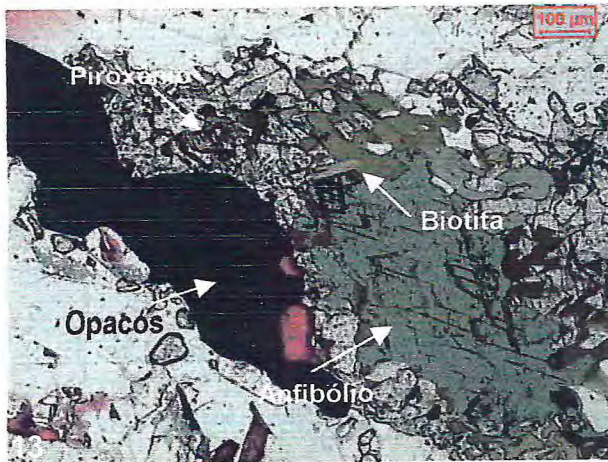
Os minerais acessórios presentes estão representados por opacos com bordas de reação com anfibólio, apatitas bem formadas e zircões inclusos em meio aos minerais de hiperstênio e granada (Fotomicrografias 07 e 09 – Prancha 4) e (Fotomicrografias 13, 14 e 15 – Prancha 5).

Prancha 4



Fotomicrografias 07 e 08 – Grãos de granada bem formados em conjunto com plagioclásio e quartzo (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica) (amostra MMAG52). Fotomicrografias 09 e 10 – Intercrescimento anfibólio, granada a partir de minerais de hiperstênio (Luz natural ortoscópica e Luz ortoscópica) (amostra MMAG52). Fotomicrografias 11 e 12 – Hiperstênio com anfibólio e granada circundado por plagioclásio e quartzo (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica) (amostra MMAG57A).

Prancha 5



Fotomicrografias 13 e 14 – Hiperstênio com anfíbólio, biotita, plagioclásio e opacos (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica) (amostra CIPA). Fotomicrografias 15 e 16 – Hiperstênio, granada e biotita circundando por hornblenda com clivagens perpendiculares (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica) (amostra CIPA). Fotomicrografias 17 e 18 – Relictos de biotita com intercrescimento de hornblenda, hiperstênio, plagioclásio, opacos e quartzo (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica) (amostra CIPA).

3.2.2. Charnockitos

Esses litotipos encontram-se englobando os enderbitos, apresentam coloração clara variando do cinza claro ao rosado e granulação média a grossa (Fotos 16, 17, 18 e 19 – Prancha 6). Mineralogicamente são compostos por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, biotita, anfibólio e piroxênio. As rochas caem no campo dos charnockitos/charno-enderbitos conforme a classificação normativa QAP (Le Maitre, 1989) (Figura 08).

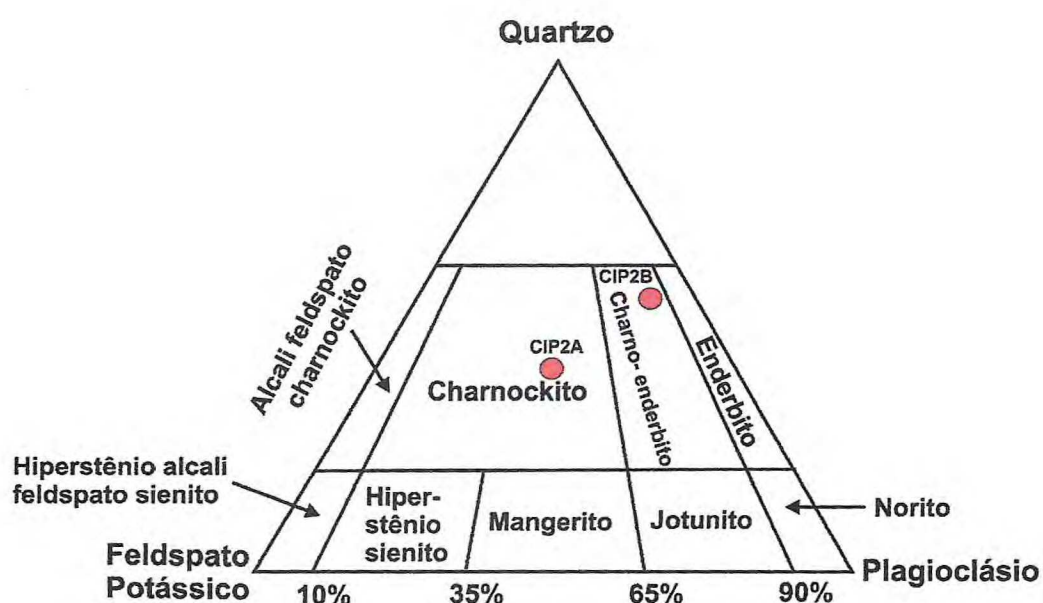
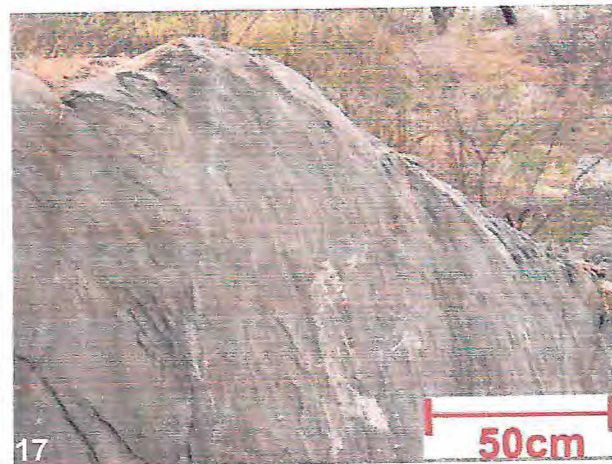


Figura 08 – Diagrama de classificação normativa QAP (Le Maitre, 1989), mostrando o campo de plotagem dessas rochas (Amostras CIP2A e CIP2B).

Prancha 6



Fotos 16, 17, 18 e 19 – Aspectos macroscópico do charnockito/charno-enderbita presente na mineração Santa Rosa (UTM - 423988 / 9623790).

R13852947

Microscopicamente mostram textura inequigranular e mineralogia composta por quartzo (15 a 20%), plagioclásio (10 a 15%), feldspato potássico (5 a 10%), biotita (5 a 10%), anfibólio (10 a 15%), granada (3 a 5%), hiperstênio (15 a 20%), acessoriamente tem-se zircão, apatita e opacos (3 a 5%).

O quartzo apresenta-se anedral, com contato irregular entre os grãos, extinção ondulante, estirados e fraturados. Ocorrem associados ao plagioclásio formando bandas que se intercalam com anfibólios, biotita, hiperstênio, granadas e opacos (Fotomicrografias 20 e 24 – Prancha 7).

O plagioclásio ocorre principalmente em conjunto com o quartzo, são subeudrais com contato variando de reto a irregular e geminação albita carlsbad, além da presença de antiperititas. Associados têm-se a presença de mirmequitas (cristalização de quartzo e plagioclásio simultaneamente) (Fotomicrografias 20, 21 e 22 – Prancha 7).

O feldspato potássico está representado por microclinas anedrais peritíticas, com contato irregular entre os grãos, geminação albita periclina e grau de alteração elevado (sericitizados) (Fotomicrografias 21, 22 e 23 – Prancha 7).

A biotita encontra-se subeudral, alongadas de contato reto a irregular entre os grãos, apresenta-se acastanhada com tons avermelhados, típicos de altas temperaturas (titanífera). Em alguns pontos nota-se que há um sobrecrescimento de biotita em minerais de hiperstênio (Fotomicrografias 19 e 24 – Prancha 7).

Os anfibólios (hornblendas) mostram-se anedrais com contato irregular entre os grãos. Ocorrem em contato com biotitas e hiperstênio principalmente nas fraturas desses últimos. Minerais opacos intercrescem nesses anfibólios (Fotomicrografias 19, 22, 23 e 24 – Prancha 7).

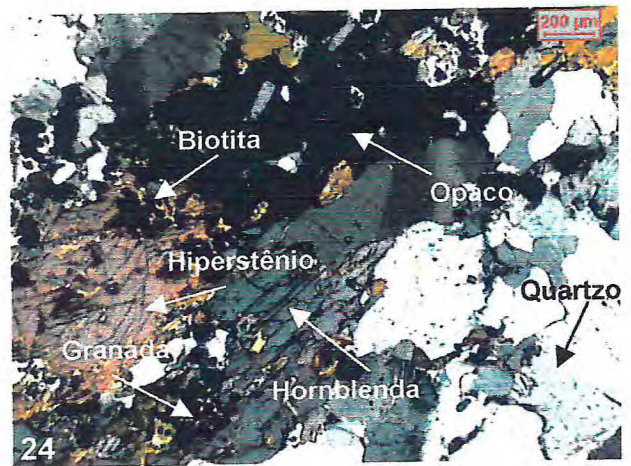
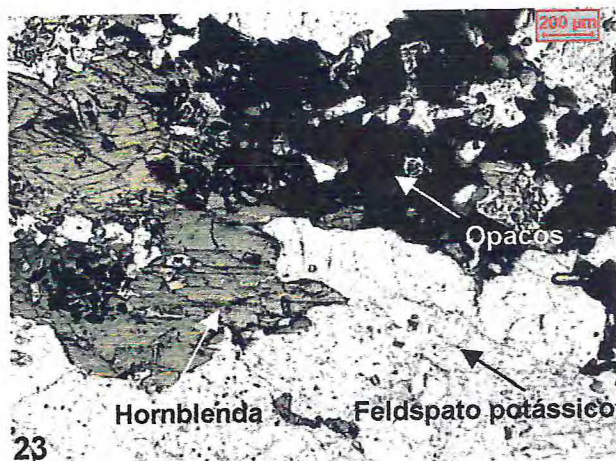
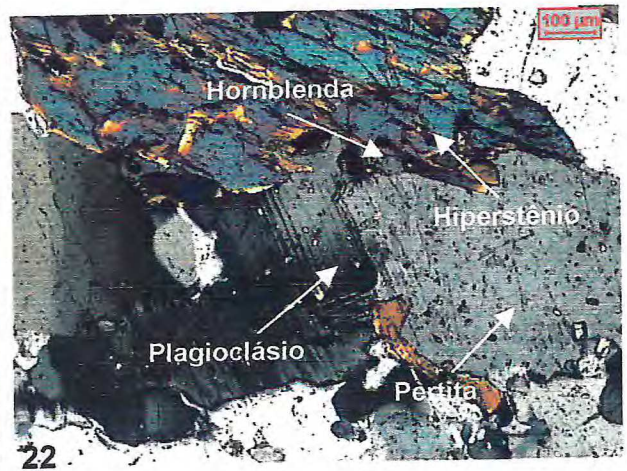
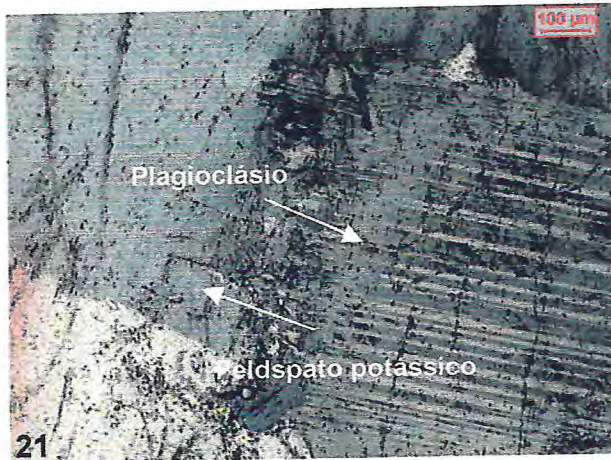
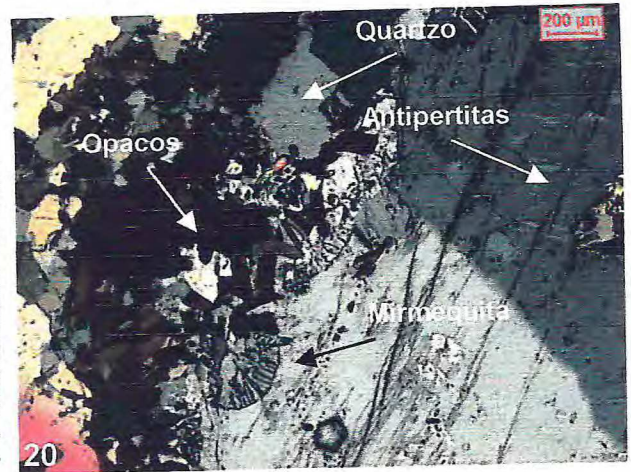
As granadas ocorrem na forma de grãos pré-cinemáticos, fraturadas com pequenas inclusões de quartzo, apatita e zircão. Observa-se que há intercrescimento desses minerais a partir de anfibólios, e desestabilização dos mesmos em conjunto com opacos e biotitas (Fotomicrografia 24 – Prancha 7).

O hiperstênio ocorre associado a anfibólios, granadas, biotitas e opacos. A relação do hiperstênio com o anfibólio se dá através da desestabilização que ocorre

nas suas fraturas. Grãos de granada e opacos também são observados associados ao hiperstênio (Fotomicrografias 22 e 24 – Prancha 7).

Acessoriamente encontra-se zircão e apatita bem formado ocorrendo como inclusões em anfibólios, granadas e hiperstênio, além de minerais opacos com coroas de reação em hornblendas presentes (Fotomicrografias 19, 20, 23 e 24 – Prancha 7).

Prancha 7



Fotomicrografias 19 e 20 – Hornblenda prismática, biotita, feldspato potássico sericitizado, mirmequita, antipertitas e opacos (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica). Fotomicrografia 21 – Minerais de feldspato potássico sericitizado e plagioclásio com geminação albita carlsbad (Luz natural polarizada). Fotomicrografia 22 – Hornblenda em conjunto com hiperstênio, plagioclásio e perthitas (feldspato potássico) (Luz ortoscópica). Fotomicrografia 23 – Opacos, feldspato potássico e hornblenda (Luz natural polarizada). Fotomicrografia 24 – Minerais de piroxênio (hiperstênio) em conjunto com granadas, opacos e hornblenda (Luz ortoscópica).

3.3. Granodioritos

Distribuem-se por toda a área mapeada intercalados às outras unidades presentes. São rochas de cor cinza clara com tons rosados em alguns pontos, granulação variando de fina a grossa, por vezes mostrando-se foliados e em alguns pontos como injeções de material granítico mais fino (Foto 20 – Prancha 8). Mineralogicamente são compostos por quartzo, plagioclásio, biotita e anfibólio.

No riacho Sororó encontram-se em meio aos enderbitos, monzogranitos e granodioritos com granadas. Neste local se percebe uma milonitização da rocha com indicadores de uma forte deformação sofrida (Fotos 21 e 22 – Prancha 8). A oeste da área há pontos onde se percebe o início de migmatização da rocha e núcleos compostos por material de granulação mais fina, além de veios pegmatíticos distribuídos por todo o corpo (Foto 23 – Prancha 8). Estão classificados segundo o diagrama de Le Maitre, (1989) como granodioritos (Figura 09).

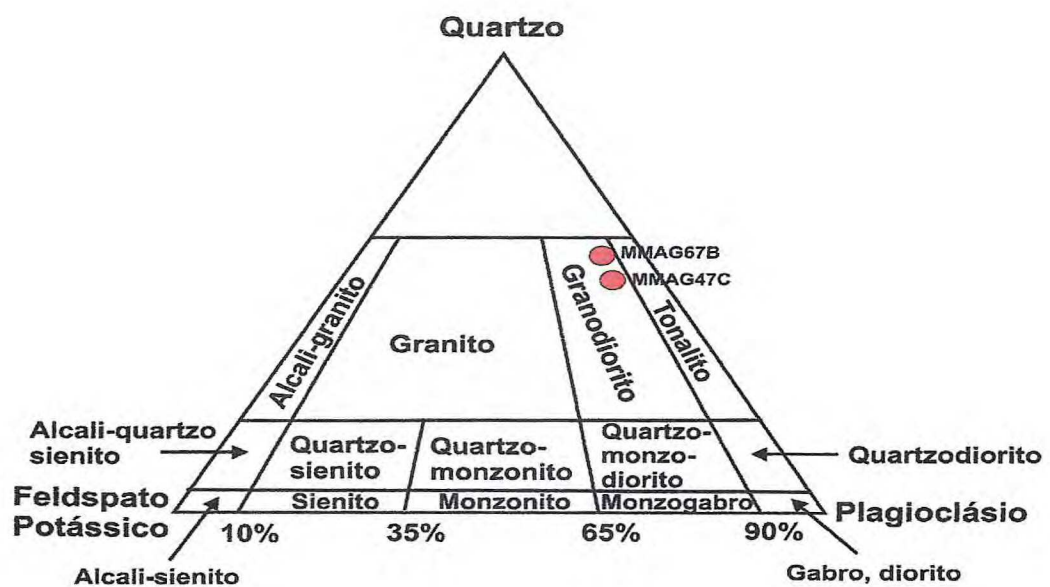


Figura 09 – Diagrama de Classificação de rochas plutônicas, Le Maitre, (1989), mostrando a classificação da rocha como granodiorito.

Prancha 8



Foto 20 – Granodioritos foliados com injeções de material mais fino (AFL47 - UTM – 428606/96211876). Fotos 21 e 22 – Aspecto milonitizado com indicadores de forte deformação sofrida (AFL47 - UTM - 428606/96211876). Foto 23 - Migmatização da rocha e núcleos compostos por material de granulação mais fina, com veios pegmatíticos distribuídos por todo o corpo (AFL53 - UTM – 425563/9626394).

Ao microscópio exibem textura hipidiomórfica inequigranular a porfirítica sendo compostos por quartzo (25 a 30%), plagioclásio (20 a 25%), feldspato potássico (3 a 5%), biotita (15 a 20%), hornblenda (10 a 15%), apatita, titanita, zircão e opacos como acessórios (3 a 5%).

O quartzo apresenta-se recristalizado, xenomórfico e de contato variando de reto a irregular entre os grãos, exibem extinção ondulante formando mosaicos granoblásticos envolvendo plagioclásio, biotita e anfibólio (Fotomicrografias 25, 28 e 30 – Prancha 9).

O plagioclásio apresenta textura em moldura com alguns fenocristais formando sombras de pressão com quartzo, geminação albita carlsbad, fraturados com inclusões de pequenos grãos de quartzo. Em alguns pontos da lâmina percebe-se a presença de carbonatos (Fotomicrografias 28 e 30 – Prancha 9).

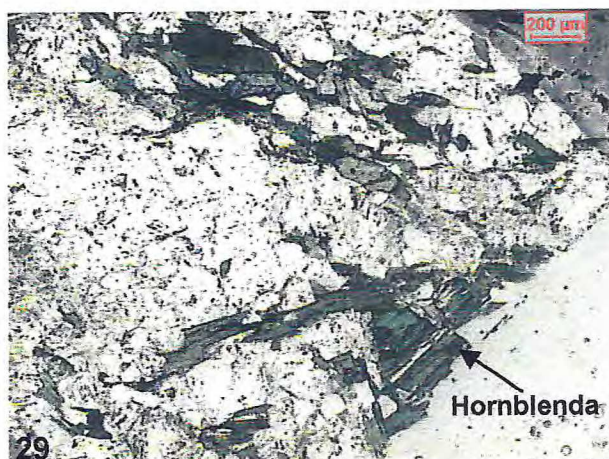
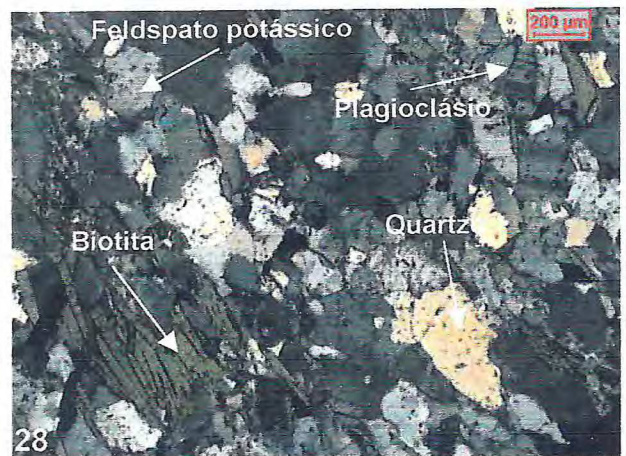
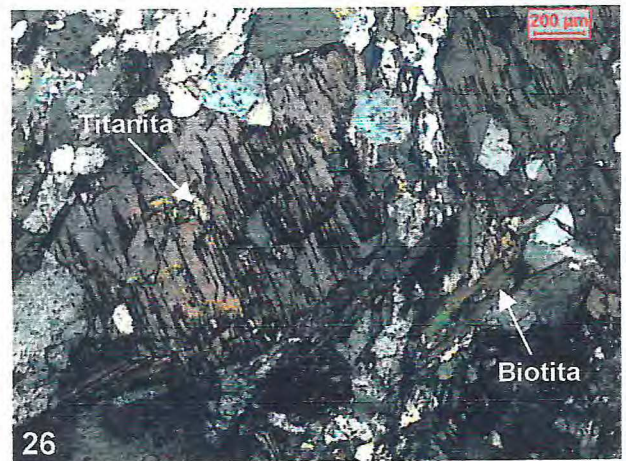
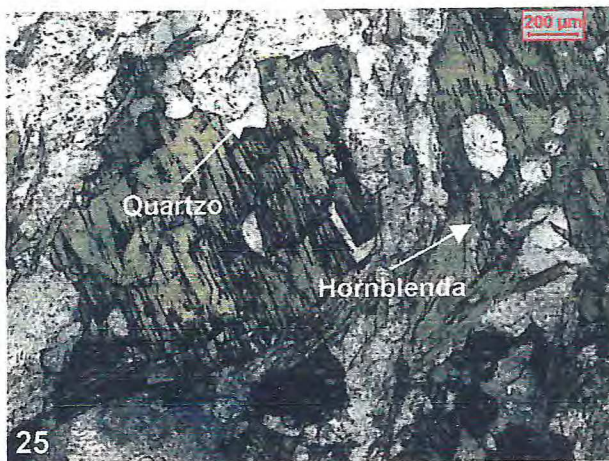
O feldspato potássico ocorre em pequena quantidade e está representado por microclinas deformadas circundadas por quartzo, plagioclásio e biotita deformada que acompanham a foliação (Fotomicrografias 28 e 30 – Prancha 9).

A biotita apresenta-se orientada marcando a foliação, exibe cor verde-acastanhada, e encontram-se alongada, com contato reto entre os grãos associada a anfibólio com intercrescimento a partir da biotita (Fotomicrografias 27 e 28 – Prancha 9).

O anfibólio está orientado de acordo com a foliação em conjunto com a biotita. São representados por hornblendas de cor verde escuro, prismáticas, subeudrais que em alguns pontos exibem um intercrescimento a partir da biotita. Os minerais com um fraturamento mais intenso mostram o crescimento de titanitas a partir de reações desses minerais (Fotomicrografias 25, 26 e 29 – Prancha 9).

Os minerais acessórios são representados por apatita e zircão bem formados que ocorrem como inclusões em plagioclásio e biotita, opacos e titanitas que ocorrem intercrescidos em hornblendas (Fotomicrografia 26 – Prancha 9).

Prancha 9



Fotomicrografias 25 e 26 – Hornblendas prismáticas com crescimento de titanita, biotita com hornblenda intercrescida (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica). Fotomicrografias 27 e 28 – Quartzo formando mosaico granoblástico e biotita em paletas finas acompanhando a foliação (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica). Fotomicrografias 29 e 30 – Plagioclásio com geminação albita carlsbad e hornblenda (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).

3.4. Monzogranitos

Encontram-se distribuídos em toda a área, contudo tem sua maior representação na porção central onde estão associados aos granodioritos com granada. Ocorrem como corpos alongados e em pontos localizados na Mineração Santa Rosa (Foto 24, 25, 26 e 27 – Prancha 10). São rochas de cor rosada com porções acinzentadas e granulação que varia de média a grossa exibindo megacristais de feldspato potássico e plagioclásio constituindo uma foliação de fluxo, além da presença de enclaves máficos (Foto 28 e 29 – Prancha 10). Macroscopicamente são compostos por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, biotita e anfibólio. Segundo o diagrama de classificação de rochas plutônicas de Le Maitre, (1989) caem no campo dos monzogranitos (Figura 10).

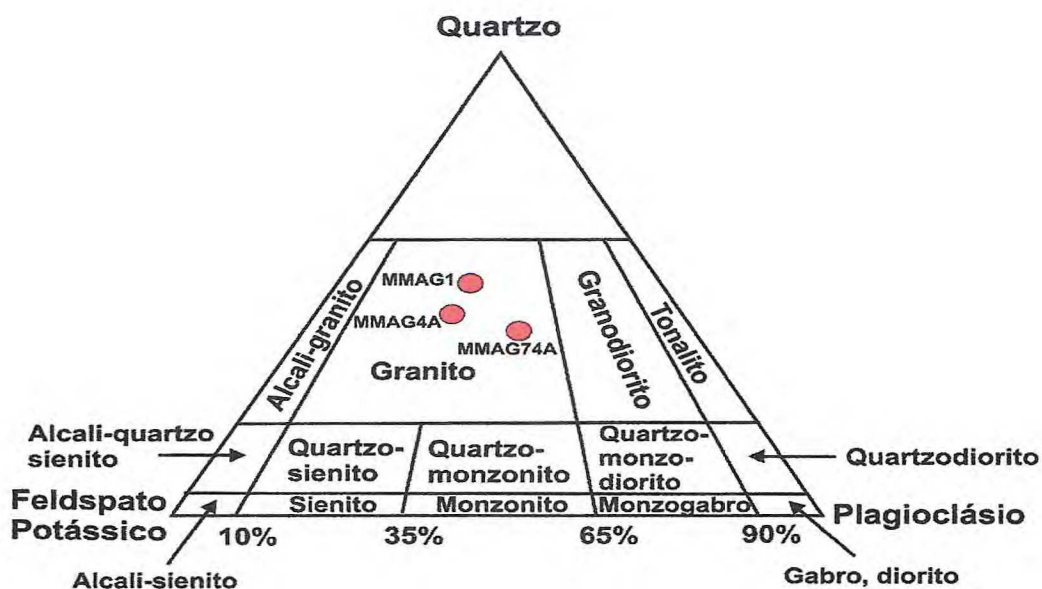
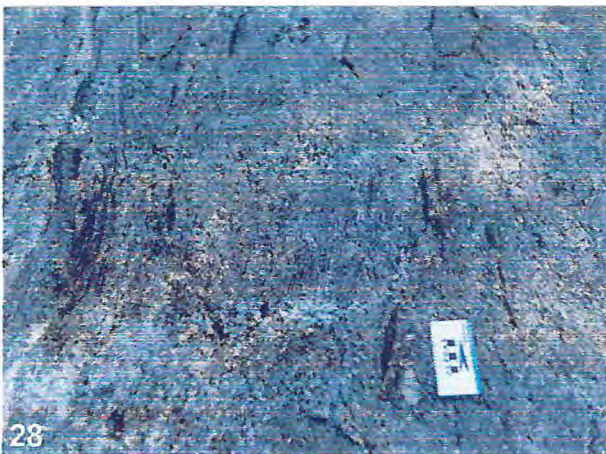


Figura 10 – Diagrama de classificação de rochas plutônicas de Le Maitre, (1989), mostrando a classificação como monzogranito.

Prancha 10



Fotos 24 e 25 – Aspecto geral da rocha disposta em corpos alongados com granulação variando de média a grossa exibindo megacristais de feldspato potássico e plagioclásio constituindo a foliação de fluxo (AFL6 - UTM – 426180/9623804). Foto 26 – Enclave de material máfico presente na rocha (AFL6 - UTM – 426180/9623804). Foto 27 – Rocha com uma granulação mais fina e foliação marcada por megacristais de feldspato potássico (AFL3 - UTM – 426643/9624552). Fotos 28 e 29 – Material máfico segregado formando enclaves (AFL64 - UTM – 423899/9623023).

Microscopicamente mostram uma textura inequigranular hipidiomórfica a porfirítica com porções protomiloníticas. São compostos por quartzo (30 a 35%), anfibólios (10 a 15%), feldspato potássico (15 a 20%), plagioclásio (20 a 25%), biotita (5 a 10%), acessoriamente tem-se opacos, zircão, titanita e apatita totalizando aproximadamente (3 a 5%).

O quartzo apresenta-se recristalizado com extinção ondulante, por vezes formando *ribons* orientados segundo a foliação, compõem com plagioclásio e feldspato potássico bandas quartzo-feldspáticas (Fotomicrografias 31 e 32 – Prancha 11).

O anfibólio é de cor esverdeada e ocorre associado à biotita formando a foliação (Fotomicrografias 33, 34 e 35 – Prancha 11). Surge pela alteração da biotita e nas suas bordas percebe-se o aparecimento de titanita.

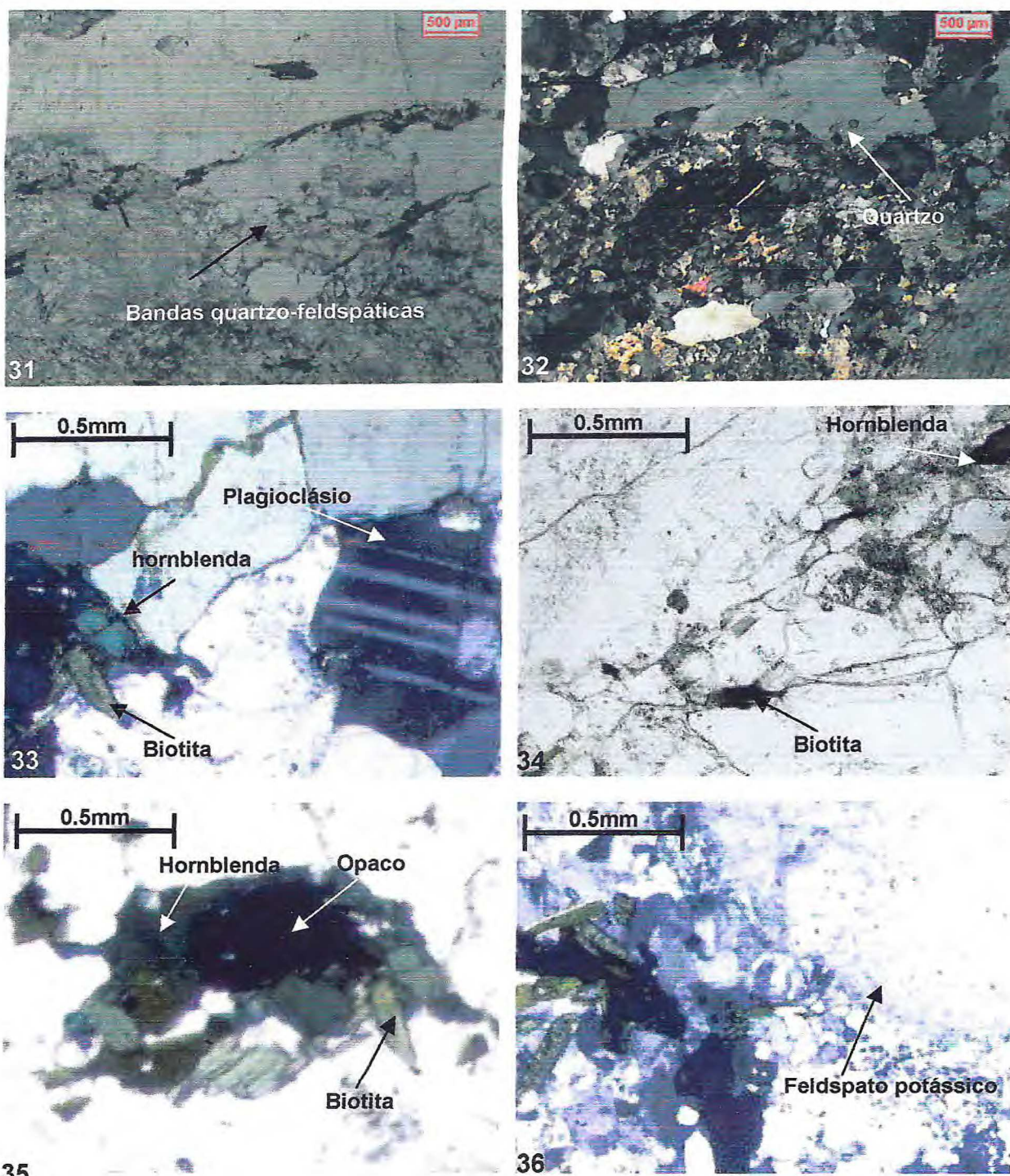
O feldspato potássico (microclina) é representado por fenocristais anedrais, deformados e com geminação albita periclina. Associam-se com quartzo e plagioclásio que formam em torno desses minerais sombras de pressão e pertitas (Fotomicrografia 36 – Prancha 11).

O plagioclásio compõe junto com quartzo e feldspato potássico bandas quartzo-feldspáticas que se intercalam com biotita e anfibólio. Estão deformados e apresentam-se como fenocristais geminados (albita carlsbad) e acentuada alteração (Fotomicrografia 33 – Prancha 11).

A biotita encontra-se deformada e alongada em conjunto com anfibólios formando a foliação. Nota-se que em suas bordas a alteração parece dá origem a hornblenda envolvida por bandas compostas por quartzo, plagioclásio e feldspato potássico (Fotomicrografias 33, 34 e 35 – Prancha 11).

Minerais acessórios como opacos, zircão e apatita são bem formados encontrando-se como inclusões em grãos de quartzo, feldspato potássico e biotitas, além de titanitas nas bordas de hornblendas (Fotomicrografia 35 – Prancha 11).

Prancha 11



Fotomicrografia 31 - Textura inequigranular protomilonítica (Luz natural polarizada). Fotomicrografia 32 - Minerais de quartzo com extinção ondulante e plagioclásios alterados (sercitizados) (Luz ortoscópica). Fotomicrografia 33 - Plagioclásio, biotita e hornblenda (Luz ortoscópica). Fotomicrografia 34 - Biotitas e hornblendas circundadas por quartzo e feldspato potássico (Luz natural polarizada). Fotomicrografia 35 - Opacos, hornblenda e biotita (Luz natural polarizada). Fotomicrografia 36 - Feldspato potássico sercitizado (Luz natural polarizada).

3.5. Granodioritos com granadas

Ocorrem na porção noroeste da área em corpos alongados anteriormente explorados como rocha ornamental (Fotos 30, 31 e 32 – Prancha 12). Possuem coloração esbranquiçada, granulação média a grossa com mineralogia composta por quartzo, biotita, mega cristais de plagioclásio orientados formando a foliação e granada bem formada que os diferem dos granodioritos descritos anteriormente (Foto 33 e 34 – Prancha 12). No ponto AFL75 (UTM - 421629/9629079) a rocha exibe enclaves de material máfico que se distribuem pelo corpo ora de forma ordenada (fluxo) ora desordenada (Foto 35 – Prancha 12). Recortando os corpos observam-se veios pegmatíticos redobrados. Conforme a classificação modal da rocha a mesma encontra-se no campo dos granodioritos (Figura 11).

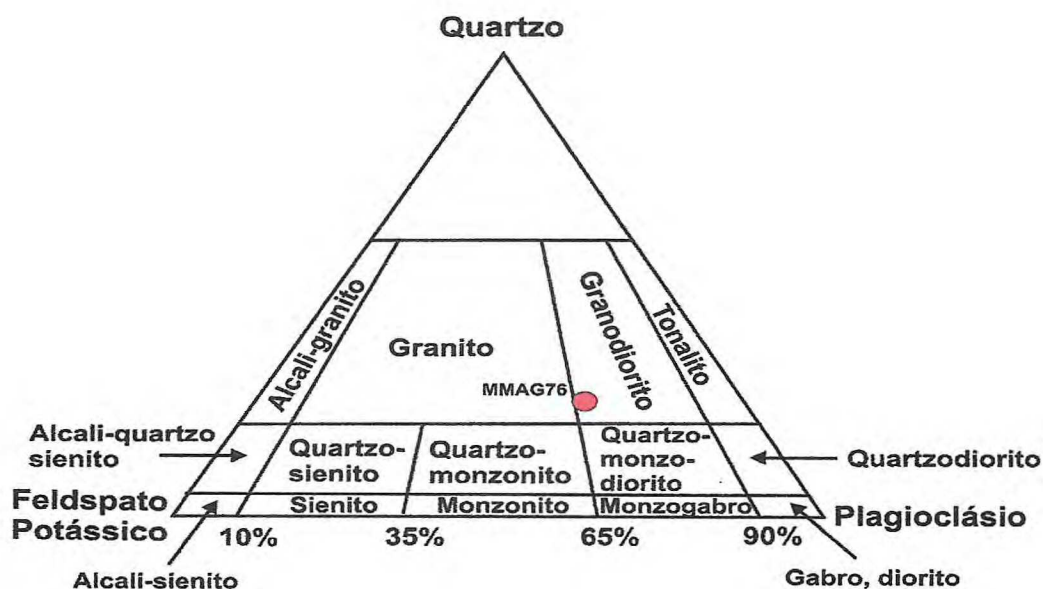


Figura 11 – Diagrama de classificação de rochas plutônicas de Le Maitre, (1989), mostrando que a rocha encontra-se no campo dos granodioritos.

Prancha 12



Foto 30, 31 e 32 – Aspectos gerais de pedreira desativada na área (AFL76 - UTM – 421772/9629438). Foto 33 e 34 – Aspecto macroscópico da rocha exibindo megacristais de granada presentes (AFL24 - UTM – 421794/9629494). Foto 35 – Enclaves máficos presente na rocha (AFL75 - UTM – 421629/9629079).

Ao microscópio esses litotipos exibem uma textura granoblástica inequigranular compondo-se de quartzo (15 a 20%), plagioclásio (35 a 40%), feldspato potássico (microclina) (15 a 20%), granada (3 a 5%), biotita (3 a 5%), anfibólio (3 a 5%), os minerais acessórios presentes na rocha são representados por apatita, zircão, titanita e opacos (3 a 5%).

O quartzo mostra-se anedral e de contato irregular entre os grãos, com extinção ondulante e bastante fraturado. Formam bandas em conjunto plagioclásio e feldspato potássico (Fotomicrografias 40 e 41 – Prancha 13).

O plagioclásio encontra-se subédrico e de contato reto com outros minerais da lâmina, geminação albita carlsbad, mostra-se bastante alterado (sericitizados). Identifica-se em alguns pontos da lâmina um intercrescimento de quartzo com plagioclásio (mirmequitas) nas bordas do feldspato potássico (Fotomicrografias 40 e 42 – Prancha 13).

O feldspato potássico está representado por microclinas subeudrais com contato reto entre os grãos, geminação albita periclina, com um grau de alteração bastante elevado (sericitizados), ocorrem ainda o aparecimento de albita nas bordas do feldspato potássico intercrescida com quartzo formando mirmequitas (Fotomicrografias 37 e 39 – Prancha 13).

A granada ocorre associada com hornblenda que se desenvolve a partir da desestabilização das mesmas, mostram-se subeudrais, com um índice elevado de fraturas onde se concentram a formação de hornblenda além de inclusões de pequenos minerais de quartzo, apatita e opacos (Fotomicrografias 41 e 42 – Prancha 13).

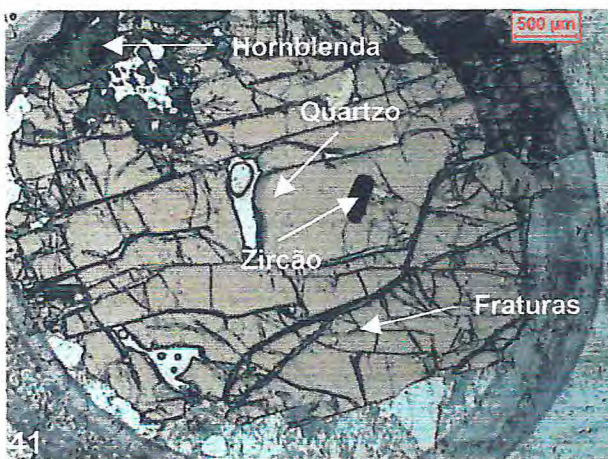
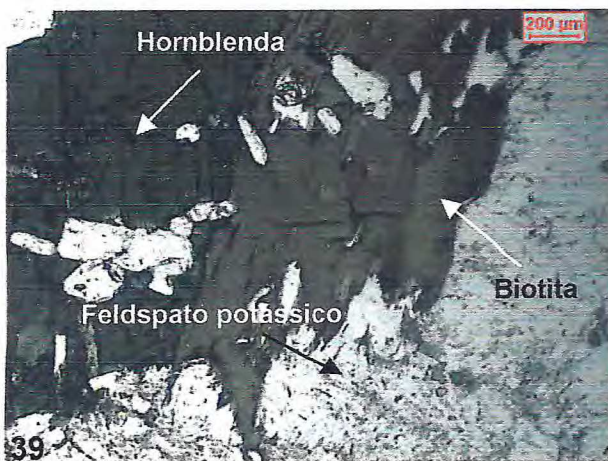
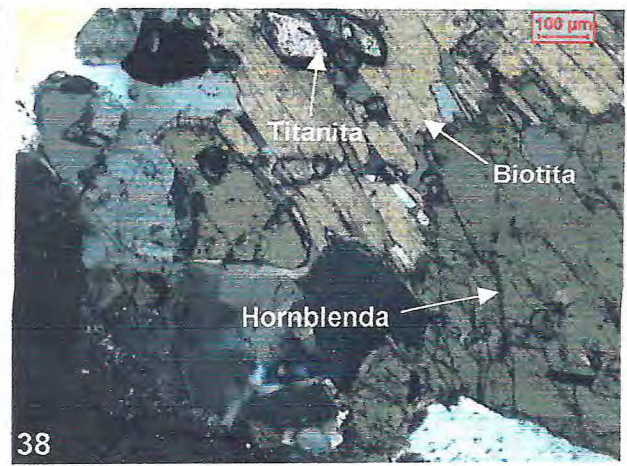
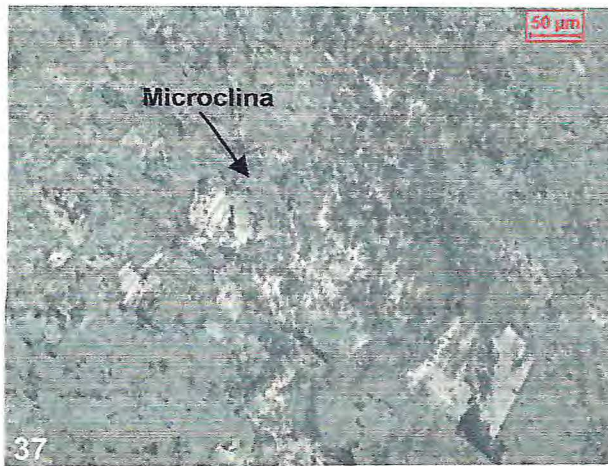
A biotita exibe coloração que varia do castanho ao vermelho sendo essa última um indício da presença de titânio, mostram-se alongadas e subeudrais. Um intercrescimento de hornblendas e plagioclásios a partir da biotita é observado, mostrando que a sua desestabilização colabora para o surgimento desses minerais. Nas clivagens observa-se também surgimento de minerais de titanita (Fotomicrografias 38, 39 e 40 – Prancha 13).

O anfibólio presente está representado por hornblenda que intercresce a partir da desestabilização da biotita presente por vezes consumindo quase que totalmente

esses minerais, mostra-se anedral com uma coloração esverdeada e inclusões de apatita e opacos (Fotomicrografias 38, 39, 40 e 41 – Prancha 13).

Acessoriamente estão presentes apatitas e zircão bem formados ocorrendo como inclusões além de titanita crescida a partir de biotita e opacos compondo a rocha (Fotomicrografias 38 e 41 – Prancha 13).

Prancha 13



Fotomicrografia 37 – Microclina alterada (sericitizada) com geminação albita periclina (Luz natural polarizada). Fotomicrografia 38 – Hornblenda prismática, biotita com inclusão de zircão e titanita (Luz ortoscópica). Fotomicrografias 39 e 40 – Hornblenda intercrescida em biotita, quartzo e plagioclásio com geminação albita carlsbad (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica). Fotomicrografias 41 e 42 – Granada com hornblenda intercrescendo nas fraturas e inclusões de quartzo e zircão (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).

3.6. Diques

Estão representados por 2 (dois) corpos a noroeste da área em blocos compostos por material de cor rosada, granulação fina a média, mineralogicamente compostos por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e anfibólios (Fotos 36, 37 e 38 – Prancha 14). Segundo a classificação modal de rochas plutônicas de Le Maitre, (1989) caem no campo dos sienogranitos (Figura 12).

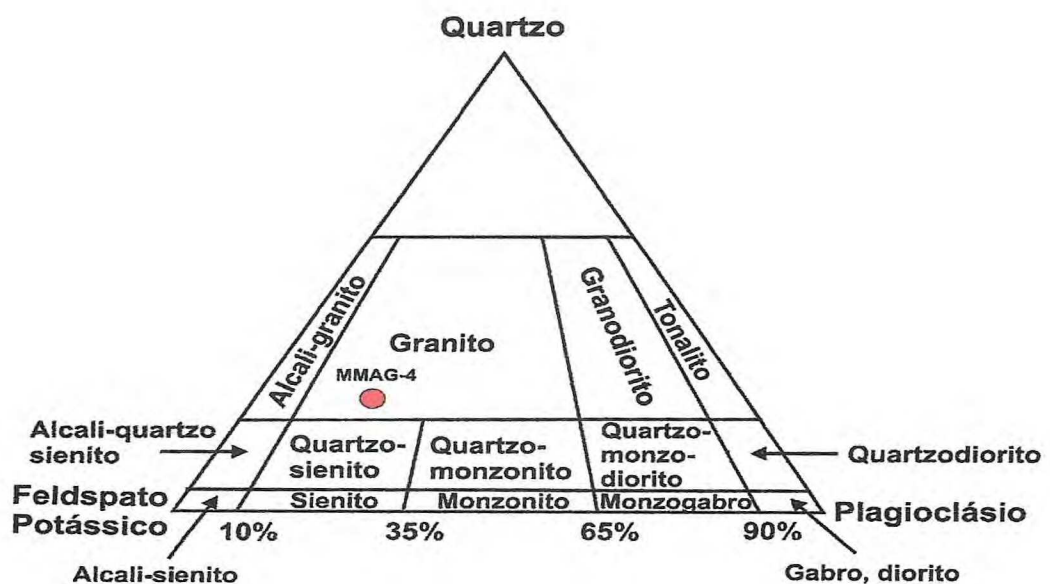


Figura 12 – Diagrama de Le Maitre, (1989), mostrando o campo de plotagem da rocha (Amostra – MMAG-4).

Prancha 14



Fotos 36 e 37 – Blocos de granito (AFL23 - UTM – 421021/9629280). Foto 38 – Aspecto macroscópico da rocha (AFL23 - UTM – 421021/9629280).

Microscopicamente exibem uma textura granoblástica inequigranular e são formados por: quartzo (20 a 25%), feldspato potássico (microclinas) (30 a 35%), plagioclásio (10 a 15%), biotita (3 a 5%), anfibólio (10 a 15%), como minerais acessórios estão presentes apatita, zircão e opacos (3 a 5%).

O quartzo encontra-se subeudral a anedral, com contato reto entre os grãos, recristalizado e com extinção ondulante formando bandas de deformação em conjunto com plagioclásio e feldspato potássico (Fotomicrografias 43 e 44 – Prancha 15).

O feldspato potássico é representado por microclinas anedrais com contato irregular com plagioclásio e quartzo, estão bastante alteradas (sericitizadas). Nota-se intercrescimentos de plagioclásio e quartzo em conjunto com esses minerais dando origem a mirmequitas. Nas porções mais alteradas há uma notável presença de inclusões de minerais de apatita e zircão (Fotomicrografias 43 e 44 – Prancha 15).

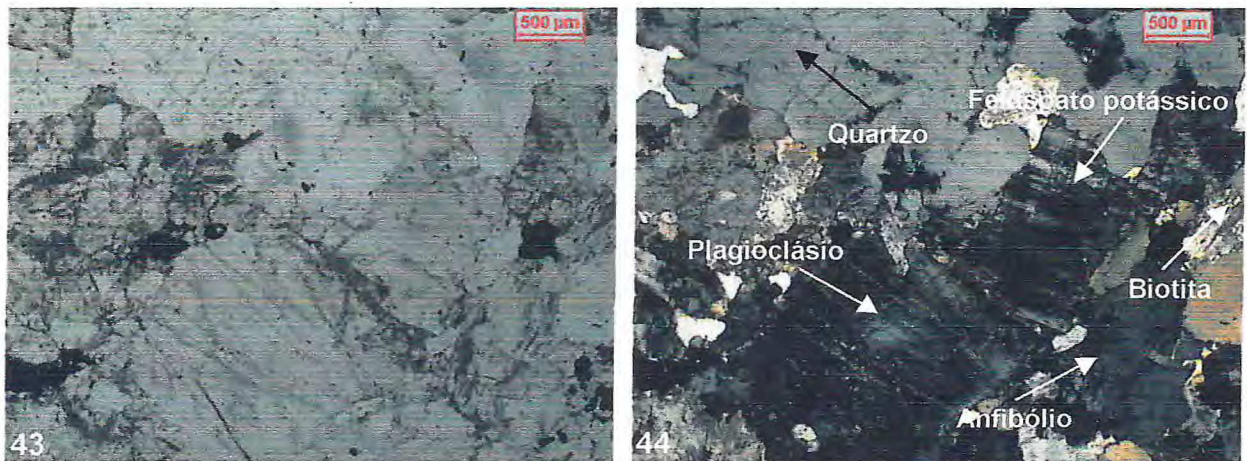
O plagioclásio exhibe formas subeudrais, fraturados e com geminação albita carlsbad, estão em contato com feldspato potássico e quartzo originando mirmequitas. Antipertitas também são observadas quando da associação com plagioclásios (Fotomicrografias 43 e 44 – Prancha 15).

A biotita encontra-se geralmente associada a anfibólios em grãos tabulares, alongados e deformados de cor amarronzada que junto com o anfibólio forma a foliação (Fotomicrografias 43 e 44 – Prancha 15).

Os anfibólios (hornblendas) são subeudrais de cor esverdeada, estão em contato com biotita formando núcleos circundados por quartzo, plagioclásio e feldspato potássico (Fotomicrografias 43 e 44 – Prancha 15).

Os minerais acessórios são representados por apatitas e zircões bem formados inclusos em minerais de feldspato potássico além de opacos.

Prancha 15



Fotomicrografias 43 e 44 – Plagioclásio com geminação albita carls bad, biotita, quartzo, feldspato potássico alterado (sericitizado), hornblenda e biotita (Luz natural polarizada e Luz ortoscópica).

4 – Química Mineral

O presente capítulo trata da química mineral de alguns litotipos da área com vistas à ampliar o conhecimento dos componentes minerais, contribuindo com dados relativos a petrogênese, classificação das rochas e determinação das condições metamórficas de P e T, através de termobarômetros utilizados.

Os minerais analisados quimicamente correspondem a: biotita, anfibólio, feldspato (plagioclásio e feldspato potássico), piroxênio, granada, opaco (ilmenita) e titanita.

O cálculo das fórmulas estruturais obedeceu aos seguintes parâmetros: biotitas – base de 22 oxigênios (Deer *et al.*, 1972); anfibólios - com 15 cátions e 23 oxigênios (Robinson *et al.*, 1981), classificação de anfibólios segundo Morimoto (1988); feldspatos – base de 32 oxigênios (Deer *et al.*, 1966), plagioclásios – com 32 oxigênios (Deer *et al.*, 1966); piroxênios – com 4 cátions e 6 oxigênios (Cawthorn & Collerson, 1974); granadas – base de 8 cátions, 12 oxigênios e proporções Fe^{+2} e Fe^{+3} (Knowles, 1987), com membros finais das granadas conforme Rickwood (1968); ilmenita/rutilo, respectivamente com 9 e 10 oxigênios) e titanitas, com 9 e 10 oxigênios.

4.1. Biotita gnaiss com hornblenda

Os minerais componentes desse litótipo analisados quimicamente foram: biotita, anfibólio, plagioclásio e feldspato potássico.

Biotitas

A biotita presentes formam grãos tabulares dispersos pela lâmina marcando a foliação, são de cor acastanhada e encontram-se também inclusas em plagioclásio e anfibólio. De acordo com o diagrama de Al^{VI} vs. $Fe/[(Fe+Mg)]$ das soluções sólidas flogopita-anita-eastonita-siderofilita (Deer *et al.*, 1966) as razões $Fe/[(Fe+Mg)]$ variam de 0,53 a 0,58 posicionando-se mais próximas da extremidade da anita (Figura 13).

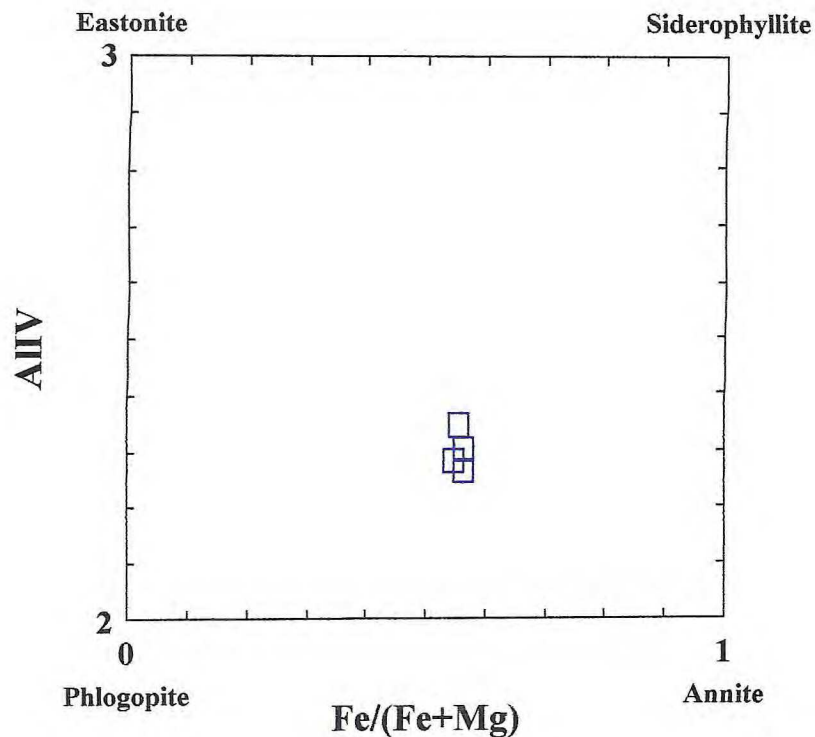


Figura 13 – Classificação para as biotitas do Biotita gnaiss com hornblenda.

Sua fórmula estrutural corresponde aos valores de: K (1,940 – 1,955) Na (0,011 – 0,024) Mg (2,223 – 2,344) Fe⁺² (2,825 – 2,924) Mn (0,042 – 0,051) Al^{VI} (0,325 – 0,427) Ti (0,372 – 0,422) Si (5,652 – 5,717) Al^{IV} (2,266 – 2,348) O₂₀ [F(0,513 – 0,763) Cl (0,064 – 0,088) OH (3,423 – 3,325)] (Tabela 01 – Anexo 01).

A coexistência da biotita com outros minerais, para fins de avaliação do efeito de compatibilidade petrogenética, pode ser observada através do diagrama FeO-MgO-Al₂O₃ (Nockolds, 1974), que delimita quatro campos distintos para a coexistência da biotita (Figura 14).

Para os minerais analisados, as biotitas situam-se no campo de coexistência com hornblenda e biotita (H+B), podendo assim expressar condições metamórficas em fácies Anfibolito.

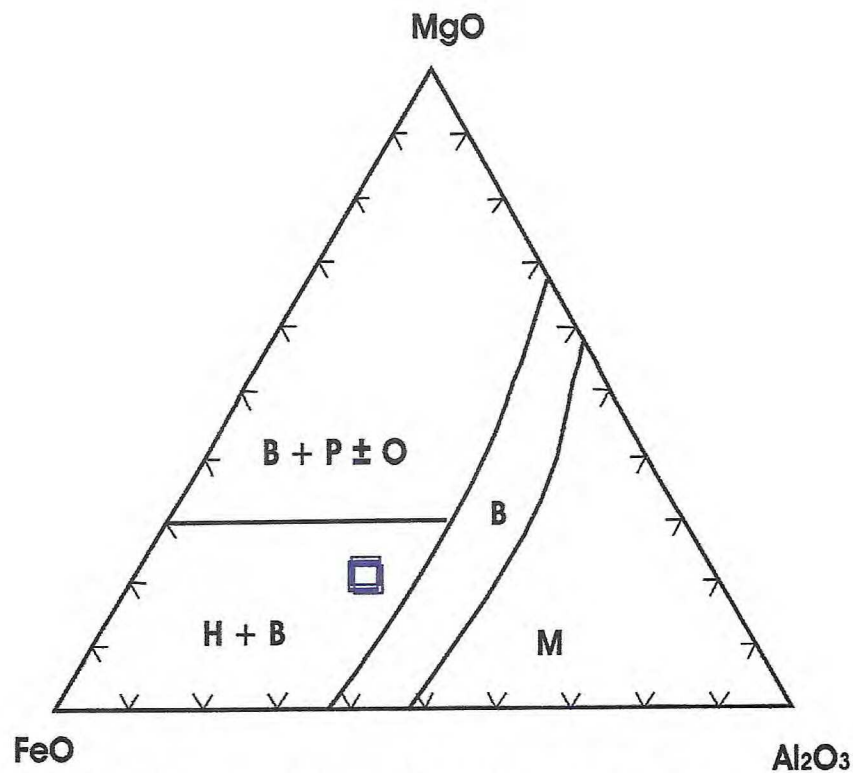


Figura 14 – Classificação das biotitas de acordo com o diagrama FeO-MgO-Al₂O₃ (Nockolds, 1974). Símbolos: M – moscovita; B – biotita; B+P±O – biotita, piroxênio e olivina e H+B – hornblenda e biotita.

Anfibólios

O anfibólio representado por hornblenda esverdeada prismática encontra-se em contato com biotita.

A fórmula estrutural está representada por: Na_(0,366 – 0,444) K_(0,264 – 0,279) Ca_(1,837 – 1,881) Mn_(0,068 – 0,082) Fe⁺²_(2,27 – 2,397) Mg_(1,726 – 1,831) Ti_(0,129 – 0,141) Fe⁺³_(0,206 – 0,350) Al_(1,912 – 2,000) Al^{C+T}_(0,441 – 0,549) Si_(6,451 – 6,529) O₂₃ (Tabela 02 – Anexo 01).

Segundo a relação $Tsi \times Mg/(Mg + Fe^{+2})$, com $(ANa + AK) > 0,50$; $Ti < 0,50$ e $Fe^{+3} < Al^{VI}$ (Hawthorne, 1981), as amostras estão posicionadas como hornblenda ferro pargasita (Figura 15).

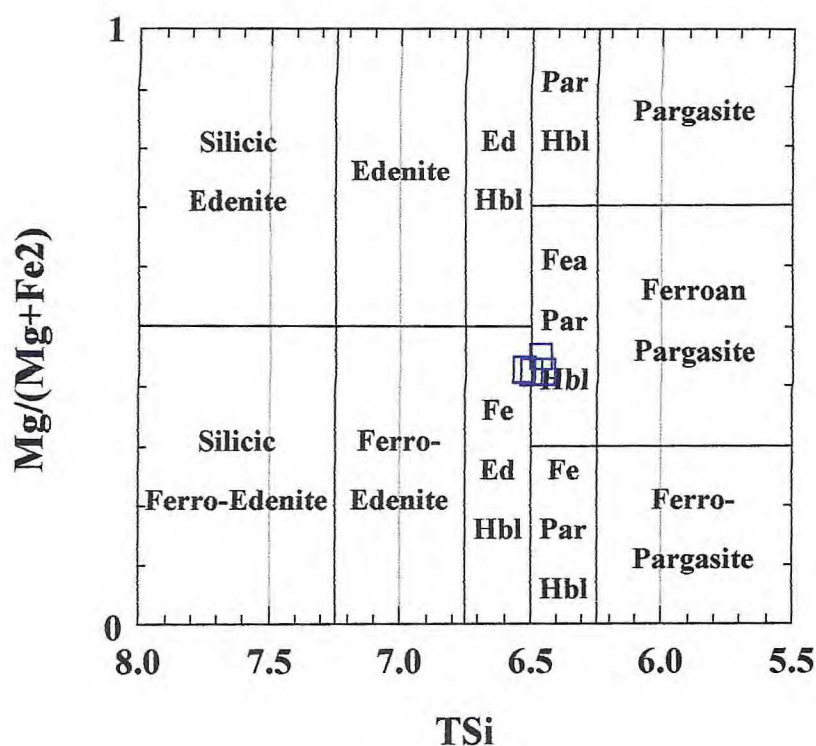


Figura 15 – Classificação dos anfíbios para os biotita gnaiss com hornblenda, segundo a relação $TSi \times Mg/(Mg + Fe^{+2})$, $(ANa + AK) > 0,5$; $Ti < 0,5$; $Fe^{+3} < Al^{VI}$ (Hawthorne, 1981).

Feldspatos

Os biotita gnaiss com hornblenda foram analisados tanto para plagioclásio quanto para feldspato potássico.

Os plagioclásios apresentam geminação tipo lei da albita, sincinemáticos e intensamente sericitizados, enquanto os feldspatos potássicos perfiticos são representados por microclinas sincinemáticas que em conjunto com quartzo e plagioclásio compõem a foliação.

Considerando as proporções entre albita-anortita e albita-ortoclásio para os plagioclásios dos biotita gnaiss com hornblenda, obteve-se os seguintes valores: Ab (74,300 – 74,500) An (23,000 – 23,500) Or (2,200 – 2,500), classificando-os como oligoclásio (Figura 16).

Nos feldspatos alcalinos as proporções de albita-ortoclásio são as seguintes: Ab (7,8 – 19,8) Or (80,2 – 92,2) classificando-o como sanidina.

Assim, os minerais de plagioclásio enquadram-se como $A_n > 17$ que para esse litótipo indica condições de P e T compatíveis com o fácies Anfíbolito.

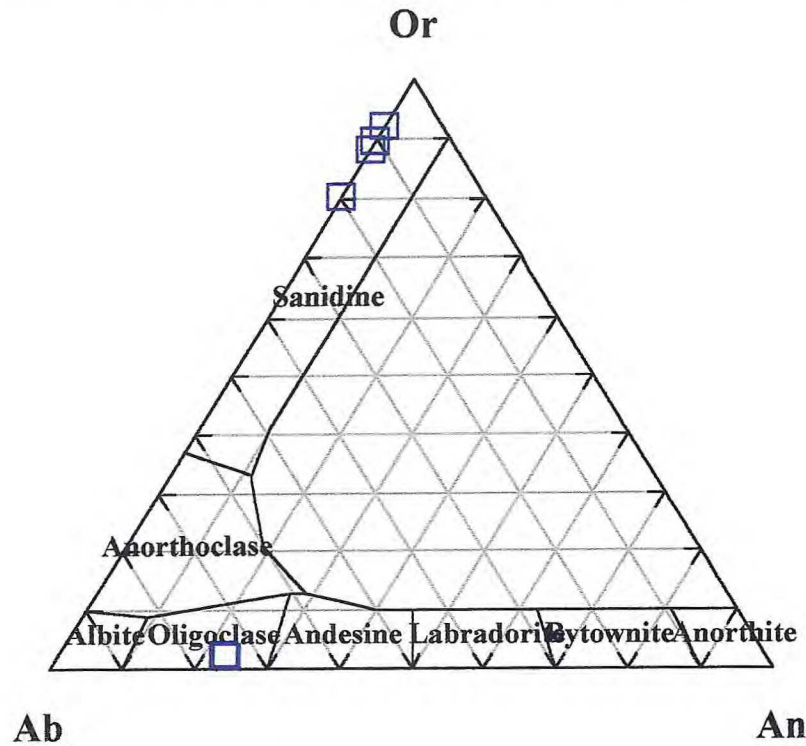


Figura 16 – Classificação do plagioclásio e feldspato potássico.

As fórmulas químicas para os plagioclásios e feldspatos potássicos correspondem respectivamente a: Na (2,928 – 2,931) K (0,087 – 0,099) Ca (0,904 – 0,929) Al (4,943 – 4,965) Si (11,039 – 11,053) O₃₂, e Na (0,311 – 0,776) K (3,153 – 3,656) Ba (0,029 – 0,048) Al (3,989 – 4,965) Si (11,961 – 11,996) O₃₂ (Tabela 03 – Anexo 1).

4.2. Granulitos

4.2.1. Enderbitos

Os minerais componentes dessa rocha analisados foram: biotitas, anfíbólios, piroxênios, granadas, plagioclásios, feldspatos potássicos e opacos (ilmenita).

Biotitas

Conforme o diagrama de Al^{VI} vs. Fe/[Fe+Mg] das soluções sólidas flogopita-anita-eastonita-siderofilita (Deer *et al.*, 1972), as razões Fe/[Fe+Mg] variam entre

0,46 e 0,63, tendendo a uma relação positiva de Al^{VI} vs. $Fe/[(Fe+Mg)]$ e posicionando as mesmas mais próximas da extremidade da anita (Figura 17). Os parâmetros de Schreurs (1985), registram $Al^{VI} < 0,55$ e $Ti > 0,45$ (22 O) indicando dessa forma, "equilíbrio" das biotitas em temperaturas superiores a $750^{\circ}C$ (fácies Granulito), nos enderbitos em termos de classificação esses minerais possuem comportamento semelhante.

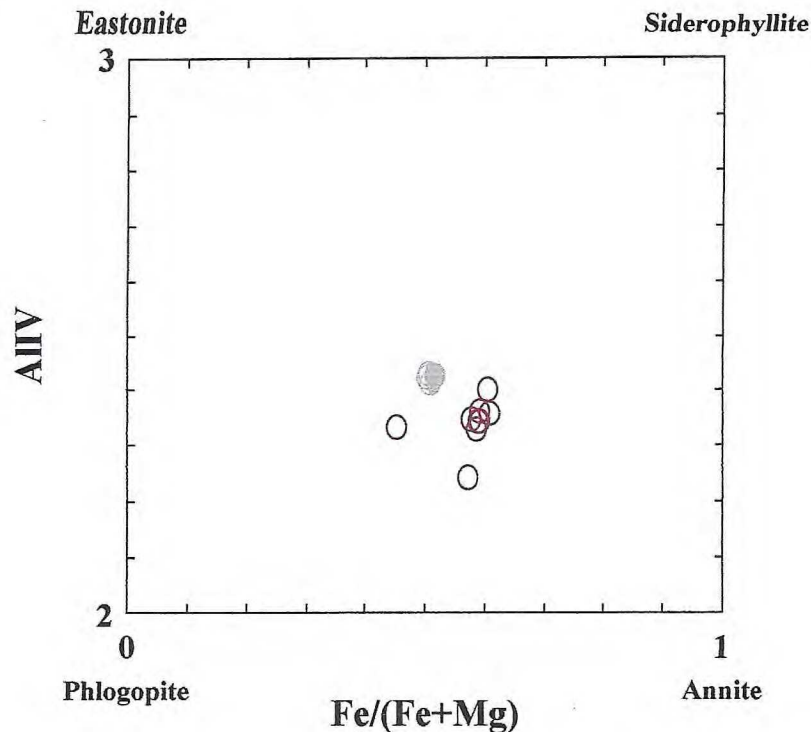


Figura 17– Classificação das biotitas para os enderbitos.

Observa-se que sua presença se dá principalmente intra e intergranular em hiperstênio junto com granadas e opacos, além de intercrescimento de anfibólios

Os minerais de biotita presente nos enderbitos encontram-se nas fraturas do hiperstênio e associados a hornblendas, granadas e opaco. São ricas em titânio assumindo valores de TiO_2 entre 3,15% a 5,02%, ou seja, 0,365 a 0,588 por fórmula.

A fórmula estrutural corresponde aos valores de: $K_{(1,062 - 1,900)} Na_{(0,001 - 0,194)}$
 $Ca_{(0,000 - 0,923)} Mg_{(1,822 - 2,765)} Fe^{+2}_{(2,290 - 3,052)} Al^{VI+VII}_{(0,972 - 2,606)} Ti_{(0,365 - 0,588)} Si_{(5,534 - 6,028)} [F_{(0,603 - 1,273)} Cl_{(0,000 - 0,036)} (OH)_4]$ (Tabela 01 – Anexo 01).

No diagrama $FeO-MgO-Al_2O_3$ (Nockolds, 1974), as biotitas situam-se no campo H + B (hornblenda e biotita), evoluindo ao campo B+P±O (Figura 18).

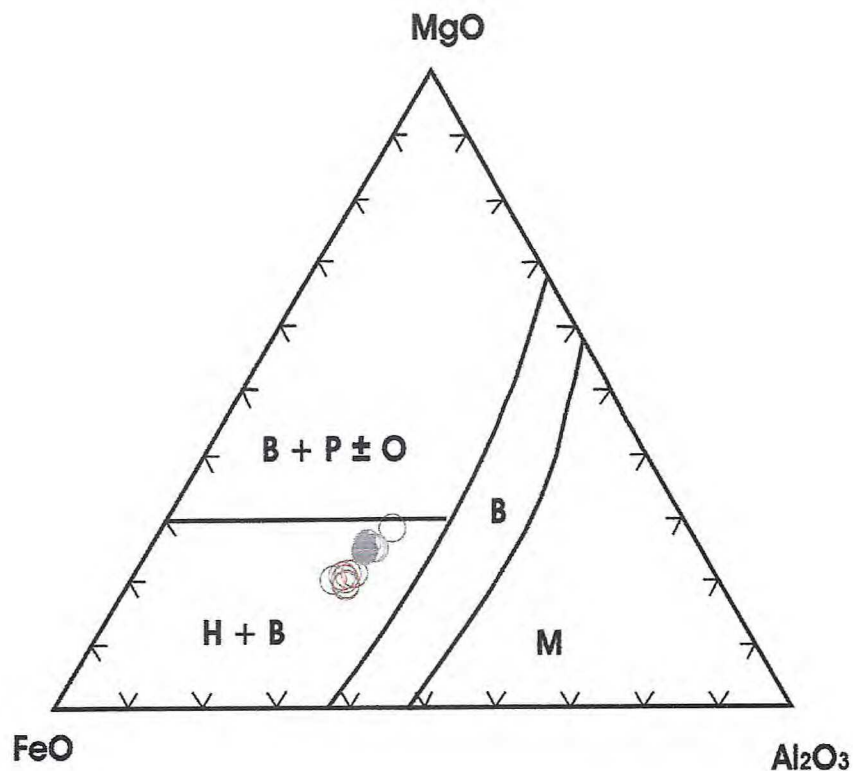


Figura 18 – Classificação das biotitas de acordo com o diagrama FeO-MgO-Al₂O₃ (Nockolds, 1974), para os enderbitos. Símbolos: M – moscovita; B – biotita; B+P±O – biotita, piroxênio e olivina e H+B – hornblenda e biotita.

Anfibólios

Os anfibólios presentes nos enderbitos são representados por hornblendas esverdeadas que são geradas a partir dos piroxênios e biotitas, formando simplectitos circundados por plagioclásio e quartzo.

Considerando as relações TSi vs. $Mg/(Mg+Fe^{+2})$, $(ANa + AK) < 0,5$ e $Ti < 0,5$, os anfibólios estão posicionados na sua maioria no campo da hornblenda magnésiana com exceção de uma amostra que plotou no campo da Actinolita Ferro-actinolita (Figura 19). De acordo com Raase (1974), o conteúdo de Ti na fórmula estrutural em hornblendas do fácies Granulito varia entre 0,18 e 0,32, valores esses não compatíveis aos encontrados nos enderbitos de Itapipoca, sugerindo assim, que essas hornblendas foram geradas em uma fase de retrometamorfismo.

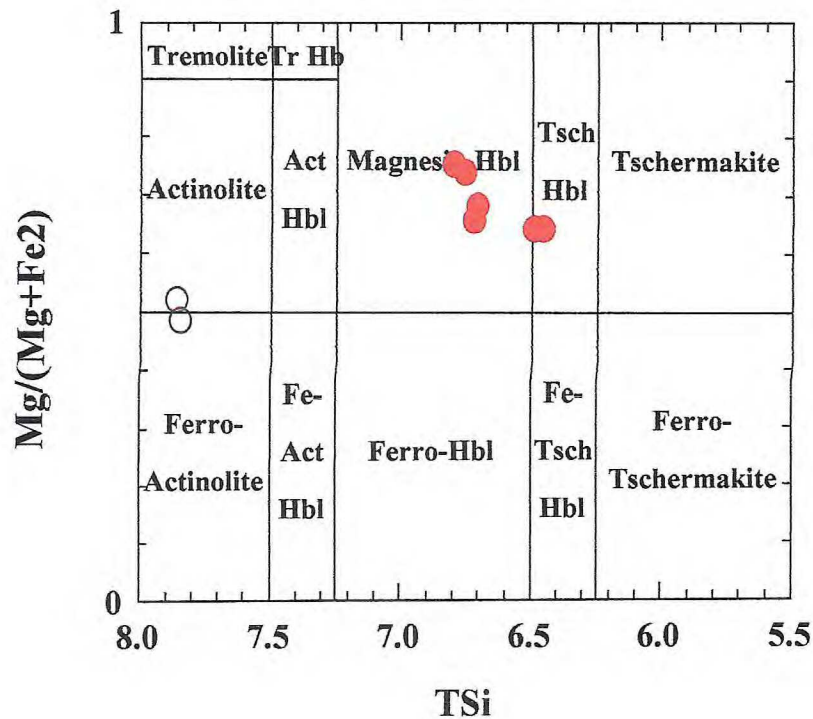


Figura 19 – Classificação dos anfibólios para os enderbitos, segundo a relação $T_{Si} \times \frac{Mg}{Mg+Fe^{2+}}$, $(ANa + AK) < 0,5$; $Ti < 0,5$ (Hawthorne, 1981).

A fórmula estrutural pode ser representada por: $Na_{(0,172-0,362)} K_{(0,041-0,074)} Ca_{(1,771-2,000)} Mn_{(0,004-0,029)} Fe^{+2}_{(0,903-2,682)} Mg_{(1,579-3,039)} Ti_{(0,009-0,211)} Fe^{+3}_{(0,151-0,545)} Al^{VI+IV}_{(0,201-2,281)} Si_{(6,321-7,854)} O_{22}(OH)_2$ (Tabela 02 – Anexo 01).

Feldspatos

Considerando as proporções entre albita-anortita para os plagioclásios e albita-ortoclásio nos feldspatos potássicos, as amostras mostram respectivamente: Ab (60,8 – 77,4) An (20,9 – 38,4) e Ab (14,5 – 18,9) Or (80,8 – 85,4). Os plagioclásios estão situados no campo da andesina, enquanto os feldspatos potássicos plotam no campo da sanidina (Figura 20).

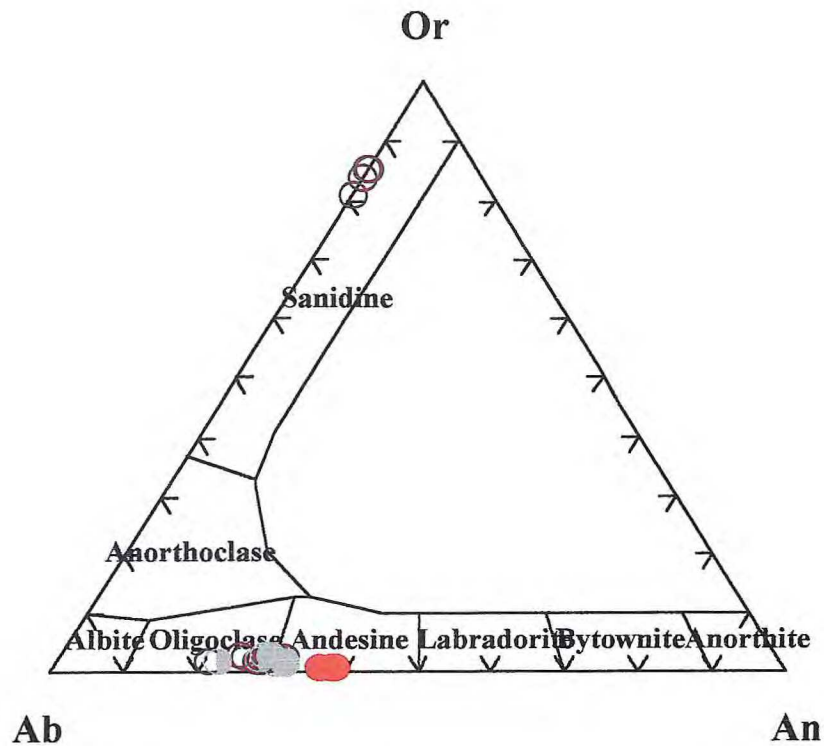


Figura 20 – Classificação dos feldspatos analisados nos enderbitos.

A fórmula estrutural para os plagioclásios é a seguinte: Na_(2,396 – 3,06) Ca_(3,304 – 6,08) Al_(4,096 – 5,484) Si_(10,488 – 11,156) O₃₂, dos feldspatos potássicos são representados por: K_(3,172 – 3,34) Na_(0,568 – 0,74) Ba_(0,052 – 0,064) Al_(4,036 – 4,32) Si_(11,748 – 11,948) O₃₂ (Tabela 03 – Anexo 01).

Piroxênios

Os piroxênios presentes nas seções analisadas correspondem principalmente ao hiperstênio que se encontra disperso por toda lâmina, mas nota-se pelos valores finais da análise química a presença de clinopiroxênio apesar de sua difícil detecção em lâmina. O hiperstênio ocorre associado com hornblenda, biotita, granada e opacos circundados por quartzo, plagioclásio e feldspato potássico.

Os ortopiroxênios plotaram no campo do hiperstênio-ferrosilita, enquanto os cliopiroxênios no campo do diopsídio/augita (Figura 21).

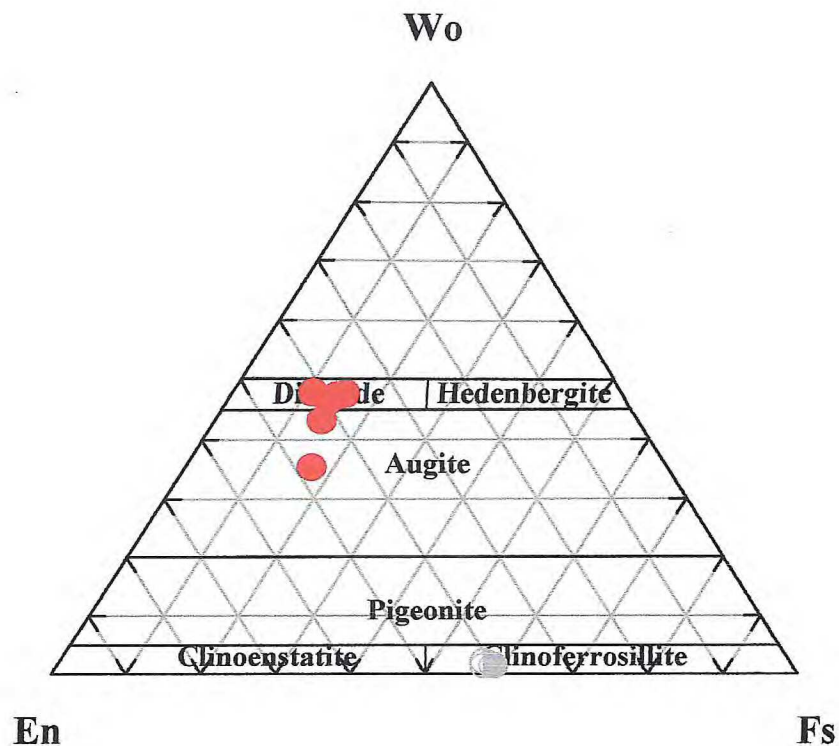


Figura 21 – Classificação dos ortopiroxênios (Wo – wolastonita; En – enstatita e Fs – forsterita) (Morimoto, 1988).

A fórmula estrutural para os ortopiroxênios corresponde a: $\text{Ca}_{(0,028 - 0,039)} \text{Mn}_{(0,031 - 0,036)} \text{Mg}_{(0,797 - 0,815)} \text{Fe}^{+2}_{(1,09 - 1,125)} \text{Ti}_{(0,001 - 0,013)} \text{Al}^{\text{VI+IV}}_{(0,017 - 0,039)} \text{Si}_{(1,990 - 1,994)} \text{O}_6$; os clinopiroxênios por sua vez, são: $\text{Na}_{(0,018 - 0,054)} \text{Ca}_{(0,613 - 0,941)} \text{Mn}_{(0,031 - 0,036)} \text{Mg}_{(0,723 - 0,836)} \text{Fe}^{+2}_{(0,036 - 0,441)} \text{Fe}^{+3}_{(0,000 - 0,120)} \text{Ti}_{(0,002 - 0,014)} \text{Al}^{\text{VI+IV}}_{(0,047 - 0,310)} \text{Si}_{(1,878 - 1,953)} \text{O}_6$ (Tabela 04 – Anexo 01).

Granadas

As granadas ocorrem associadas ao hiperstênio, anfibólio, biotita e opacos. Em torno dessa associação tem-se plagioclásio, quartzo e feldspato potássico. Nos enderbitos esses minerais tendem ao termo almandina com os seguintes membros finais: almandina (48,990 – 65,801) – grossulária (14,088 – 26,041) – piropo – (7,442 – 20,696) – espessartita (1,098 – 6,485) (Figuras 22 e 23).

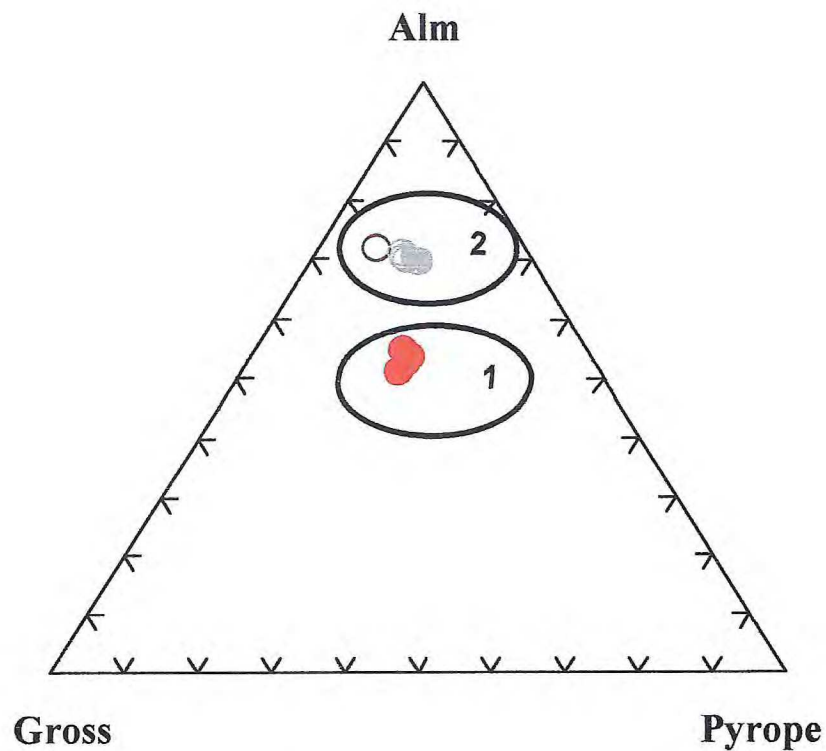


Figura 22 – Classificação da granada com as proporções dos membros finais de almadina-piropo-grossulária, mostrando que a granada tende a almandina.

Observa-se a presença de 2 (dois) conjuntos distintos, no primeiro um enderbito com menos quartzo e uma quantidade maior de granada em grãos individualizados e bem formados, no segundo essa quantidade de quartzo aumenta e a granada presente é mais dispersa e desestabilizada em uma mistura com piroxênios muitas vezes de difícil detecção em lâmina.

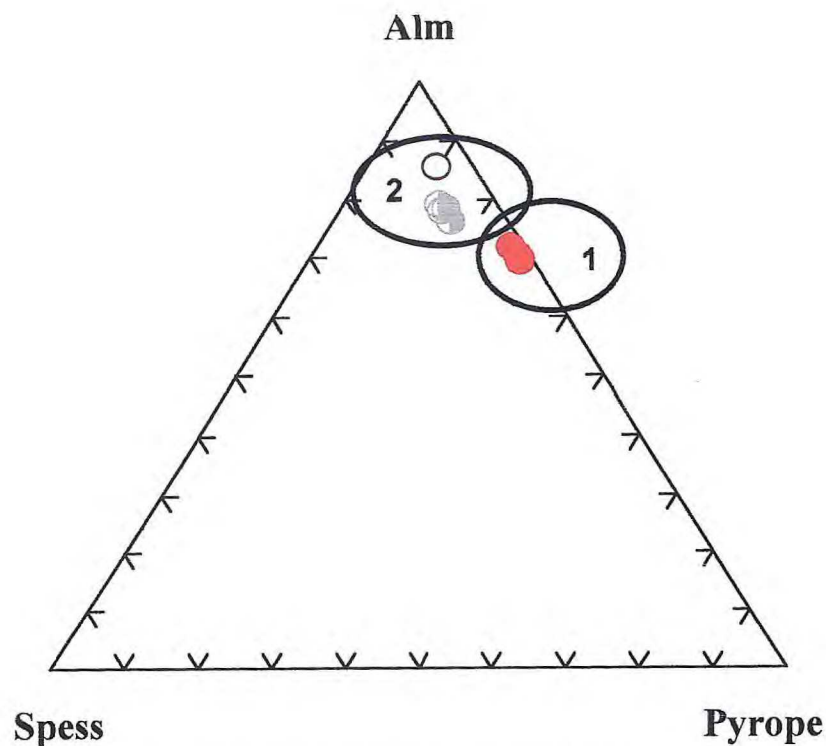


Figura 23 – Classificação da granada com as proporções dos membros finais de almandina-piropo-espessartita.

A fórmula representativa das granadas vem: $\text{Ca}_{(0,507 - 0,867)} \text{Mn}_{(0,032 - 0,188)} \text{Mg}_{(0,214 - 0,599)} \text{Fe}^{+3}_{(0,075 - 0,099)} \text{Fe}^{+2}_{(1,431 - 1,889)} \text{Al}^{\text{VI}}_{(1,714 - 2,018)} \text{Si}_{(2,973 - 3,667)} \text{O}_{12}$ (Tabela 05 – Anexo 01).

Óxidos

Os óxidos analisados correspondem as ilmenitas que ocorrem intercrescidos em minerais de hornblenda e formando simplectitos com granadas e piroxênios. Sua formulação corresponde a: $\text{Fe}^{+2}_{(3,350 - 3,536)} \text{Ti}_{(3,181 - 3,234)} \text{O}_9$ (Tabela 06 – Anexo 01).

4.2.2. Charnockitos

Essas rochas encontram-se em campo englobando os enderbitos. Foram analisados os seguintes minerais: biotita, anfibólio, piroxênio, granada, plagioclásio, feldspato potássico e opacos (ilmenita).

Biotitas

A biotita apresenta-se acastanhada com tons avermelhados, formando junto com os anfibólios a foliação da rocha. Pode-se observar o intercrescimento desses minerais nas fraturas do hiperstênio e nas bordas dos anfibólios associadas com granada e opaco envolvidas por plagioclásio e quartzo.

De acordo com o diagrama de Al^{VI} vs. $Fe/[(Fe + Mg)]$ das soluções sólidas flogopita-anita-eastonita-siderofilita (Deer *et al.*, 1972), as amostras analisadas mostram que a razão $Fe/[(Fe + Mg)]$ encontra-se entre o intervalo 5,9 e 7,0, e determinam dois grupos distintos próximos da extremidade da Anita (Figura 24). Possuem um elevado valor em TiO_2 entre 4,51% e 5,11%, sendo por fórmula química 0,544 a 0,609.

Sua fórmula química corresponde aos valores de: K (1,758 – 1,888) Na (0,020 – 0,072) Ca (0,000 – 0,048) Mn (0,004 – 0,014) Mg (1,530 – 2,083) Fe^{+2} (2,783 – 3,577) Ti (0,544 – 0,609) Al^{IV+VI} (2,337 – 2,599) Si (5,466 – 5,750) [F (0,265 – 1,126,548) Cl (0,050 – 0,206) (OH)₄] (Tabela 01 – Anexo 01).

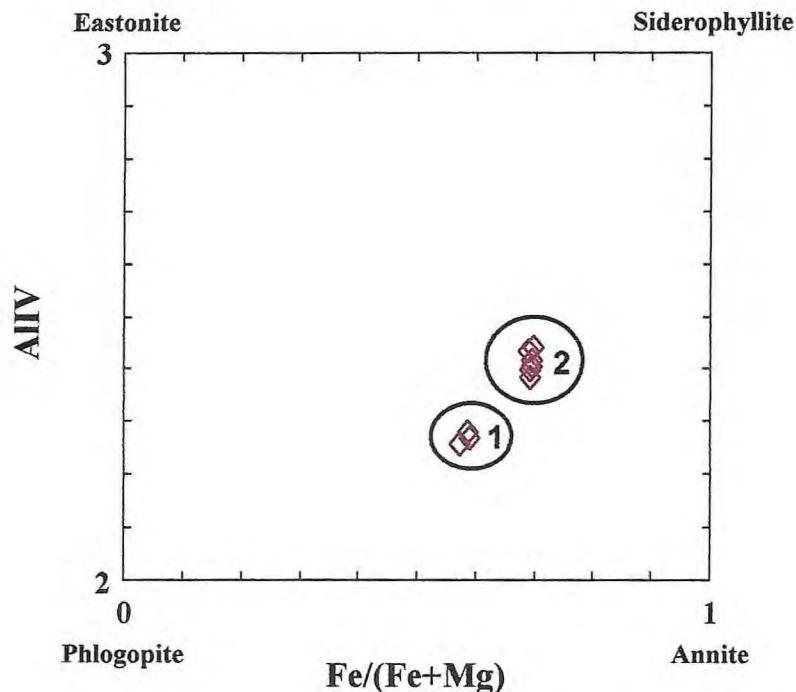


Figura 24 – Classificação para as biotitas dos charnockitos mostrando duas gerações distintas.

A coexistência da biotita com outros minerais, para avaliar o efeito de compatibilidade petrogenética, pode ser observada pelo diagrama FeO-MgO-Al₂O₃ (Nockolds, 1974), que delimita quatro campos distintos para a coexistência da biotita, para os minerais analisados as biotitas plotaram no campo (H + B) – hornblenda e biotita (Figura 25).

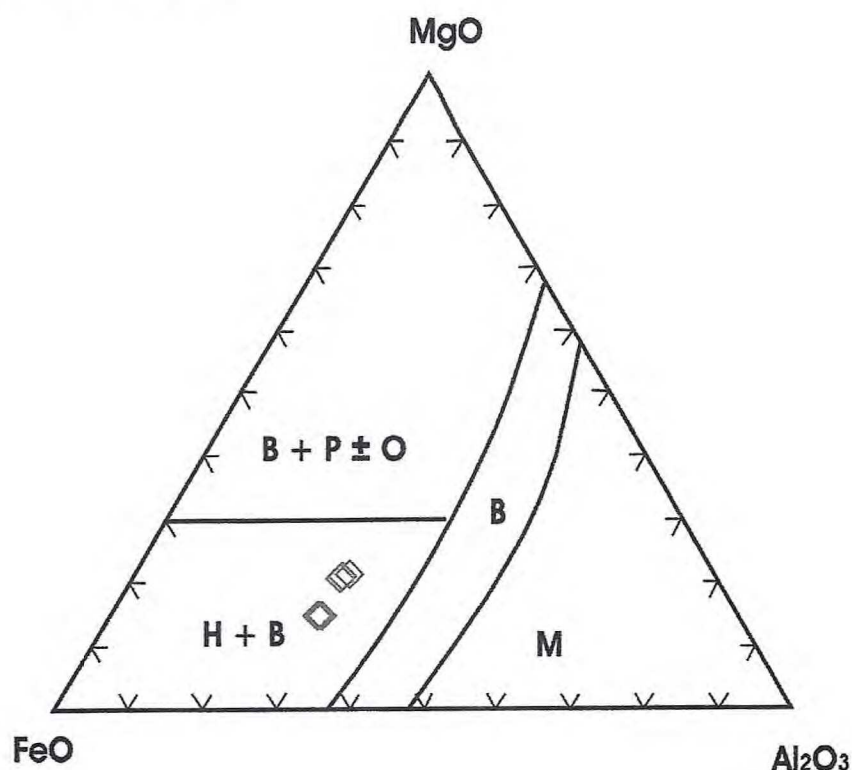


Figura 25 – Classificação das biotitas de acordo com o diagrama FeO-MgO-Al₂O₃ (Nockolds, 1974), para os charnockitos. Símbolos: M – moscovita; B – biotita; B+P±O – biotita, piroxênio e olivina e H+B – hornblenda e biotita.

Anfibólios

Os anfibólios presentes nos charnockitos são de cor esverdeada e ocorrem junto com biotita, hiperstênio, granada e opacos em meio aos plagioclásios, feldspatos potássicos e quartzo.

Conforme as relações $BCa + BNa \times BNa$ de Hawthorne (1981), há 2 (dois) grupos distintos que plotaram respectivamente no campo dos anfibólios ferro-magnesianos (Fe-Mg-Mn) e cálcico (Figura 26).

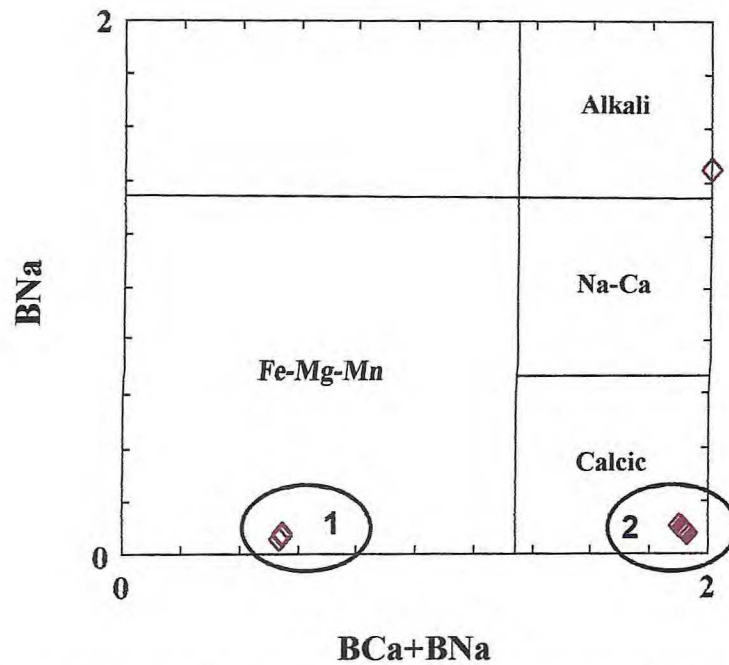


Figura 26 - Classificação dos anfibólios no campo ferro-magnésiano (Fe-Mg-Mn) e cálcico dos charnockitos, segundo Hawthorne (1981), pela relação $BCa + BNa \times BNa$ (Hawthorne, 1981).

Pelas reações TSi vs. $Mg/(Mg+Fe^{+2})$, um dos grupos corresponde a ortoanfibólios Fe-Mg manganésíferos, representados pela antofilita (Figura 27).

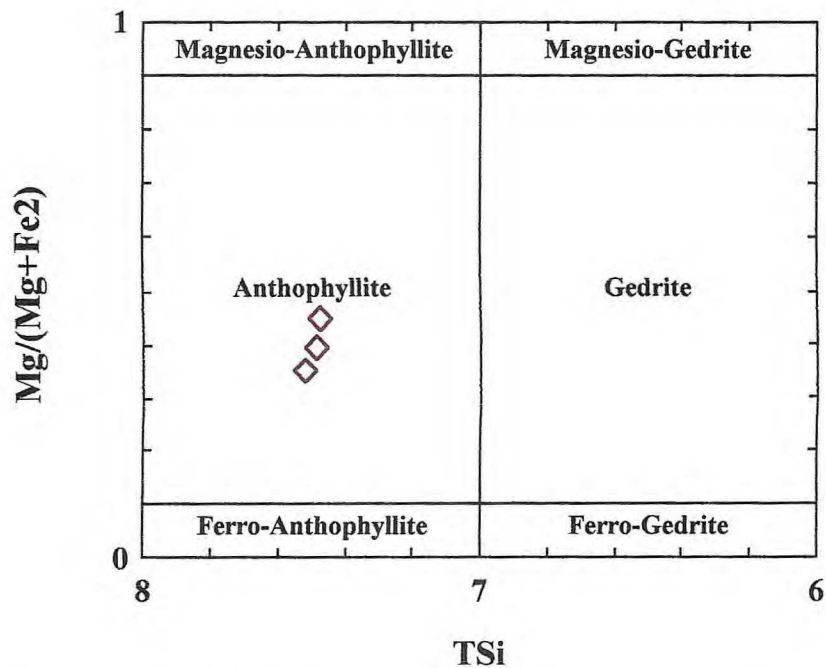


Figura 27 - Classificação dos anfibólios para os charnockitos, segundo a relação $TSi \times Mg (Mg + Fe^{+2})$, Fe-Mg-Mn grupo ortorrômbico para o primeiro grupo de amostras (Hawthorne, 1981).

Por outro lado, considerando as reações TSi vs. $Mg/(Mg+Fe^{+2})$, $ANa + AK > 0,5$; $Ti < 0,5$; $Fe^{+3} < Al^{VI}$ o segundo grupo de amostras posta-se no campo da Hornblenda ferro-pargasita (Figura 28).

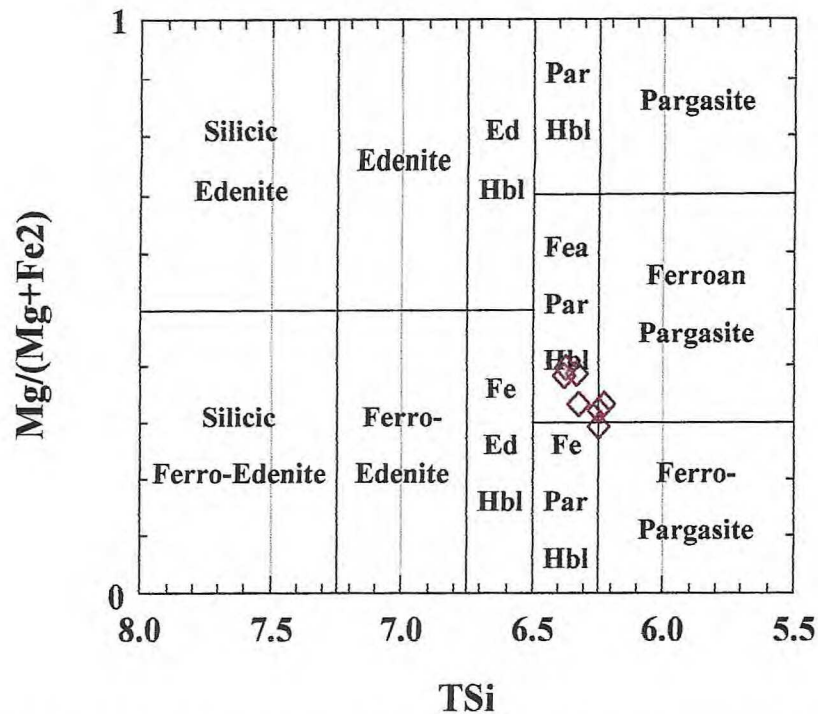


Figura 28 - Classificação dos anfibólios para os charnockitos, segundo a relação TSi X $Mg/(Mg + Fe^{+2})$, $ANa + AK > 0,5$; $Ti < 0,5$; $Fe^{+3} < Al^{VI}$ para o segundo grupo de amostras (Hawthorne, 1981).

O primeiro grupo possui valores de Ti que são próprios do fácies Anfíbolito ($Ti < 0,18$) e, o segundo grupo registram valores de Ti compatíveis a condições de alto grau ($0,18 < Ti < 0,3$) fácies Granulito (Raase, 1974). Esses últimos associados aos piroxênios.

A fórmula estrutural corresponde aos seguintes valores: Na ($0,126 - 2,313$) K ($0,059 - 0,337$) Ca ($0,470 - 2,259$) Mn ($0,000 - 0,098$) Fe^{+2} ($0,004 - 3,510$) Mg ($0,004 - 1,672$) Ti ($0,008 - 0,247$) Fe^{+3} ($0,000 - 1,672$) Al^{VI+IV} ($0,183 - 6,304$) Si ($6,229 - 8,910$) $O_{22}(OH)_2$ (Tabela 02 – Anexo 01).

Feldspatos

Os feldspatos reconhecidos nos charnockitos apresentam geminação segundo a lei da albita (plagioclásios), os quais ocorrem principalmente em conjunto com o quartzo, constituindo pertitas. Os feldspatos potássicos (microclinas) são encontrados com geminação albita periclina e grau de alteração elevado. Esses feldspatos em conjunto com o quartzo formam bandas quartzo feldspáticas que envolvem hiperstênio, granada, anfibólio, biotita e opacos.

Conforme as proporções de albita-anortita para os plagioclásios e albita-ortoclásio nos feldspatos potássicos, as análises mostram respectivamente Ab (67,8 – 78,3) An (19,6 – 30,2) e Ab (10,7 – 22,7) Or (76,9 – 87,3). Os plagioclásios posicionam-se entre oligoclásio-andesina, enquanto os feldspatos potássicos caem no campo da sanidina (Figura 29).

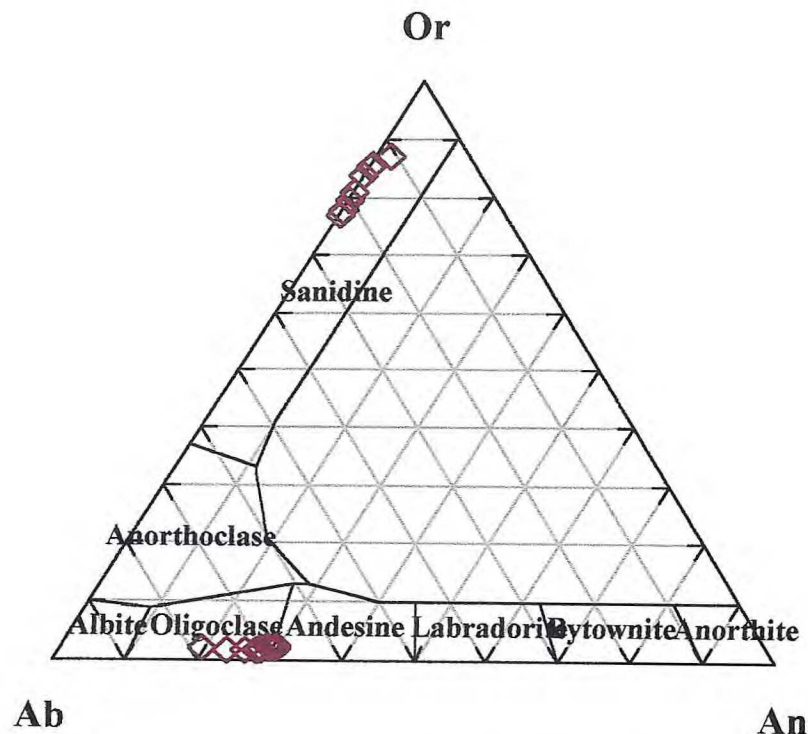


Figura 29 – Classificação dos feldspatos analisados nos charnockitos.

A fórmula dos plagioclásios corresponde a: K (0,068 – 0,092) Na (2,644 – 3,096) Ca (0,776 – 1,204) Al (4,82 – 5,232) Si (10,768 – 11,188) O₃₂, e para os feldspatos potássicos tem-se: K (3,052 – 3,396) Na (0,416 – 0,900) Ca (0,004 – 0,080) Al (4,036 – 4,32) Si (11,828 – 11,948) O₃₂ (Tabela 03 – Anexo 01).

Piroxênios

Os piroxênios (hiperstênio) analisados em lâmina ocorrem associados a anfibólios, granadas, biotitas e opacos. O hiperstênio apresenta nas fraturas intercrescimento de anfibólio e biotita, e encontram-se envolvidos por granadas desestabilizadas, plagioclásio, quartzo e feldspato potássico.

Conforme Morimoto (1988), compreendem a ferrossilita, cujos valores de En-Fs são respectivamente 31,72% e 66,89% (Figura 30).

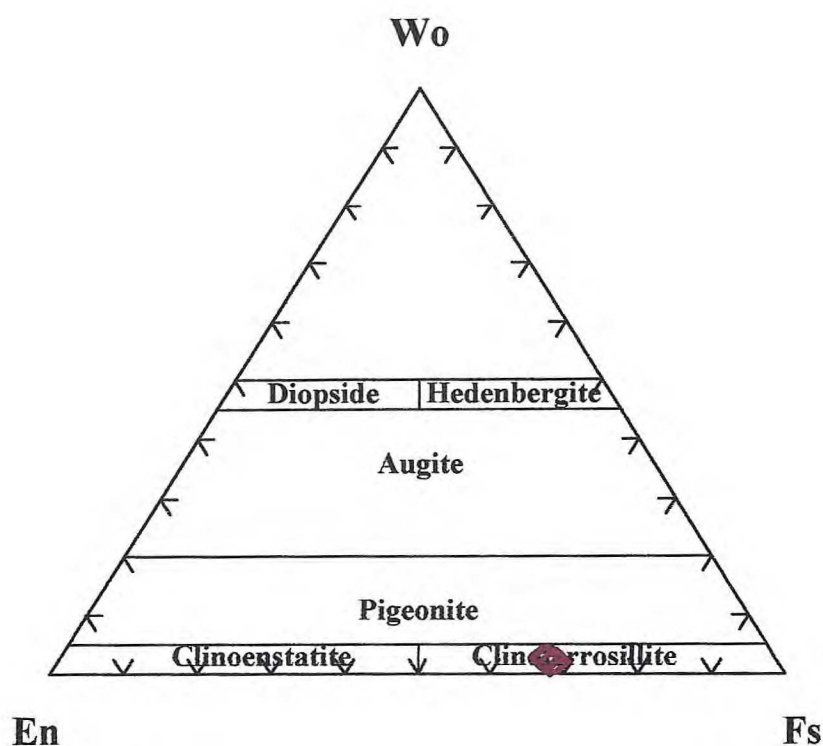


Figura 30 – Classificação dos ortopiroxênios no campo da ferrossilita (Wo – wolastonita; En – enstatita e Fs – forsterita) (Morimoto, 1988).

As relações estruturais dos ortopiroxênios são representadas por: Ca_(0,034 – 0,056) Mn_(0,018 – 0,023) Fe⁺²_(1,272 – 1,334) Mg_(0,592 – 0,627) Al^{VI+IV}_(0,000 – 0,039) Si_(1,982 – 2,018) O₆ (Tabela 04 – Anexo 01).

Granadas

A granada encontra-se associada ao hiperstênio, anfibólio, biotita e opacos, envolvidos por plagioclásio, quartzo e feldspato potássico.

Para os charnockitos esses minerais tendem ao termo almandina com os seguintes membros finais: almandina (66,309 – 68,755) – grossulária (20,128 – 22,551) – piropo – (6,183 – 8,773) – espessartita (3,215 – 4,014) uvarovita (0,000 – 0,136) (Figuras 31 e 32).

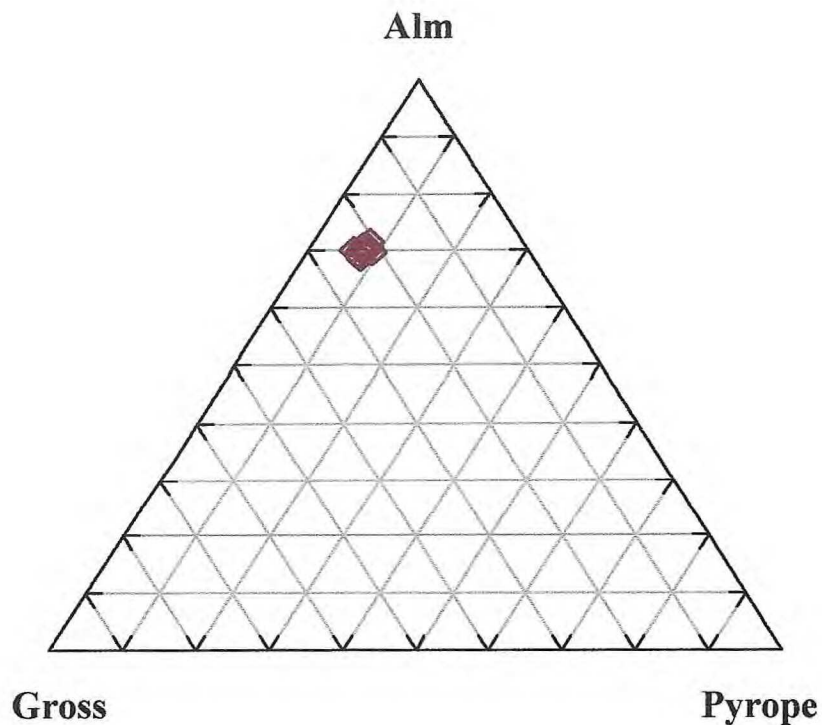


Figura 31 – Proporções dos membros finais de almandina-piropo-grossulária.

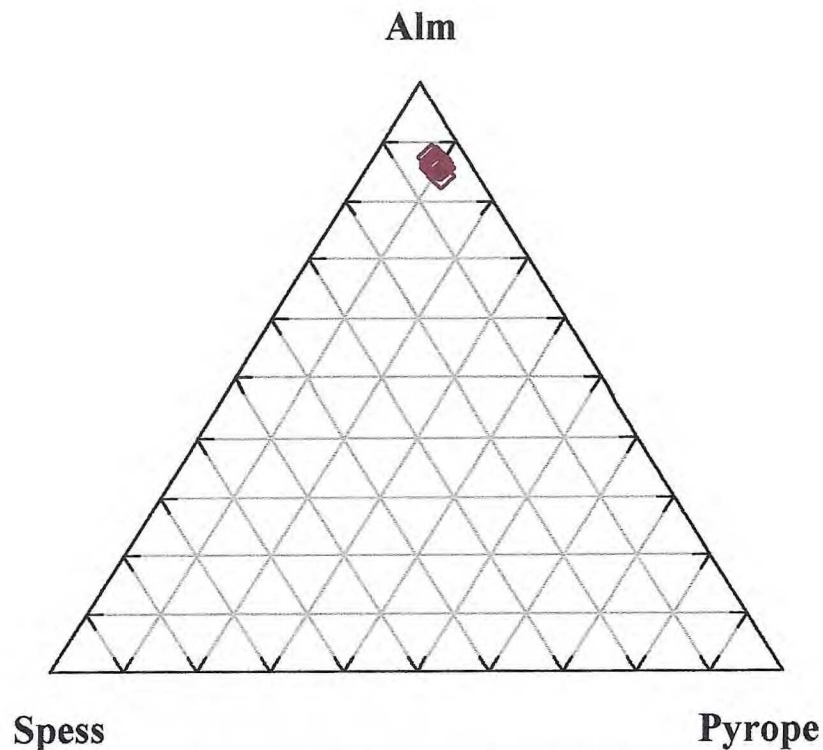


Figura 32 – Proporções dos membros finais de almandina-piropo-espessartita.

A fórmula química para esses minerais é a seguinte: $\text{Ca}_{(0,600 - 0,673)} \text{Mn}_{(0,096 - 0,118)} \text{Mg}_{(0,184 - 0,263)} \text{Fe}^{+2}_{(1,960 - 2,050)} \text{Al}^{\text{VI}}_{(1,971 - 2,029)} \text{Si}_{(3,003 - 3,029)} \text{O}_{12}$ (Tabela 05 – Anexo 01).

Óxidos

Os óxidos analisados nos charnockitos estão representados por ilmenitas que ocorrem em conjunto com anfibólio, piroxênio (hiperstênio) e granadas, circundados por plagioclásio e feldspato potássico. Sua fórmula química é a seguinte: $\text{Fe}^{+2}_{(3,461 - 3,536)} \text{Ti}_{(3,201 - 3,234)} \text{O}_9$ (Tabela 06 – Anexo 01).

4.3. Granodioritos

Os granodioritos presentes na área compõem-se de 2 (dois) grupos, o primeiro não possui granada na sua mineralogia enquanto no segundo a quantidade desse mineral é bastante expressiva, sendo portanto necessário a separação desses litótipos. Os cálculos químicos a seguir pertencem a esse primeiro grupo. Os

minerais analisados, que compõem essas rochas foram: biotita, anfibólio, plagioclásio e titanita.

Biotitas

A biotita apresenta-se verde-acastanhada, alongada marcando a foliação com o anfibólio intercrescido a partir das mesmas, associados a esses minerais tem-se bandas quartzo feldspáticas com quartzo estirado, plagioclásio e feldspato potássico.

Conforme o diagrama Al^{VI} vs. $Fe/[Fe + Mg]$ das soluções sólidas flogopita-anita-eastonita-siderofilita (Deer *et al.*, 1972), as razões $Fe/[Fe + Mg]$ variam entre 4,0 e 4,9, situam-se portanto próximas aos termos intermediários entre anita e flogopita (Figura 33).

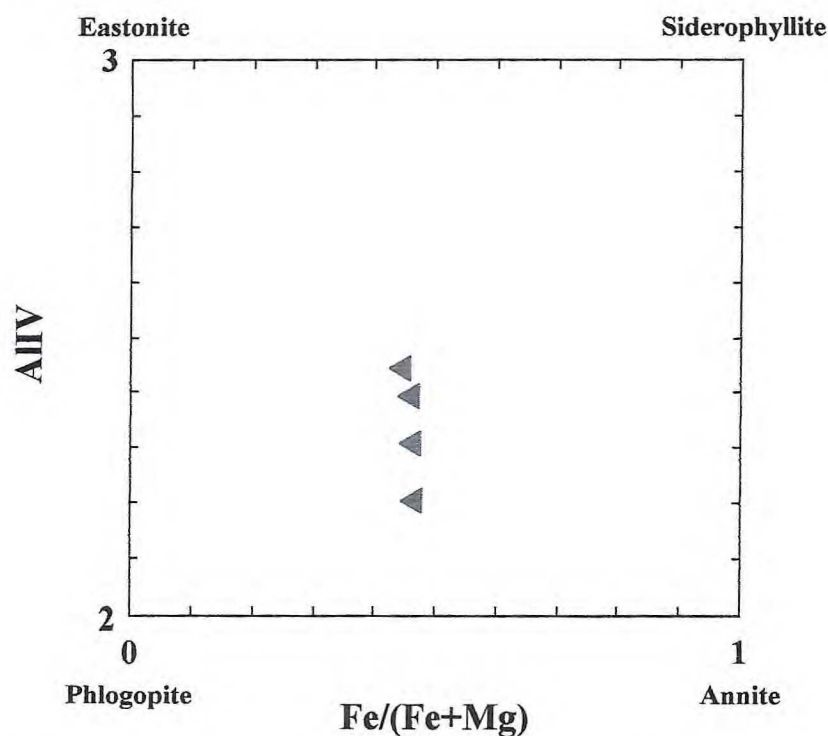


Figura 33 – Classificação para as biotitas dos granodioritos.

A fórmula estrutural apresenta os seguintes valores: K (1,826 – 1,996) Na (0,016 – 0,029) Ca (0,002 – 0,018) Mn (0,029 – 0,036) Mg (2,761 – 3,021) Fe^{+2} (2,350 – 2,429) Ti (0,210 – 0,276) Al^{IV} (2,206 – 2,446) Al^{VI} (0,344 – 0,577) Si (5,554 – 5,794) [F (0,123 – 0,569) Cl (0,050 – 0,098) (OH)₄] (Tabela 01 – Anexo 01).

Conforme o diagrama FeO-MgO-Al₂O₃ (Nockolds, 1974), as biotitas analisada situam-se no campo de compatibilidade petrogenética com hornblenda (H +B) (Figura 34). Esse comportamento é compatível com a composição de rochas granodioríticas.

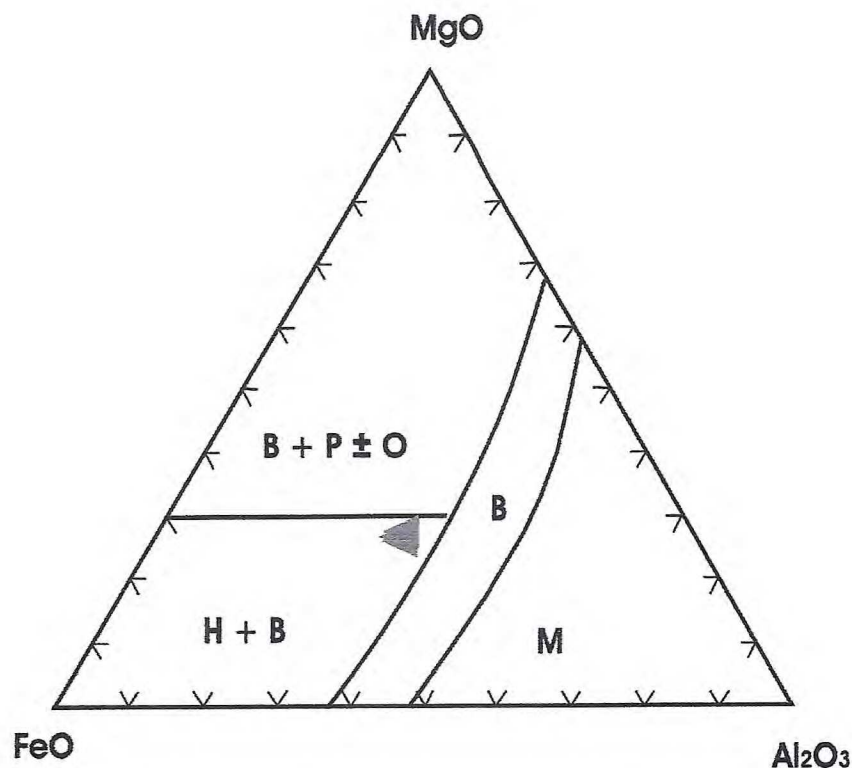


Figura 34 – Classificação das biotitas de acordo com o diagrama FeO-MgO-Al₂O₃ (Nockolds, 1974), para os granodioritos. Símbolos: M – moscovita; B – biotita; B+P±O – biotita, piroxênio e olivina e H+B – hornblenda e biotita.

Anfibólios

Os anfibólios presentes estão orientados compondo a foliação com as biotitas, alternando-se com quartzo deformado, plagioclásio e feldspato potássico. São hornblendas prismáticas, fraturadas que mostram crescimento a partir de minerais de biotita. Nas fraturas desses minerais nota-se o aparecimento de titanita.

Considerando as relações TSi vs. $Mg/(Mg+Fe^{+2})$, $(ANa + AK) > 0,50$ e $Ti < 0,50$ e $Fe^{+3} < Al^{VI}$, os anfibólios presentes estão posicionados como hornblenda pargasita ferrosa (Figura 35).

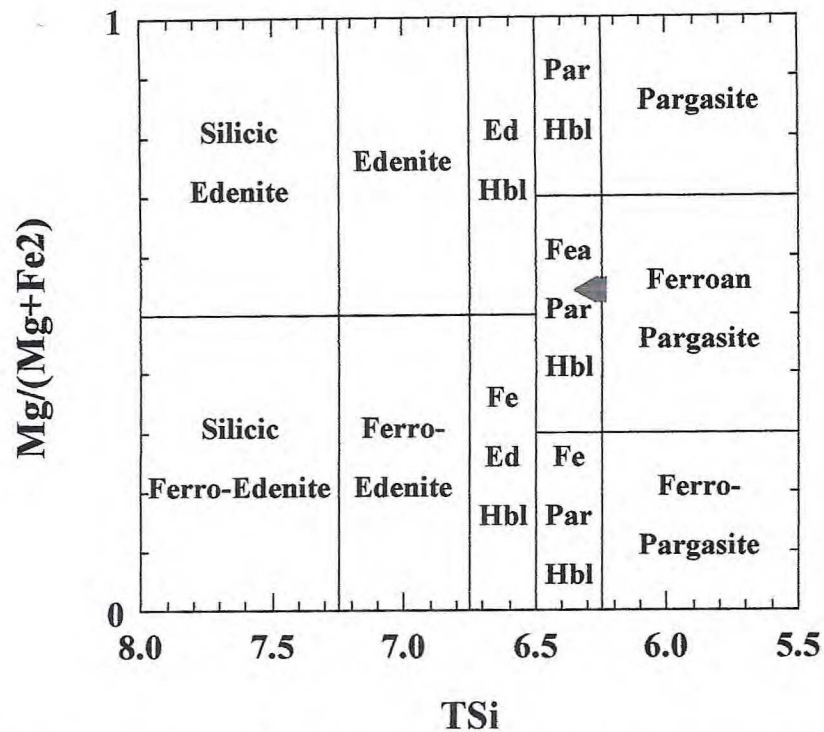


Figura 35 – Classificação dos anfibólios presente nos granodioritos, segundo a relação T_{Si} vs. $Mg/(Mg+Fe^{2+})$, $(ANa + AK) > 0,50$ e $Ti < 0,50$ e $Fe^{+3} < Al^{VI}$ (Hawthorne, 1981).

A fórmula química corresponde a: $Na_{(0,283 - 0,342)} K_{(0,251 - 0,302)} Ca_{(1,864 - 1,895)} Mn_{(0,021 - 0,026)} Fe^{+2}_{(1,760 - 1,796)} Mg_{(2,132 - 2,168)} Ti_{(0,079 - 0,106)} Fe^{+3}_{(0,444 - 0,484)} Al^{VI+IV}_{(2,078 - 2,224)} Si_{(6,279 - 6,383)} O_{22}(OH)_2$ (Tabela 02 – Anexo 01).

Feldspatos

Nos granodioritos, conforme sua composição mineralógica, foram analisados apenas os plagioclásios. As proporções entre albita-anortita exibem os seguintes valores: $Ab_{(68,1)}$ e $An_{(30,6)}$, caracterizando tais como andesina (Figura 36).

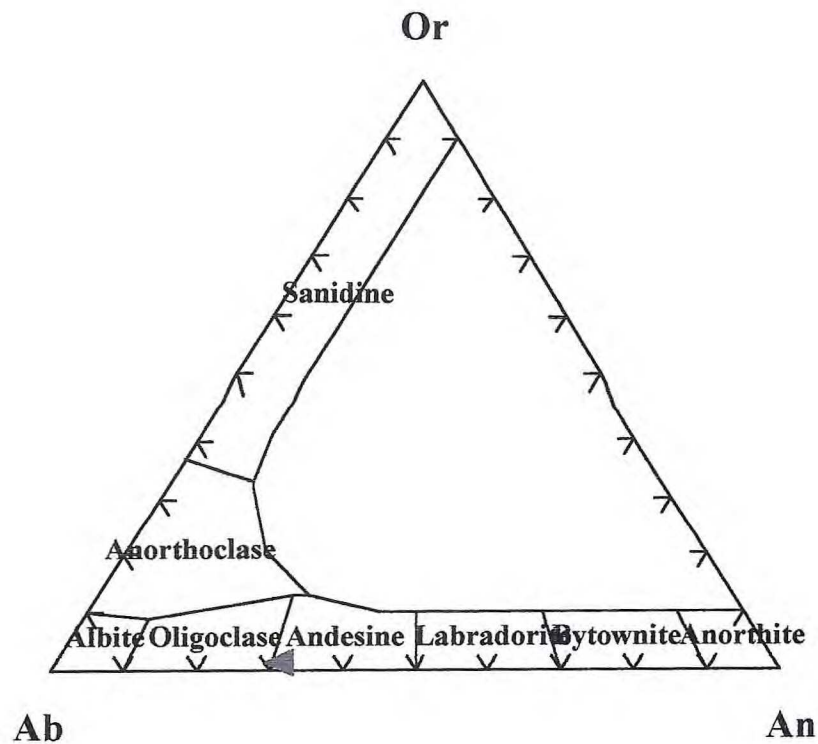


Figura 36 – Classificação do feldspato dos granodioritos (Or – ortoclásio; Ab – albita; An – anortita).

A composição química é a seguinte: K _(0,051) Na _(2,681) Al _(5,217) Si _(10,772) O₃₂(Tabela 03 – Anexo 01).

Titanita

As titanitas ocorrem intercrescidas nas fraturas de minerais de hornblendas. Sua fórmula estrutural é a seguinte: Ca _(1,994 – 1,980) Ti _(1,765 – 1,784) Si _(2,030 – 2,032) O₁₄ (Tabela 07 – Anexo 01).

4.4. Granodioritos com granadas

Essas rochas ocorrem na porção noroeste da área em corpos alongados, destacando-se pela presença de granadas arredondadas, que os diferem dos granodioritos descritos anteriormente. A presença dessas granadas confere-lhes extrema beleza e grande potencial como rocha ornamental.

Os minerais analisados foram os seguintes: biotita, anfibólio, granada e feldspatos (plagioclásios e feldspato potássico).

Biotitas

A biotitas presentes são de cor acastanhada com tons avermelhados (titanífera), alongadas apresentando em suas clivagens titanitas e plagioclásios.

O diagrama de Al^{VI} vs. $Fe/[Fe+Mg]$ das soluções sólidas flogopita-anita-eastonita-siderofilita (Deer *et al.*, 1972) exhibe valores próximos da extremidade da Anita (Figura 37).

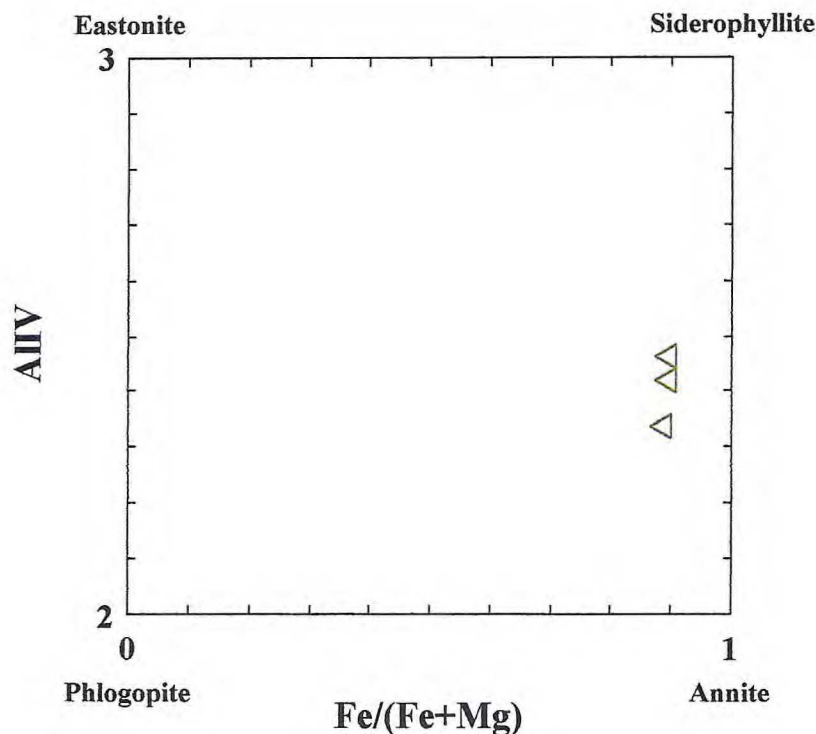


Figura 37 – Classificação da biotita para os granodioritos com granadas.

A composição está representada pelos seguintes valores: K (0,378 – 1,901) Na (0,012 – 0,385) Ca (0,447 – 0,553) Mn (0,015 – 0,031) Mg (0,447 – 0,553) Fe^{+2} (4,167 – 4,354) Ti (0,174 – 0,586) Al^{IV} (1,886 – 3,643) Si (5,539 – 6,633) [F(0,091 - 0,351) Cl (0,044 – 0,075) (OH)₄] (Tabela 01 – Anexo 01).

Segundo o diagrama FeO-MgO- Al_2O_3 (Nockolds, 1974), as biotitas deste litótipo se situam no campo de coexistência hornblenda e biotita (H + B) (Figura 38).

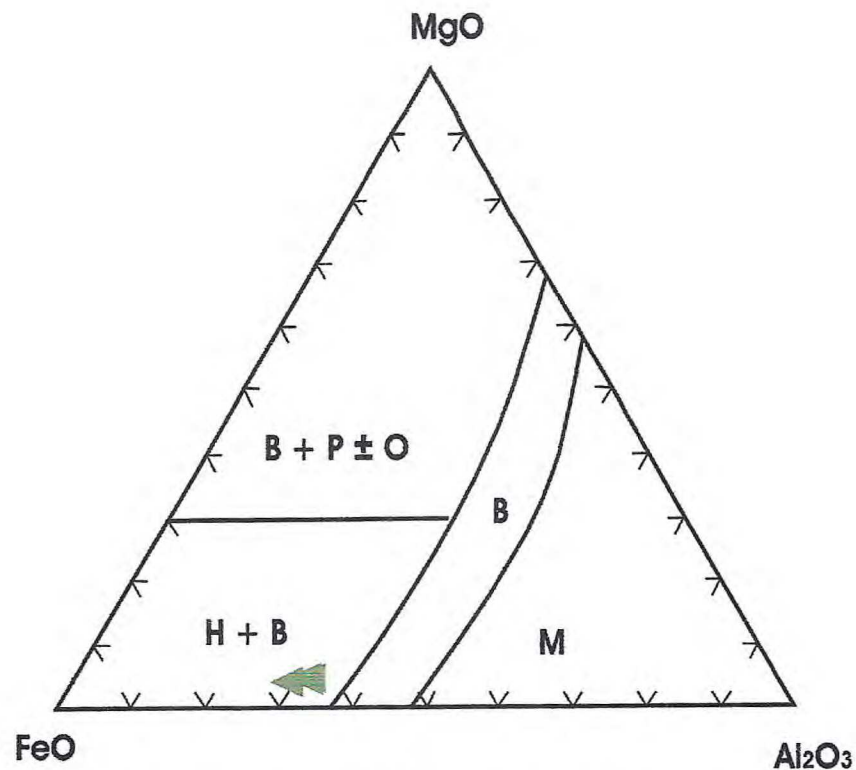


Figura 38 – Classificação das biotitas dos granodioritos com granadas de acordo com o diagrama FeO-MgO-Al₂O₃ (Nockolds, 1974).

Anfibólios

Os anfibólios estão representados por hornblendas esverdeadas que surgem a partir de minerais de biotita associadas a granada. Observada-se ainda a presença de plagioclásios e quartzo inclusos nessas hornblendas.

Conforme o diagrama classificatório de Hawthorne (1981), pelas relações TSi vs. $Mg/(Mg+Fe^{+2})$, $(ANa + AK) > 0,50$ e $Ti < 0,50$ e $Fe^{+3} < Al^V$, os anfibólios são ferro-pargasitas (Figura 39).

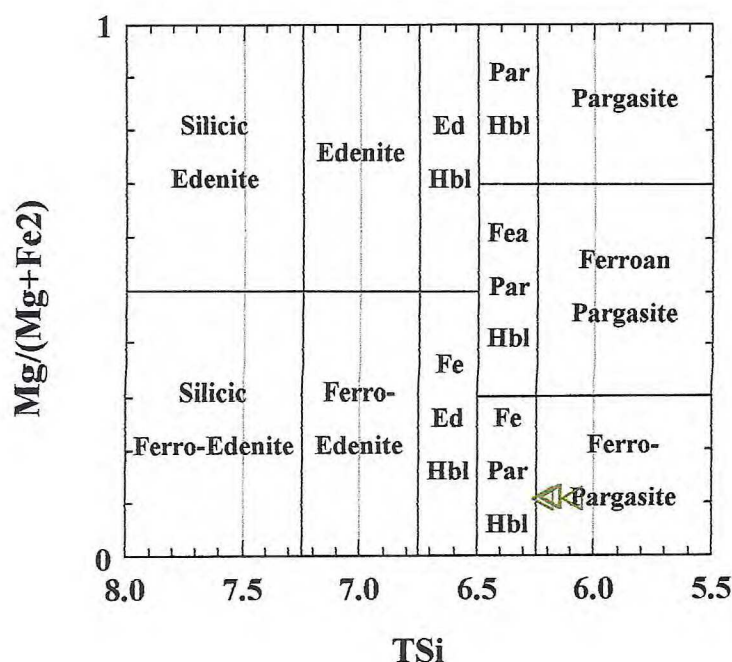


Figura 39 – Classificação dos anfibólios presente nos granodioritos com granadas, segundo a relação TSi vs. $Mg/(Mg+Fe^{+2})$, $(ANa + AK) > 0,50$ e $Ti < 0,50$ e $Fe^{+3} < Al^{VI}$ (Hawthorne, 1981).

A fórmula estrutural é representada por: $Na_{(0,307 - 0,385)} K_{(0,341 - 0,377)} Ca_{(1,836 - 1,876)} Mn_{(0,010 - 0,015)} Fe^{+2}_{(3,491 - 3,558)} Mg_{(0,433 - 0,455)} Ti_{(0,232 - 0,254)} Fe^{+3}_{(0,091 - 0,213)} Al^{IV+VI}_{(2,263 - 2,569)} Si_{(6,090 - 6,222)} O_{22}(OH)_2$ (Tabela 02 – Anexo 01).

Feldspato

Foi analisado apenas um feldspato potássico, em decorrência da dificuldade de visualização dos plagioclásios apesar de sua quantidade na rocha ser bem superior que os feldspatos potássicos. O feldspato potássico é representado por microclinas com geminação albita periclina e albita nas bordas com quartzo formando mirmequitas.

Considerando as proporções de albita-ortoclásio, obteve-se $Ab_{(14,7)} Or_{(85,1)}$, que permitiu caracterizar o feldspato potássico como sanidina (Figura 40).

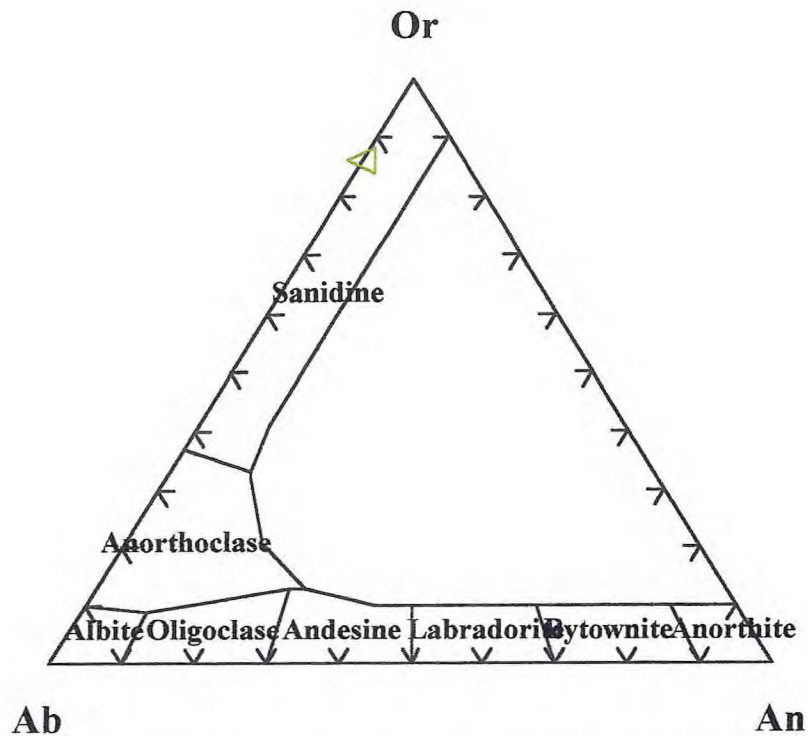


Figura 40 – Classificação do feldspato potássico dos granodioritos com granadas no campo da sanidina (Or – ortoclásio; Ab – albita; An – anortita).

A composição química é a seguinte: K (3,249) Na (0,560) Al (4,140) Si (11,833) O₃₂(Tabela 03 – Anexo 01).

Granada

A granada apresenta-se associada com os anfibólios e biotitas que surgem nas fraturas das mesmas, envolvidas por plagioclásio e quartzo.

As granadas presentes nos granodioritos tendem a piropo com os seguintes membros finais: almandina (73,104 – 73,509), grossulária (20,951 – 21,980), piropo (2,892 – 3,077), espessartita (1,873 – 2,499), uvarovita (0,007 – 0,110) (Figuras 41 e 42).

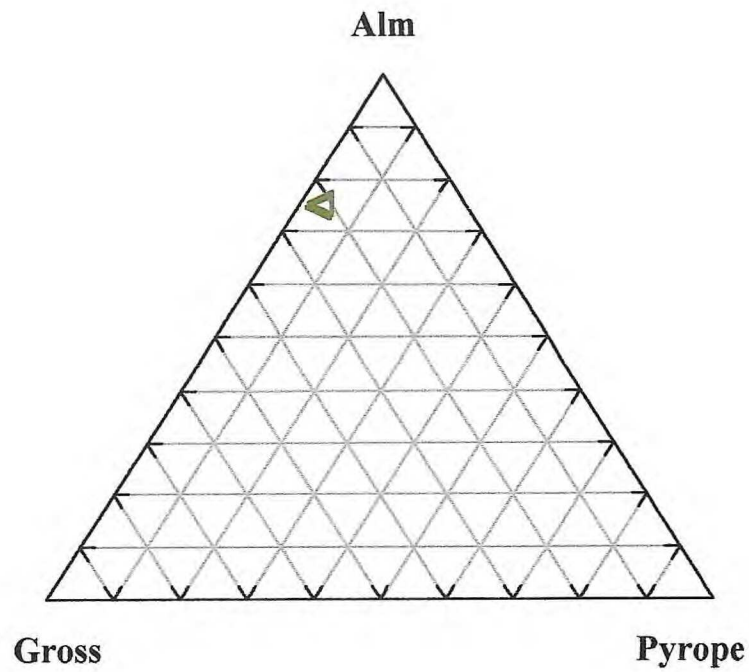


Figura 41 – Proporções dos membros finais de almandina-piropo-grossulária.

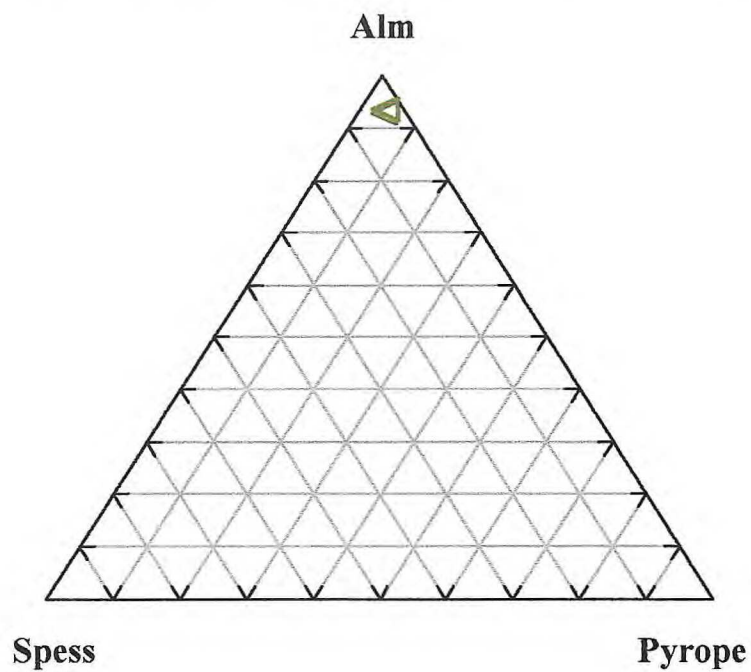


Figura 42 - Proporções dos membros finais de almandina-piropo-espessartita.

A fórmula estrutural está assim definida: $\text{Ca}_{(0,639 - 0,672)} \text{Mn}_{(0,057 - 0,076)} \text{Mg}_{(0,088 - 0,093)} \text{Fe}^{+2}_{(2,221 - 2,240)} \text{Al}^{\text{VI}}_{(1,937 - 1,958)} \text{Si}_{(2,973 - 2,991)} \text{O}_{12}$ (Tabela 05 – Anexo 01).

5 – Metamorfismo e Geotermobarometria

5.1. Reações Metamórficas

Este item trata das condições metamórficas presentes na área obtidas através das associações minerais presentes nos biotita gnaisses com hornblenda e gnaisses enderbíticos.

Por meio das análises petrográfica dos litotipos foram identificadas as reações formadoras das diversas associações metamórficas, com intuito da aplicação de geobarômetros visando uma melhor estimativa das condições de P e T.

Foram também aplicadas calibrações geotermobarométricas em 2 (dois) litotipos ígneos (granodioritos e granodioritos com granada) voltados às indicações das condições de cristalização e alojamento dessas rochas.

5.1.1. Biotita gnaisse com hornblenda

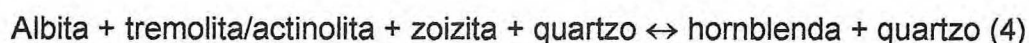
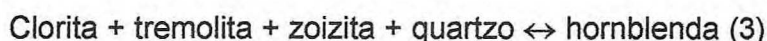
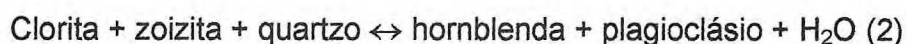
A associação mineral característica desses litotipos é composta por: biotita (Bt) + hornblenda (Hb) + plagioclásio (Pl) + feldspato potássico (K-fel) + quartzo (Qtz).

Tal associação, considerando a hornblenda, seu surgimento pode ter sido através das reação metamórfica seguinte:



A hornblenda e o plagioclásio, apresentados na reação como produto podem ser enquadrados em metamorfismo ocorrido no fácies Anfibolito.

Quanto ao surgimento do par Hb + Pl ($An > 17$) as seguintes reações podem ser expressas:



A reação (2) gera um componente de plagioclásio cálcico (A_n) o qual combinado com albita irá produzir oligoclásio, além de contribuir com o crescimento de hornblenda (Yardley, 2004).

A presença reliquiar de actinolita/tremolita indica que as reações (3) e (4) contribuíram efetivamente para o surgimento da hornblenda nos litótipos analisados.

Finalmente, a estabilidade de hornblenda mais plagioclásio com fração molar de $A_n > 17$, permite estabelecer condições de P e T compatíveis ao fácies anfíbolito para estes gnaisses.

O geobarômetro usado nos biotita gnaisses com hornblenda corresponde ao **Al – Hb**, nesse o conteúdo total de Al nos anfíbolios é calculado para 23 O, obedecendo a uma relação linear com a pressão $P [\pm 1\text{kbar}] = - 4.76 + 5.64 \text{ Al}^{\text{tot}}$. Apesar de aparentemente subestimar os valores de pressão, essa calibração mostra-se mais adequada por apresentar erro menor.

Considerando a calibração acima mencionada, os valores de pressão calculados para as hornblendas variam de 5,8 a 7,1 kilobárias.

Litótipo/Amostra	Biotita gnaisses com hornblenda – MMAG 67A	
	Al (total)	P (± 1 Kbar)
Calibração Al-hornblenda Johnson & Rutherford (1988).	1,879	5,8
	2,098	7,1

Quadro 02 – Geobarômetro Al – hornblenda nos biotita gnaisses com hornblenda.

Os geotermômetros usados para a análise desses minerais nos biotita gnaisses com hornblenda foram:

- Ti em hornblenda (calibração de Otten, 1984), que para temperaturas inferiores a 970°C, $T (\text{°C}) = 1.204 \times (\text{Ti}) + 545$.
- Hornblenda-plagioclásio (calibração de Blundy & Holland, 1990).

Os valores obtidos para o termômetro Ti em hornblenda (Quadro 03), resultaram em valores da ordem de 700° C a 714°C (anatexia) considerados altos, mas coerentes com o conjunto a que essas rochas estão associadas.

Litótipo/Amostra	Biotita gnaïsse com hornblenda – MMAG 67A	
	Ti	T (°C)
Calibração Ti-hornblenda Otten (1984).	0,129	700
	0,141	714

Quadro 03 – Resultados do termômetro Ti em hornblenda para os biotita gnaïsse com hornblenda.

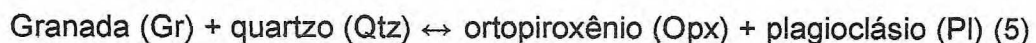
Os valores para o termômetro que utiliza o par de minerais hornblenda-plagioclásio (Quadro 04), resultaram em temperaturas com valores mais altos de 792° até 858°C e uma variação de até 60°C.

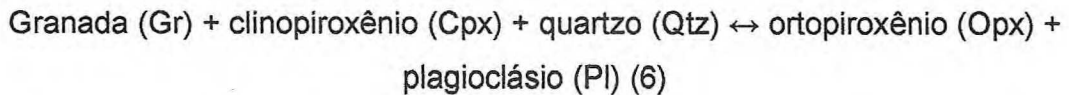
Litótipo/Amostra	Biotita gnaïsse com hornblenda – MMAG 67A	
	P (Kbar)	T (°C)
Calibração Blundy & Holland (1990).	5	858,2
	6	841,7
	7	825,3
	8	808,9
	9	792,5

Quadro 04 – Resultados do termômetro hornblenda-plagioclásio para os biotita gnaïsse com hornblenda.

5.1. 2. Enderbitos

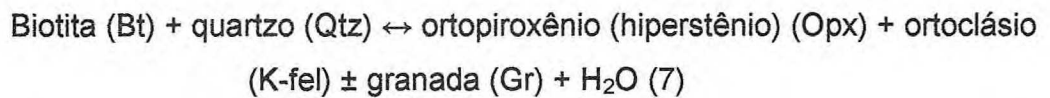
Nos enderbitos a associação mineral metamórfica corresponde a: ortopiroxênio (hiperstênio) + clinopiroxênio + granada + plagioclásio + biotita + hornblenda + quartzo. As reações de surgimento do hiperstênio, típico de elevado grau metamórfico, podem ser expressas por:



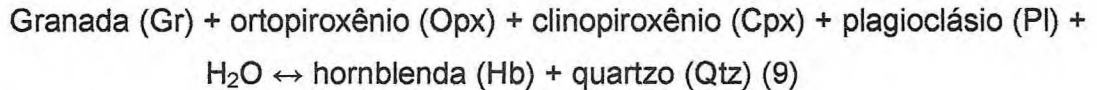
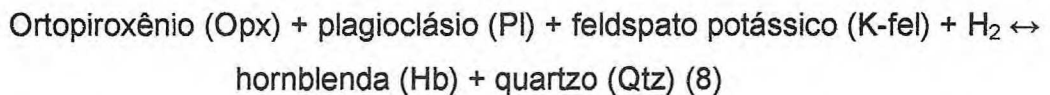


Tais reações (5 e 6), são respaldadas pelo reconhecimento em seções delgadas de texturas reacionais, envolvendo estas fases minerais.

Em algumas seções o aparecimento de ortopiroxênio parece surgir a partir de biotita, justificando assim a reação.



As feições texturais envolvendo anfibólios em que os mesmos encontram-se nas bordas e ao longo das clivagens dos ortopiroxênios (hiperstênio), indicam que os mesmos se formam às expensas destes últimos, conforme a reação:



Considerando o conjunto de reações acima proposto, nos respectivos litotipos, as condições de P e T correspondem ao fácies Granulito (Zona Regional do Hiperstênio de Winkler, 1977).

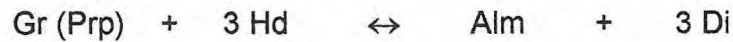
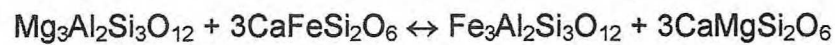
Os cálculos de geobarometria dos enderbitos basearam-se na associação Granada (Gr) – Clinopiroxênio (Cpx) – Plagioclásio (Pl). Os resultados obtidos através das formulações de Eckert *et al.*, (1991) e Newton & Perkins (1982), para o intervalo de temperatura entre 711° e 726° estão apresentados no Quadro 05.

Litotipo/Amostra	Enderbitos – MMAG 52
Calibração	Grc1P4 - Cpxc2P1 – Plc1P2
	P (± 1 Kbar)
Newton & Perkins (1982)	8,44
Eckert <i>et al.</i> , (1991)	10,47

Quadro 05 – Resultados do geobarômetro Gr-Cpx-Pl para os enderbitos.

A calibração de Newton & Perkins (1981) mostra valores inferiores aos de Eckert *et al.*, (1991). Os valores de pressão variam de 8.35 a 10,55 estando os mesmos coerentes com o fácies granulito.

O geotermômetro utilizado nos enderbitos foi Granada (Gr) – Clinopiroxênio (Cpx) que é baseado na troca catiônica simultânea Mg-Fe entre os termos extremos dos clinopiroxênios diopsídio (Di) e hedernbergita (Hd) e das granadas piropo e almandina, de acordo com a reação:



A calibração de Powell (1985), utilizada nos enderbitos, com pressões inferidas de 5 a 9 kbar resultou em temperaturas da ordem de 674 a 684°C para o par Grc1P1 – Cpxc2P1, esses valores são considerados baixos para o fácies Granulito embora a associação seja típica do mesmo, podendo indicar uma fase hidratada do sistema (retrometamorfismo). Para o par Grc1P3 – Cpxc2P2 esses valores ficaram entre 727 e 737°C, mais coerentes com o fácies Granulito (Quadro 06).

Litótipo/Amostra	Enderbitos – MMAG 52			
	Grc1P1 – Cpxc2P1		Grc1P3 – Cpxc2P2	
	P (Kbar)	T (°C)	P (Kbar)	T (°C)
Calibração Powell (1985).	5	673,8	5	726,7
	6	676,4	6	729,4
	7	678,9	7	732,0
	8	681,6	8	734,7
	9	684,1	9	737,4

Quadro 06 – Resultados do geotermômetro Gr-Cpx para os enderbitos.

5.1.3. Granodioritos

Os granodioritos por tratarem-se de rochas ígneas os dados obtidos sobre o metamorfismo não são aplicáveis. Esses litotipos distribuem-se por toda a área mapeada e encontram-se intercalados aos granulitos e outros granitos presentes. Possuem uma mineralogia composta por quartzo, plagioclásio, biotita e anfibólio.

A hornblenda ocorre como cristais prismáticos, de cor verde escuro por vezes com uma cor marrom escura. São comuns a ocorrência com biotita, plagioclásio e titanitas.

O plagioclásio apresenta-se subédrico, geminado e fraturado em contato com quartzo, biotita, hornblenda e feldspato potássico.

O par hornblenda-plagioclásio pode fornecer informações importantes para o estabelecimento das condições de P e T de cristalização e respectivo alojamento.

Hammarstrom & Zen (1986), propuseram que em plútons graníticos, o teor de alumínio total ($Al^{total} = Al^{IV} + Al^{VI}$) em hornblenda pode ser usado como geobarômetro. Nesse geobarômetro o conteúdo de Al total dos anfibólios, deve ser calculado com base em 23 oxigênios, para que seja obedecida uma relação linear com a pressão segundo:

$$P [\pm 1\text{Kbar}] = - 4,76 + 5,64 Al^{Total}$$

O conteúdo de Ti nos anfibólios (hornblenda) pode estabelecer uma função linear com a temperatura de cristalização destes, conforme Otten (1984). Assim as proporções de Ti nos respectivos sítios cristalográficos tetraedrais e octaedrais, calculados com base em 23 oxigênios, fornecem a seguinte relação:

$$T (^{\circ}\text{C}) = 273(\text{Ti}) + 877; \text{ para } T > 970^{\circ}\text{C}$$

e

$$T (^{\circ}\text{C}) = 1.204 (\text{Ti}) + 545; \text{ para } T < 970^{\circ}\text{C}$$

A assembléia mineral necessária para a aplicação deste barômetro é quartzo-plagioclásio-feldspato potássico-biotita-hornblenda-magnetita.

O geobarômetro utilizado nos granodioritos corresponde ao **Al – Hb**, obedecendo à relação linear com a pressão $P [\pm 1\text{kbar}] = - 4.76 + 5.64 \text{ Al}^{\text{tot}}$. Foram utilizadas 2 (duas) amostras (MMAG 47C e MMAG 67B) para o cálculo das pressões.

De acordo com a calibração mencionada, os valores de pressão calculados para as hornblendas estão listados no quadro a seguir.

Litótipo/Amostra	Al (total)	P (± 1 Kbar)
Granodiorito – MMAG 47C	2,08	6,9
	2,22	7,8
Granodiorito – MMAG 67B	2,05	6,7
	2,60	9,3
Calibração Al-hornblenda Johnson & Rutherford (1988).		

Quadro 07 – Geobarômetro Al – hornblenda nos granodioritos.

Os valores de P encontrados para a calibração utilizada nas duas amostras variaram entre 7,8 a 9,3 kilobárias com média de 7,68Kbar.

O geotermômetro empregado na análise desses litotipos utiliza o Ti em hornblenda (calibração de Otten, 1984), para $T < 970^\circ$ onde $T (^\circ\text{C}) = 1.204 \times (\text{Ti}) + 545$ e o par hornblenda-plagioclásio (calibração de Blundy & Holland, 1990).

Os resultados obtidos para o termômetro Ti em hornblenda (Quadro 08), variaram entre 640°C a 795°C .

Litótipo/Amostra	Ti	T ($^\circ\text{C}$)
Granodiorito – MMAG 47C	0,079	640
	0,106	672
Granodiorito – MMAG 67B	0,167	746
	0,208	795
Calibração Ti-hornblenda Otten (1984).		

Quadro 08 – Resultados do termômetro Ti em hornblenda para os granodioritos.

Para o termômetro que utiliza o par de minerais hornblenda-plagioclásio (Quadro 09), os valores de pressão inferidos para o cálculo das temperaturas, resultaram em valores mais elevados de temperatura listados a seguir.

Litótipo/Amostra	P (Kbar)	T (°C)
Granodiorito – MMAG 47C	5	789
	6	773
	7	757
	8	742
	9	726
Granodiorito – MMAG 67B	5	802
	6	786
	7	771
	8	755
	9	738
Calibração Blundy & Holland (1990).		

Quadro 09 – Resultados do termômetro hornblenda-plagioclásio para o granodiorito.

Os valores representativos de P para os granodioritos variaram em torno de 6,7 e 9,3 kbar. Os valores de T para a calibração Ti-hornblenda (Otten, 1984) estão entre 640° e 795°C e para a calibração hornblenda-plagioclásio (Blundy & Holland, 1990) o resultado encontra-se entre 726° e 802°C.

5.1.4. Granodioritos com granadas

Essas rochas têm sua ocorrência na porção noroeste da área e se diferenciam dos anteriores pela presença de granada bem formada distribuída de forma serial que conferem a mesma um aspecto atrativo principalmente para sua exploração como rocha ornamental. Além de granadas possuem ainda quartzo, biotita, plagioclásio, feldspato potássico e hornblenda.

Os minerais de hornblenda mostram-se intercrescidos a partir da biotita, são de cor esverdeada a amarronzada e encontram-se em contato com biotita, plagioclásio, feldspato potássico, granada e quartzo.

O plagioclásio apresenta-se geminado, alterado (sericitizado) em contato com biotita, hornblenda, granada, quartzo e feldspato potássico.

Seguindo os mesmos procedimentos usados para os granodioritos, foram também aplicados o geobarômetro Al - Hornblenda e o geotermobarômetro Ti - Hornblenda.

Para o geobarômetro Al-hornblenda onde os conteúdos de Al^{total} dos anfibólios, obedecem a uma relação linear com a pressão ($P[\pm 1 \text{ kbar}] = -4.76 + 5.64 Al^{total}$), os valores encontrados variaram entre 8,5 e 9,7 kbar (Quadro 10).

Litótipo/Amostra	Biotita gnaissé com hornblenda – MMAG 67B	
	Al (total)	P (± 1 Kbar)
Calibração Al-hornblenda Johnson & Rutherford (1988).	2,363	8,56
	2,569	9,73

Quadro 10 – Geobarômetro Al – hornblenda nos granodioritos com granada.

Os valores obtidos para o termômetro Ti em hornblenda (calibração de Otten, 1984), para $T < 970^\circ$ onde $T (^\circ\text{C}) = 1.204 \times (Ti) + 545$, resultaram em temperaturas da ordem de 824° a 851°C , com uma média de 837°C (Quadro 11).

Litótipo/Amostra	Granodioritos com granada – MMAG 76	
	Ti	T ($^\circ\text{C}$)
Calibração Ti-hornblenda Otten (1984).	0,232	824
	0,254	851

Quadro 11 – Resultados do termômetro Ti em hornblenda para os granodioritos.

O par hornblenda-plagioclásio (calibração de Blundy & Holland, 1990) não pode ser usado em virtude da dificuldade encontrada em obter análise de química mineral em plagioclásio.

Os valores de pico de P e T para os granodioritos com granadas, baseados nos valores calculados encontram-se no intervalo de 8,6 - 9,7 kbar e 824° – 851°C.

5.1.5. Quadro resumo dos resultados.

Litotipo	Metamorfismo	Pressão (Kbar)	Temperatura °C)
Biotita gnaiss com hornblenda	fácies anfíbolito	5,8 a 7,1 – Al-Hb (Johnson & Rutherford, 1988).	700 a 714 -Ti em Hb (Otten, 1984).
Enderbita	fácies granulito	8,44 a 10,47 – Gr-Cpx-Pl – (Newton & Perkins, 1982 – Eckert <i>et al.</i> , 1991).	726 a 737 – Gr-Cpx (Powell, 1985).
Granodiorito		6,9 a 9,3 – Al-Hb (Johnson & Rutherford, 1988).	738 a 802 – (Blundy & Holland, 1990).
Granodiorito com granada		8,56 a 9,73 - Al-Hb (Johnson & Rutherford, 1988).	824 a 851 - Ti em Hb (Otten, 1984).

Quadro 12 – Resumo dos dados obtidos de metamorfismo e termobarometria da área.

6 – Geocronologia

6.1. Introdução

As análises isotópicas foram feitas pelo método Sm/Nd T_{DM} (rocha total) e U/Pb em zircão no conjunto granulítico (enderbitos e charnockitos) presente na área.

Foram coletadas amostras desses litotipos no total de 2 (duas), 1 (uma) dos enderbitos (CIPA) e 1 (uma) dos charnockitos (CIP2), que foram enviadas a Universidade Estadual Paulista – UNESP, para preparação e posteriormente para o laboratório de geocronologia da Universidade de Brasília (UNB), para serem analisadas pelo método Sm/Nd e U/Pb em zircão.

6.2. Datação pelo Método Sm/Nd

O modelo evolutivo proposto por DePaolo & Wasserburg (1976 e modificado por DePaolo 1981), adota que a rocha que derivou-se do manto, considerado um reservatório uniforme inicial chamado de CHUR (Chondritic Uniform Reservoir), onde as razões Sm/Nd seriam iguais aos meteoritos condriticos.

DePaolo (1981), demonstrou que os diferentes tipos de rochas originadas ao longo do tempo geológico poderiam ser tratados como “extrações” de uma fonte mantélica empobrecida. Esse comportamento pode ser avaliado pelo fracionamento da razão Sm/Nd entre a rocha analisada e o CHUR.

Baseado nas razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ são calculados as Idades Modelo (T_{DM}) e o Epsilon (ϵ_0 e ϵ_t). O ϵ_0 compara o período de surgimento da rocha em nível crustal ao tempo atual, e o ϵ_t considera o tempo real de cristalização da rocha. Os valores positivos de ϵ_{ND} indicam que a rocha foi retirada do “reservatório” para iniciar seu tempo de residência crustal, os valores negativos de ϵ indicam que as rochas foram derivadas de fontes com razões Sm/Nd baixas, representando fontes antigas ou retrabalhadas.

Em resumo, a geocronologia Sm/Nd fornece informações sobre a natureza da crosta continental formada em um determinado tempo geológico e as características isotópicas do manto (magma fonte) que esta crosta foi derivada.

6.3. Datação pelo Método U/Pb

A descrição da técnica analítica do método U/Pb por diluição é documentada por Parrish *et al.*, (1987). Para calcular a idade de um mineral, são necessárias correções para as quantidades de Pb comum na amostra, e para os brancos de P e U. A redução dos dados oriundos do espectômetro de massa incorpora todas as fontes de erros nas análises, sendo que os resultados U/Pb são então, plotados em diagramas usando técnicas de regressão estatística.

Os resultados de idade U/Pb são apresentados no diagrama concórdia introduzido por Wetherill (1956), no qual as razões atômicas de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ são plotadas contra as de $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$. O ^{204}Pb é o Pb comum do zircão mais o Pb presente no laboratório. As diferenças nas idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ em zircão são comumente atribuídas à relação entre o tamanho do grão, a posição de discordância de diferentes frações no diagrama da concórdia e a suscetibilidade magnética (Gebaeur & Grunenfelder, 1979; Dickin, 1995). O alinhamento entre as análises discordantes e o intercepto superior da curva concórdia (a curva definida pelo local de idênticas idades U/Pb através do tempo geológico) é freqüentemente interpretado como refletindo a idade do evento geológico (cristalização, metamorfismo, etc). Geralmente os zircões registram vários eventos termais e/ou novas fases de crescimento devido à recristalização (Krogh, 1995; Metzger & Krogstad, 1997). A discórdia é considerada como efeito da perda parcial de Pb. A perda de chumbo é somente possível em zircões parcial ou fortemente metamícticos. Metamictização é o processo de alteração que ocorre na rede cristalina do zircão devido à presença de fluidos, em torno de 600-650°C.

6.4. Resultados obtidos

Idade modelo T_{DM} pelo método Sm/Nd

As 2 (duas) amostras analisadas na região de Itapipoca revelaram os seguintes resultados (Quadro 12).

Amostra	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \pm 2\text{SE}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	$T_{\text{DM}}(\text{GA})$
CIPA	10.356	62.910	0.0995	0.511251+/-9	-27.06	2.38
CIP2	14,793	75.970	0.1177	0.511430+/-6	-23.56	2.56

Quadro 12 – Resultados obtidos na determinação das idades modelo T_{DM} pelo método Sm/Nd.

A idade modelo T_{DM} pelo método Sm/Nd encontrada para os charnockitos foi de 2,56Ga com $\epsilon(t)$ de -2,349. Os valores levemente negativos de $\epsilon(t)$ indicam que o conjunto granulítico passou por um processo de retrabalhamento crustal, enquadrando essas rochas no período paleo-proterozóico.

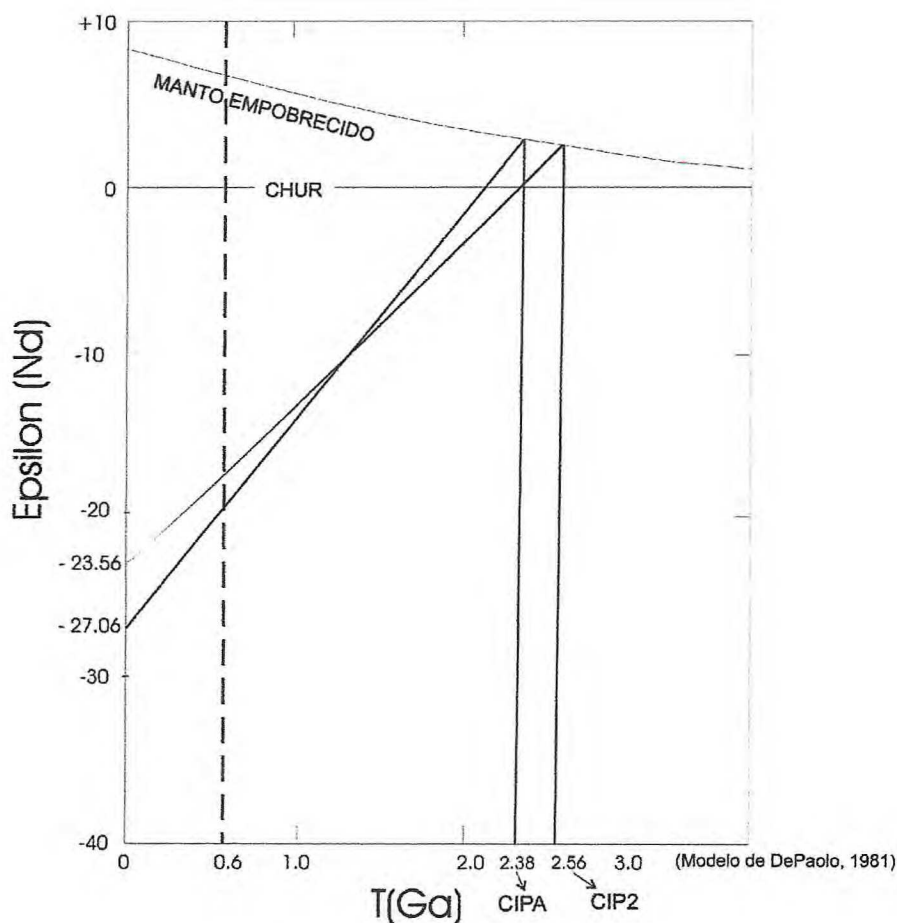


Figura 43 – Diagrama de evolução isotópica de Nd dos granulitos.

U/Pb em zircão

Para o método U/Pb foi analisada a amostra CIP2 (charnockito), o quadro a seguir mostra os resultados.

Amostra	Tamanho (mg)	U (ppm)	Pb (ppm)	Th (ppm)	U/Th	Pb206 Pb204 (Obs.)	Pb207* Pb206*	Pb206* U2038 Idade	Pb207* U235 Idade	Pb207* Pb206* Idade	(Ma)	
CIP2	7	0.018	287.71	81.389	60.45	7928.291	0.118661	1525.6	1706.4	1936.2	0.55	
	8	0.023	318.81	117.23	47.31	17570.08	0.126886	1916.6	1984.1	2055.3	0.27	
	9	0.018	253.99	96.923	60.45	4331.606	0.127461	1958.3	2009.9	2063.2	0.57	
	10	0.025	324.96	118.71	43.53	15122.15	0.1272	1908.7	1982.1	2059.6	0.53	
	D7	0.028	418.4	132.47	38.86	0.09289	18692.92	0.124178	1699.7	1846.9	2017.1	0.57
	D8	0.02	229.34	79.02	54.41	0.2372	10768.62	0.124788	1786.3	1899.6	2025.8	0.61
	D9	0.02	461.83	171.72	54.41	0.1178	26169.78	0.127562	1913.7	1987.2	2064.6	0.53

Quadro 13 – Resultados obtidos na determinação das idades pelo método U/Pb.

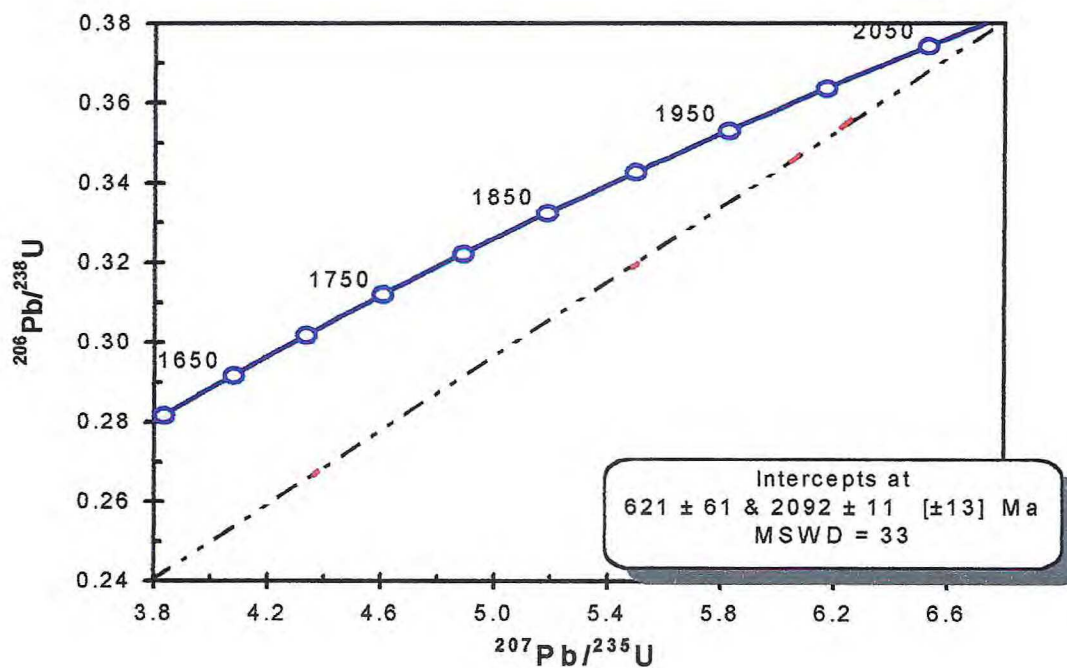


Figura 44 – Diagrama concórdia U/Pb para os charnockitos.

A idade em zircão do charnockito em torno de 2092 ± 11Ma indica a idade de cristalização do protólito para este período.

7 – Caracterização Tecnológica dos Granulitos de Macaco.

7.1. Introdução

As características tecnológicas das rochas, bem como a previsão do seu desempenho em serviço, são obtidas através de análises e ensaios tecnológicos executados, segundo procedimentos rigorosos, normatizados por entidades nacionais (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT) e internacionais (American Society for Testing and Materials – ASTM, Deutsch Institut für Normung – DIN, Association Française de Normalization – AFNOR, entre outras).

Na área pesquisada, foram coletadas amostras do litotipo Enderbito (CIPA) as quais, foram submetidas aos ensaios de caracterização tecnológica no laboratório da Universidade Estadual Paulista - UNESP.

Os dados resultantes foram comparados aos parâmetros tecnológicos sugeridos por Frazão & Farjallat, (1995) e às normas americanas ASTM – C 615 (American Society for Testing and Materials).

Apesar de sua exploração comercial ainda não ter sido iniciada, o material será aqui denominado comercialmente de Verde Netuno.

Os ensaios e respectivas normas correspondem a:

- Análise petrográfica;
- Determinação de índices físicos (massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água) - NBR 12766/92;
- Resistência à compressão uniaxial simples - NBR 12767/92 ;
- Resistência à flexão de 3 pontos - NBR 12763/92;
- Determinação do desgaste Amsler - NBR 12042/92;
- Ensaio de alterabilidade (Ataque químico) – NBR 13818 Anexo – H: normativo.

7.2. Petrografia

A petrografia caracteriza as associações mineralógicas, tipos de contatos entre os grãos, grau de alteração, grau de microfissuramento e padrão textural, fornecendo assim parâmetros de correlação com o comportamento físico-mecânico da rocha,

aspectos tectônicos e estruturais regionais, dentre outras análises. O quadro a seguir mostra um resumo das características petrográficas do Verde Netuno (Quadro 14).

PARÂMETROS	VERDE NETUNO
Cor no estado seco	Grafite a esverdeada
Cor no estado úmido	Esverdeada
Estruturas	Foliação bem marcada por minerais planares.
Textura	Granoblástica inequigranular
Granulação	Média (>3-7mm)
Natureza da rocha	Ortoderivada
Classificação da rocha	Enderbito
Minerais acessórios	zircão, titanita, apatita e opacos (12,2%)
IME - Índice de Minerais Escuros (Bi+Gr+Px+Anf+Min Acess)	31,1%
Composição Modal (FK+PI+Qz)	56,7%
% Feldspato Potássico (Fk)	3,4
Contato côncavo-serrilhado (%)	70
Contato plano-lobular (%)	30
Grau de alteração	1
% Plagioclásio (PI)	32,5
Contato côncavo-serrilhado (%)	60
Contato plano-lobular (%)	40
Grau de alteração	1
% Quartzo (Qz)	20,8
Contato côncavo-serrilhado (%)	90
Contato plano-lobular (%)	10
% Biotita (Bi)	17,3
Contato plano (%)	40
Contato plano-serrilhado (%)	40
Contato côncavo-serrilhado (%)	20
Contato plano-lobular (%)	-
Grau de alteração	3
% Granada (Gr)	4,4
Contato côncavo-serrilhado (%)	100
Grau de alteração	3
% Piroxênios (Px)	5,4
Contato irregular-serrilhado (%)	-
Contato plano-serrilhado (%)	30
Contato côncavo-serrilhado (%)	20
Contato plano-lobular (%)	50
Grau de alteração	2-3
% Anfibólios (Anf)	4
Contato irregular-serrilhado (%)	80
Contato plano-serrilhado (%)	20
Contato côncavo-serrilhado (%)	-
Contato plano-lobular (%)	-
Grau de alteração	2-3

Microfissuras/mm ²	Intergrão
	Intragrão

Quadro 14 – Resultados da análise petrográfica.

O material mostra-se bastante afetado tectonicamente, com presença de processos de recristalização com recuperação, em subgrãos, de quartzo, biotita, e feldspatos com deslocamento de maclas, extinção ondulante e fraturas. Possuem uma coloração esverdeada a acinzentada, sendo sua granulação média com grãos de 3 a 7 mm, textura granoblástica inequigranular e estrutura marcada pelos minerais planares. A mineralogia presente é representada por: quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, biotita, piroxênio, anfibólio, granada (4,4%), como minerais acessórios tem-se: apatita, titanita, zircão e opacos.

Nos minerais de plagioclásio destaca-se a presença de contatos côncavo-serrilhado e plano-lobular com maclas do tipo lei da albita, e algumas formas pertíticas. Porfiroclastos de plagioclásios maclados também são encontrados. Microfissuras são evidentes acompanhadas por uma “recristalização” intersticial.

O feldspato potássico ocorre em contato com o plagioclásio e/ou nas coroas de reação envolvendo granada, biotita e anfibólio. O contato entre os grãos é do tipo côncavo-serrilhado.

O quartzo ocorre como agregados intersticiais mostrando processos tectônicos como extinção ondulante, bandas de deformação, estiramento de cristais e recristalização. Os contatos entre os grãos são do tipo côncavo-serrilhado.

A biotita apresenta-se como agregados lamelares amarronzados, em conjunto com quartzo e feldspatos determinando a foliação tectônica, em associação a anfibólios e/ou como lamelas individuais.

O piroxênio é fraturado perpendicularmente aos planos principais de clivagem, na sua maioria por opacos e/ou biotita e anfibólio. Ocorre geralmente em contato com o anfibólio, o plagioclásio e a granada.

O anfibólio (hornblenda) ocorre de forma semelhante aos piroxênios com os planos de clivagem preenchidos por biotita, são de cor esverdeada, e associam-se a biotita, granada e feldspato. Apresenta contatos entre os grãos do tipo irregular-serrilhado.

A granada ocorre nas reações de desestabilização, quando em cristais apresenta-se bastante fraturada.

O Verde Netuno de um modo geral mostra um grau de alteração fraco a médio, predominando os contatos grão-a-grão do tipo côncavo-serrilhado e plano-lobular. Observou-se ainda microfissuramentos do tipo intergrãos na ordem de 0,14 microfissuras/mm², e do tipo intragrão ocorrendo principalmente no plagioclásio, quartzo, piroxênio e anfibólio, na sua maioria fechadas ou preenchidas por material sericítico, biotítico e quartzoso, resultando na ordem de 2,05 microfissuras/mm².

7.3. Índices Físicos

Os índices físicos compreendem as características físicas de uma rocha como a massa específica aparente seca e saturada, a porosidade e a absorção d'água.

A realização do ensaio segue um roteiro estabelecido pela norma NBR 12766/92 da ABNT, na qual são necessários 10 (dez) corpos-de-prova com peso variando de 300 a 400g (ideal 350g). Após a serragem esses corpos são lavados e levados à estufa por 24 horas, em seguida são pesados, cujo peso seco obtido é chamado massa A. A saturação é feita por imersão dos corpos em água destilada por mais 24 horas, depois de retirados são pesados ao ar (massa B). Os corpos são pesados novamente imergindo-se em água potável, suspenso por um fio de nylon preso sobre a balança, determinando assim o peso submerso (massa C).

Os cálculos são feitos para cada corpo-de-prova, de acordo com as fórmulas abaixo, sendo ao final obtida a média aritmética para os 10 corpos-de-prova.

$$\text{Massa específica seca} = A / (B - C) \rightarrow (\text{Kg/m}^3)$$

$$\text{Massa específica saturada} = B / (B - C) \rightarrow (\text{Kg/m}^3)$$

$$\text{Porosidade} = [(B - A) / (B - C)] \times 100 \rightarrow (\%)$$

$$\text{Absorção de água} = [(B - A) / A] \times 100 \rightarrow (\%)$$

Os índices físicos fornecem uma idéia da noção de microdescontinuidades nas rochas, que podem ser interpretados de acordo com os parâmetros: alta densidade, alta porosidade, alta absorção e aumento da saturação.

Os resultados obtidos para os índices físicos do Verde netuno analisado assim como a comparação com os parâmetros estabelecidos por Frazão & Farjallat (1995) e o da ASTM C-615 estão contidos no quadro a seguir.

Parâmetros	Frazão & Farjallat (1995)	ASTM C 615 (1992)	Verde Netuno
Propriedades			
Massa Esp Aparente seca (kg/m ³)	>2550	>2560	2,844
Massa Esp Aparente saturada (kg/m ³)	n.e.	n.e.	2,849
Porosidade Aparente (%)	<1,0	n.e.	0,49
Absorção d'água (%)	<0,4	<0,4	0,17

n.e.: não especificado.

Quadro 15 - Índices físicos do Verde netuno.

O Verde netuno apresenta uma alta densidade, baixa porosidade e baixo índice de absorção d' água, mostrando assim que o material apresenta boa resistência mecânica e durabilidade. Os resultados ficaram acima dos padrões estabelecidos pela ASTM e daqueles sugeridos por Frazão & Farjallat (1995).

A massa específica, tanto no estado seco como saturado, mostra valores muito próximos, confirmando assim a baixa porosidade e o alto índice de minerais máficos (IME – 43,3).

7.4. Resistência à Compressão Uniaxial Simples

O ensaio de compressão uniaxial visa determinar qual a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando é submetida a esforços compressivos. A tensão suportada varia de acordo com a composição mineralógica, textura, estado de alteração e porosidade.

A rotina desse ensaio segue a norma NBR 12767/92 – ABNT, que determina 5 (cinco) corpos-de-prova no estado seco com dimensões de 7 x 7 x 7cm, com duas de suas faces bem paralelas, para que a força aplicada atue de forma uniforme. O material deve ser lavado e levado à estufa por 24 horas.

São feitas medidas a1 e a2 (topo e base do bloco) e calcula-se a área da face do corpo (a1 x a2), após esse procedimento os corpos-de-prova são levados a uma presa hidráulica com capacidade de 200t. A carga aplicada deve ser de forma gradual para

que o corpo-de-prova se rompa. A tensão de ruptura é calculada após a leitura da carga máxima na qual o bloco foi rompido, de acordo com a fórmula:

$$C = W / A \rightarrow (\text{Mpa})$$

C = Tensão de ruptura (Mpa);

W = Força de ruptura (KN);

A = Área de carga do corpo de prova (m²).

Os resultados finais fornecem uma importante propriedade da rocha na especificação de materiais que poderão desenvolver função estrutural em obras.

Para o Verde Netuno os resultados obtidos foram os seguintes:

Parâmetros		Verde Netuno	
Frazão & Farjallat (1995)	ASTM C 615 (1992)	Seco (Mpa)	Saturado (MPa)
> 100	> 131	152,83	143,72
		205,43	163,79
		150,05	154,82
		180,46	178,31
		186,66	160,30
Média		175,09	160,19
Desvio Padrão		23,48	12,66
R (%)		91,49	

R-Coefficiente de enfraquecimento hidráulico

Quadro 16 - Resultados do ensaio de resistência à compressão uniaxial realizado no Laboratório de Rocha Ornamental da UNESP e dos dados estatísticos do Verde Netuno.

Os valores de resistência à compressão uniaxial simples variaram entre 160,2 a 175,1 MPa com um coeficiente de enfraquecimento hidráulico (R = 91,49) alto indicando assim que a influência da água representa apenas 8,51%. Esses resultados estão correlacionados com os índices físicos e aspectos texturais apresentados na rocha.

Os resultados da resistência à compressão do granulito Verde Netuno, mostram valores positivos com relação aos parâmetros sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) e ASTM (C615).

7.5. Resistência à Flexão de 3 (três) pontos

Os ensaios de flexão determinam qual a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando é submetida a esforços fletores, que poderão ser ocasionados durante o transporte ou após a sua aplicação.

Os procedimentos a serem realizados estão descritos na norma NBR 12763/92 da ABNT. Os corpos-de-prova num total de 5 (cinco), devem ser cortados em serra diamantada nas seguintes dimensões 20 x 10 x 5cm que serão lavados e levados a estufa por 24 horas.

Na execução do ensaio os corpos-de-prova são apoiados sobre 2 (dois) cutelos inferiores (de ação) e 1 (um) (de reação). O carregamento deve ser feito de modo lento e progressivo, a uma taxa de 4.450N/min, até a ruptura do material. Após essa ruptura é feita a leitura do valor máximo no qual ocorreu, anotando-se em seguida.

A tensão de ruptura na flexão é calculada pela seguinte expressão:

$$R = (3PL)/(2bd^2)$$

R = Tensão de ruptura (MPa);

P = Força de ruptura (KN);

L = Distância entre os cutelos de ação (m);

b = Largura do corpo-de-prova (m);

d = Espessura do corpo-de-prova (m).

Para o ensaio de resistência a flexão de 3 (três) pontos o Verde Netuno apresentou os seguintes resultados (Quadro 17):

Parâmetros		Verde Netuno	
Frazão & Farjallat (1995)	ASTM C 615 (1992)	Seco (MPa)	Saturado (MPa)
> 10	> 10,3	13,12	16,48
		17,07	13,96
		16,82	12,58
		15,07	10,22
		13,23	15,32
Média		15,06	13,71
Desvio Padrão		1,89	2,44
R (%)		91,03	

Quadro 17 - Resultados do ensaio de resistência à flexão 3 pontos realizado no Laboratório de Rocha Ornamental da UNESP e dos dados estatísticos do Verde Netuno.

O material apresenta resistência de 15,1 MPa no estado seco e 13,7 MPa quando saturado, estando de acordo com as características anteriormente verificadas pela análise petrográfica (textura, grau de microfissuramento, etc.). Baseado nesses dados apresenta resistência satisfatória não sendo feita restrições quanto ao seu uso.

7.6. Desgaste Amsler (desgaste por abrasão)

Este ensaio tem por objetivo verificar a redução da espessura (mm) que duas placas de rocha apresentam após um percurso abrasivo final de 1000 metros em equipamento apropriado, fornecendo assim um reflexo da granulometria, dureza e estado de agregação dos minerais e mineralogia.

O roteiro a ser seguido está de acordo com a norma NBR 12042/92 da ABNT, que exige 2 (duas) placas com dimensões de 7 x 7 x 3cm e um material abrasivo (areia quartzosa nº 50 – grãos com 0,03mm). Ao iniciar deve-se numerar as quatro faces laterais das placas, bem como a base que será submetida ao desgaste. Auxiliado por um relógio medidor são feitas medidas iniciais nas quatro faces laterais e anotadas. Após esse procedimento os corpos são levados a Máquina Amsler e fixados nas sapatas de acoplamento que mantêm as placas em contato e girando em torno do seu eixo, por sobre um anel de ferro fundido com perímetro de 2m. O abrasivo é liberado com vazão de $76 \pm 2\text{cm}^3/\text{min}$ logo que a máquina é ligada, permitindo assim, que as placas sejam submetidas a um desgaste equivalente a 500m, ou seja, 250 voltas. Ao final as placas são retiradas da máquina e limpas para novas medidas. Em seguida são submetidas a mais 500m de percurso e após o desgaste são limpas para novas medidas.

Os cálculos são feitos individualmente para cada placa de acordo com as fórmulas abaixo:

$$d = a - b$$

$$e = a - c$$

a = Altura inicial média das 4 faces (mm);

b = Altura média das 4 faces (mm) após 500m;

c = Altura média das 4 faces (mm) após 1000m;

d = Desgaste médio após 500m;

e = Desgaste médio após 1000m ou Desgaste Amsler (mm).

Os resultados do ensaio de desgaste estão no Quadro 18, onde se observa que os valores obtidos estão abaixo dos valores limítrofes sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), já que para as normas americanas (ASTM) este parâmetro não possui especificações (n.e.).

Parâmetros		Verde Netuno	
Frazão e Farjallat (1995)	ASTM C 615 (1992)	Seco (mm)	Saturado (mm)
<1	n.e.	0,77	0,94
Média		0,85	

Quadro 18 - Resultados do ensaio de Desgaste Amsler do Verde Netuno.

Quanto à resistência ao desgaste abrasivo os valores oscilando entre 0,77 e 0,94mm, demonstrando resistência satisfatória para a utilização em pisos de ambientes de alto tráfego.

No granulito Verde Netuno, a composição de aproximadamente 20,8% de quartzo, apresenta o maior valor de desgaste no estado saturado (0,94 mm), o que é um reflexo também da granulometria que varia de média a grossa e o predomínio dos contatos grão-a-grão do tipo côncavo-serrilhado e plano-lobular.

7.7. Ensaio de Alterabilidade (Ataque Químico)

Rochas de diferentes naturezas e em diferentes formas e dimensões são usadas como material de construção, nas quais as características de resistência e de durabilidade são os principais qualificativos para sua adoção. Modificações nestes atributos podem, entretanto ocorrer ao longo do tempo se as rochas estiverem expostas ao intemperismo.

Os mecanismos de alteração de uma rocha por intemperismo se manifestam pela desagregação e pela decomposição.

A alterabilidade é definida como a potencialidade, maior ou menor da rocha a se alterar, ou seja, de apresentar maior ou menor modificação de suas propriedades ao longo do tempo e sua avaliação se dá por análises petrográficas e mineralógicas e por ensaios físicos e físico-mecânicos, em particular pela resistência ao ataque químico.

A resistência ao ataque químico foi realizada conforme a norma NBR 13818/97 (Anexo H), utilizada para placas cerâmicas seguindo aqui como adaptação às rochas ornamentais por falta de uma norma para as mesmas. Consiste na aplicação de substâncias em determinadas concentrações que simulam em velocidade acelerada alguns ambientes agressivos.

O material utilizado nesse ensaio consiste de uma placa polida, um aparelho medidor de brilho e reagentes como: cloreto de amônia (100g/l); solução de hipoclorito de sódio (20mg/l); ácidos (ácido clorídrico (3%) e ácido cítrico (100g/l); alçais (solução de hidróxido de Potássio 30g/l).

No início é feita a leitura do brilho da placa polida através do medidor de reflexão, dentro da área em que será aplicado o agente agressivo, que pode ser um cilindro (seis leituras aproximadamente são feitas de forma aleatória). Os cilindros são fixados na placa com massa de vedação, tomando-se o devido cuidado de serem testados se os cilindros estão realmente vedados, por aplicação de um pouco de água, deixando por algumas horas e observando a ocorrência de vazamentos. A seguir aplica-se a substância sobre as placas, no espaço para tal, tampando para evitar a evaporação, e aguardando o tempo necessário. Esse tempo em que cada substância ficará em contato com a placa varia de acordo com a mesma e seu poder de ataque. Após o tempo determinado, os cilindros são retirados, as placas são limpas e efetuadas novas leituras no medidor de brilho. Realizam-se também observações na alteração da cor e textura da placa, caso ocorram, alterações, são feitas análises petrográficas para determinar o tipo de alteração e até, se possível, um modo de evitar e/ou revertê-la.

O critério usado para avaliação deste procedimento diz respeito à medida direta da perda do brilho, observação de manchas, e perda de minerais através da seguinte expressão.

$$PB = BI - BF (\%)$$

PB – Perda de Brilho;

BI – Brilho inicial;

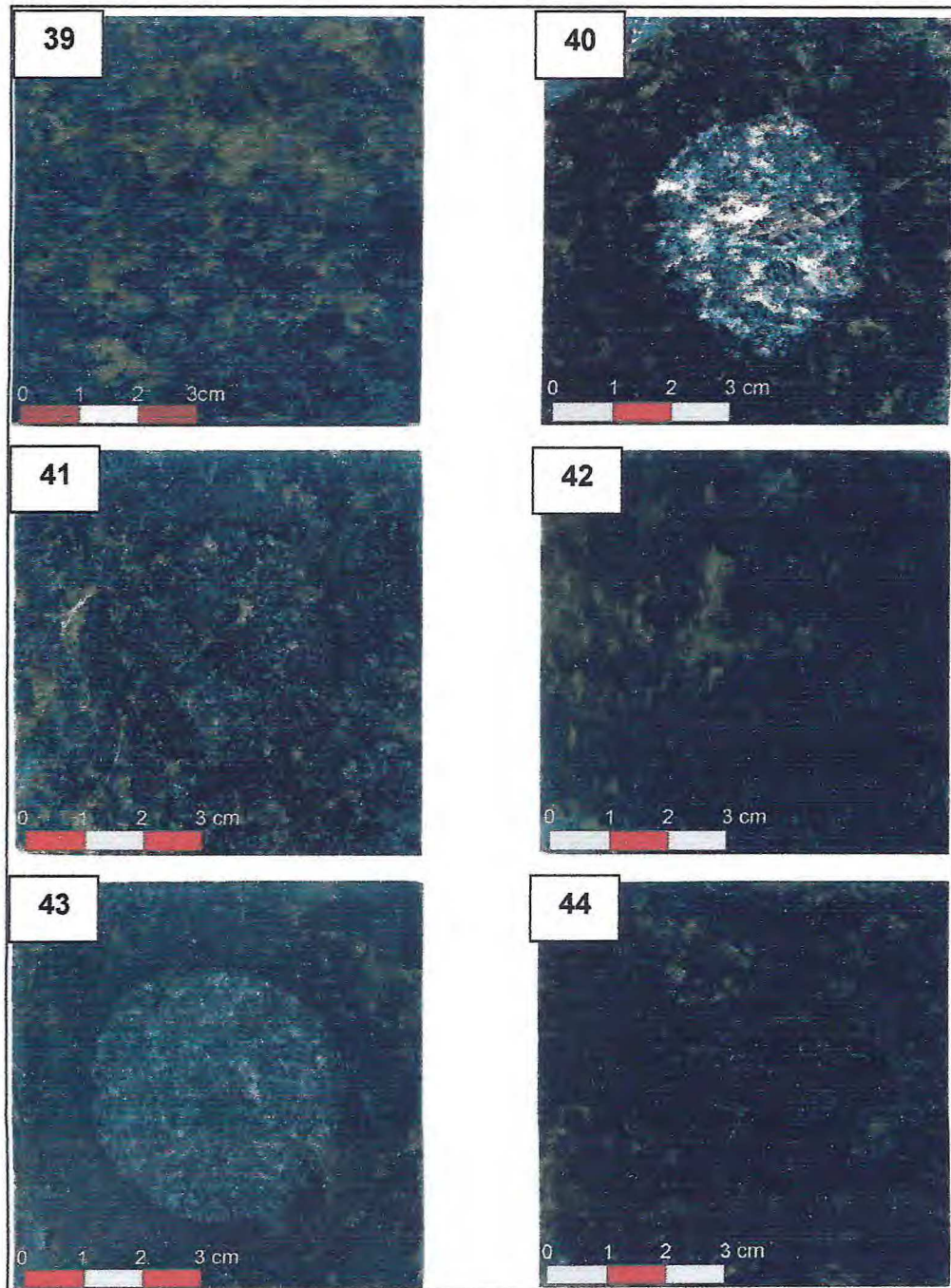
BF – Brilho final.

Classe de Reagentes	Reagente	Tempo (h)	Verde Netuno PB* (%)
Ácido de baixa concentração – ácido muriático.	2. Ácido Clorídrico - HCl (3%)	96	2,98
Álcalis de alta concentração – sabões em geral	3. Hidróxido de Potássio - KOH (100g/l)	96	23,50
Produto para tratamento de água de piscina – água sanitária e produtos antimoho.	4. Hipoclorito de Sódio – NaClO (20mg/l)	24	17,40
Ácido de baixa concentração – suco de frutas cítricas, vinagre e refrigerantes.	5. Ácido Cítrico - C ₆ H ₈ O ₇ (100g/l)	24	20,20
Produtos químicos domésticos – detergentes e sabões.	6. Cloreto de Amônia - NH ₄ Cl (100g/l)	24	5,90

*PB - perda do brilho

Quadro 19 - Resultados quantitativos obtidos no ensaio de resistência ao ataque químico relativo à perda do brilho – PB do Verde Netuno.

De acordo com os valores obtidos a maior perda de brilho ocorreu no ataque por hidróxido de potássio (23,5%), e a menor foi ocasionada pela adição do ácido clorídrico (2,98%). Nas placas atacadas por ácido clorídrico e ácido cítrico, descolorações foram evidenciadas, tornando a superfície das placas esbranquiçada pela lixiviação de minerais máficos. Verificou-se uma sutil corrosão na superfície polida notada somente ao tato. Na análise visual por meio de lupa é possível reconhecer que plagioclásio, biotitas e/ou anfibólio, foram os minerais retirados (Fotos 35, 36, 37, 38, 39 e 40).



Fotos 35, 36, 37, 38, 39 e 40 - Placas polidas do granulito Verde Netuno usadas no ensaio de resistência ao ataque químico. (35) Placa não atacada; (36) Ação do Ácido Clorídrico (3%); (37) do Hidróxido de Potássio (100g/l); (38) Hipoclorito de Sódio (20mg/l); (39) Ácido Cítrico (100g/l); e (40) Cloreto de Amônia (100g/l).

Os reagentes empregados no ensaio de resistência ao ataque químico representam substâncias componentes dos produtos de limpeza, estes últimos por vezes de uso diário na manutenção de pisos, fachadas e utensílios.

Todos aqueles agentes apresentaram algum poder de agressividade aos materiais granulíticos, portanto uma avaliação cuidadosa com relação à manutenção desses materiais naturais e locais de aplicação se faz necessária para uma melhor durabilidade.

7.8. Quadro comparativo dos ensaios no Verde Netuno e valores especificados por Frazão & Farjallat, 1995 e ASTM.

Ensaio	Frazão & Farjallat	ASTM C 615	Verde Netuno
Massa Específica aparente (Kg/m ³)	> 2,550	> 2,560	2,844
Porosidade Aparente (%)	< 1,0	n.e.	0,49
Absorção d'água	< 0,4	< 0,4	0,17
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	> 100	> 131	175,09
Resistência à Flexão (MPa)	> 10	> 10,3	15,06
Desgaste Amsler (mm)	< 1,0	n.e.	0,77

n.e. – Não especificada.

Quadro 20 – Quadro comparativo dos ensaios no Verde Netuno.

Os dados obtidos através dos ensaios estão de acordo com os parâmetros qualitativos estabelecidos pela American Society for Testing and Materials – ASTM (C 615) e os sugeridos por Frazão & Farjallat (1995). Nos ensaios dos índices físicos os materiais apresentam alta densidade, baixa porosidade e baixo índice de absorção d'água. Os ensaios para a determinação da resistência mecânica (compressão uniaxial e flexão 3 pontos) foram feitos com o material nos estados seco e saturado. Os valores de resistência à compressão uniaxial simples variaram entre 160,2 a 175,1 MPa. No ensaio de flexão 3 (três) pontos o Verde Netuno apresenta 15,1 MPa no estado seco e 13,7 MPa quando saturado, confirmando as características anteriormente verificadas pela análise petrográfica (textura, grau de microfissuramento, etc.). Quanto à resistência ao desgaste abrasivo os valores oscilando entre 0,77 e 0,94mm, demonstram resistência satisfatória para a utilização em pisos de ambientes de alto tráfego. No ensaio de alterabilidade os materiais apresentam alterações em maior ou menor grau

quando atacados por agentes agressivos contidos na maioria dos produtos de limpeza, e até em algumas bebidas e/ou alimentos.

Em resumo, as características físico-mecânica, associadas ao aspecto estético qualificam este material para aplicação em ambientes externos e internos como rochas ornamentais e de revestimento.

8 – Conclusões

A área pesquisada é constituída por um conjunto litológico formado por biotita gnaisses com hornblenda, granulitos (enderbitos e charnockitos), granodioritos, monzogranitos, granodioritos com granadas e diques (sienogranitos), além da presença maciça de coberturas colúvio-aluvionares representando mais de 50% da área.

A associação mineral característica dos biotita gnaisses com hornblenda é composta por biotita + hornblenda + plagioclásio + feldspato potássico + quartzo. A estabilidade de hornblenda mais plagioclásio com fração molar de An > 17, permite estabelecer condições de P e T compatíveis ao fácies anfibolito para estes gnaisses.

O geobarômetro Al-Hb (Johnson & Rutherford, 1988), apresentou valores de P (pico) para os biotita gnaisses com hornblenda, entre 5,8 a 7,1 kbar. O termômetro Ti em hornblenda (Otten, 1984), mostrou temperaturas de 700° a 714°C que se ajustam melhor a esses litotipos devido a uma menor variação (14°C).

Os enderbitos registram associação mineral com ortopiroxênio (hiperstênio) + clinopiroxênio + granada + plagioclásio + biotita + hornblenda + quartzo. Os valores de pressão variaram de 8,44 a 10,47kbar coerentes com as condições de pico metamórfico do fácies Granulito. Os valores de temperatura que melhor se enquadram ao fácies Granulito foram obtidos com o par Grc1P3-Cpxc2P2 com T média de 732°C (início do fácies granulito).

Nos granodioritos os valores de pressão encontrados mostram uma média de 7,68Kbar. As temperaturas calculadas para esses litotipos de acordo com a calibração de Blundy & Holland (1990), para o par mineral hornblenda-plagioclásio mostraram valores da ordem de 763°C em média, e com pressão inferida, revelando assim que a medida que o valor da pressão é aumentada a temperatura é diminuída.

Os granodioritos com granadas revelaram resultados de pressão média de 9,15Kbar e temperaturas variando de 824° – 851°C com média de 837°C.

As análises isotópicas feitas pelo método Sm/Nd T_{DM} (rocha total) e U/Pb em zircão no charnockito resultaram no valor de 2,56Ga e $\varepsilon_{(t)} = -2,349$. O valor levemente negativo de $\varepsilon_{(t)}$ indica que esses litotipos passou por um processo de retrabalhamento crustal e que provavelmente o conjunto granulítico não representa as raízes do arco magmático de Santa Quitéria.

A caracterização petrográfica do enderbito (Verde Netuno) mostrou que de modo geral esse litótipo possui um grau de alteração fraco a médio com predominância de contatos grão-a-grão côncavo-serrilhado e plano-lobular além de microfissuramentos da ordem de 0,14 microfissuras /mm².

Os índices físicos do Verde Netuno apresentaram alta densidade, baixa porosidade e baixo índice de absorção d'água, mostrando que o material apresenta boa resistência mecânica e durabilidade. Seus resultados ficaram acima dos padrões estabelecidos pela ASTM e daqueles sugeridos por Frazão e Farjallat (1995).

Os resultados do ensaio de compressão uniaxial revelaram valores positivos com relação aos parâmetros sugeridos por Frazão e Farjallat (1995) e ASTM (C615).

O ensaio de resistência à flexão de 3 (três) pontos mostrou que o material apresenta resistência de 15,1 MPa no estado seco e 13,7 MPa quando saturado, estando de acordo com as características anteriormente verificadas pela análise petrográfica (textura, grau de microfissuramento, etc.), classificando assim uma resistência satisfatória não sendo feita restrições quanto ao seu uso.

Quanto ao ensaio de desgaste por atrito (Amsler), os valores variando entre 0,77 e 0,94mm, demonstram resistência satisfatória para a utilização do Verde Netuno em pisos de ambientes de alto tráfego.

Com relação ao ensaio de alterabilidade os materiais apresentam alterações em maior ou menor grau quando atacados por agentes agressivos contidos na maioria dos produtos de limpeza, e até em algumas bebidas e/ou alimentos.

9 – Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. de. ; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. de. ; FUCK, R. A. 1977. **Províncias Estruturais Brasileiras**. In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande, Boletim Resumos 6: 363 – 391.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. 1990. “**Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock. D 2845**”. Philadelphia – USA.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (C 615). 1992. **Standard specification for granite dimension stone**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (NBR 12768). 1992. Rochas para revestimento. **Análise petrográfica**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (NBR 12766). 1992a. Rochas para revestimento. **Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d’água aparente**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (NBR 12767). 1992b. Rochas para revestimento. **Determinação da resistência à compressão uniaxial**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (NBR 12763). 1992. Rochas para revestimento. **Determinação da resistência à flexão**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (NBR 12042). 1992d. Materiais Inorgânicos. **Determinação do desgaste por abrasão**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. (NBR 13818 anexo – H: normativo). 1997. **Determinação da resistência ao ataque químico**.

ARTHAUD, M. H.; VASCONCELOS, A. M. ; NOGUEIRA NETO, J. A. ; OLIVEIRA, F. V. C. ; PARENTE., C. V.; MONIÉ, P. ; LIÉGEOIS, J. P. ; CABY, R. ; FETTER, A. H. 1998. **Main Structural Features of Precambrian Domains from Ceará (NE Brazil)**. In: DEGEO/UFOP-IBTA, International Conference on Basement Tectonics, 14th, Ouro Preto, Abstracts, 84-85.

ATLAS DIGITAL DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO CEARÁ. 2003. Mapas na Escala 1:500.000 - CPRM .

BABINSKI, M.; CHEMALE, JR.; VAN SCHUMUS, W. R.; HARTMANN, L. A.; SILVA, L. C. 1996. **Juvenile accretion at 750 – 700Ma in southern Brazil**. *Geology*, v. 25, n. 5, p. 439 – 442.

BLUNDY, J. D.; HOLLAND, T. J. B. 1990. **Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer**. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 104: 208 – 224.

BRAGA, A. P. G.; MORAES, A. M. V.; PASSOS, C. A. B.; SOUZA, E. M.; MORAIS, J. B. A.; FRANÇA, J. B.; MEDEIROS, M. F.; VALE, P. A. B. R.; ANDRADE, V. A. – 1981- **Projeto Fortaleza**, Brasília - DNPM.

BRITO NEVES, B. B. 1975. **Regionalização Geotectônica do Pré-cambriano Nordestino**. Inst. De Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 198p (inédito).

CABY, R. & ARTHAUD, M. H. 1986. **Major Precambrian Nappes of the Brazilian Belts, Ceará, Northeast Brazil**. *Geology*, 14:871 – 874.

CABY, R. ; SIAL, A. N. ; ARTHAUD, M. H. ; VAUCHEZ, A. 1991. **Crustal evolution and the Brasiliano Orogeny Northeast Brazil**. In: R. D. & Lécorché, J. P. (eds), *the West African orogens and circum – Atlantic correlative*. Springer – verlag, p. 373 – 397.

CAVALCANTE, J. C. & FERREIRA, C. A. 1983. **Mapa geológico do Estado do Ceará**. Escala: 1: 500.000, MME. CPRM/DNPM.

CAWTHORN, R. G.; COLLERSON, K. D. 1974. **The recalculation of pyroxene and- member parameters and the estimation of ferrous and ferric iron content from electron microprobe analysis**. *American Mineral*. **59**: 1203 – 1208.

COSTA, A. P. L. 2003. **Caracterização geológica e tecnológica dos granulitos da região de Chorozinho (nordeste do Ceará)**. Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Tese de Mestrado, 90p.

COSTA, A. P. L. 2005. **Granulitos (Enderbitos) da porção norte de Estado do Ceará: Aprimoramento e caracterização tecnológica para rochas ornamentais**. Exame de Qualificação. Universidade Estadual Paulista, 120p.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A., and ZUSSMAN, J. 1966. **An Introduction to the rock-forming minerals**: London, Longman Group Ltd.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. 1972. **Rock forming minerals: orth- and ring silicates**. (Vol. 1) London, Longman Group Ltd.

DEPAOLO, D. J. & WASSERBURG, G. J. 1976. **Inferences about magma sources and mantle structure from variations of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$** . *Geophys. Res. Lett*, **3**: 743 – 746.

DEPAOLO, D. J. 1981. **Nd isotopic studies: Some new perspectives on earth structure and evolution**. *EOS*, **62**: 137 – 140.

DICKIN, A. L. 1995. **Radiogenic isotope geology**. Cambridge University Press, 452 pp.

ECKERT, J. O. JR.; NEWTON, R. C.; KLEPPA, O. J. 1991. **The pH of reaction and recalibration of garnet-pyroxene-plagioclase-quartz geobarometers in the CMAS system by solution calorimetry**. *American Mineralogist*, **76**: 148 – 160.

FERNANDES NOGUEIRA, J.; MORALES, N. NOGUEIRA NETO, J. A.; SOUZA MANSUETO, M. 2005. **Termobarometria dos monzonitos de Quixadá – Ceará Central, nordeste do Brasil.** VIII Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa. Vol.1. 247 – 250. Aveiro – Portugal.

FETTER, A. H. ; VAN SCHMUS, W. R. ; SANTOS, T. J. S. ; ARTHAUD, M. H. ; AND NOGUEIRA NETO, J. A. 1997. **Geology History and Framework of Ceará State: NW Borborema Province, NE Brazil.** Extended abstracts of South-American Symposium on Isotope Geology, Campos do Jordão, São Paulo, 1: 112 – 114.

FETTER, A. H. 1999. **U/Pb and Sm/Nd Geochronological Constraints on the Crustal Framework and Geologic History of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of Gondwana.** Department of Geology, Kansas University, Lawrence, Tese de Doutorado, 164p.

FETTER, A. H. ; SANTOS, T. J. S. ; SCHUMUS, W. R. V.; HACKSPACHER, P. C. ; NEVES, B. B. B. ; ARTHAUD, M. H. ; NOGUEIRA NETO, J. A. ; WERNICK, E. 2003. **Evidence for Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana.** *Gondwana Research*, v. 6, No. 2, pp. 265-273.

FRAZÃO, E. B. & FARJALLAT, J. E. S. **Caracterização das principais rochas silicatadas brasileiras usadas como pedras de revestimento.** 1995. I Congresso internacional de pedra natural. Lisboa – Portugal. 47 – 58p.

FRAZÃO, E. B. 2002. **Tecnologia de Rochas na Construção Civil.** Associação Brasileira de Engenharia e Ambiental. São Paulo.

GEBAUER, D. & GRUNENFELDER, M. 1979. **U-Th-Pb dating of minerals.** In Jager, E. & Hunziker, J. C. (Eds), *Lectures in isotope geology*: Springer Verlag; 103 – 131.

GORAYEB, P. S. S. & ABREU, F. A. M. 1998. **Granulito Macaco: Nova Ocorrência de Rochas Granulíticas na Província Borborema**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40º, Belo Horizonte - MG.

HAMMARSTROM, J. M.; ZEN, E. A. 1986. **Aluminium in hornblende: a empirical igneous geobarometer**. *American Mineralogist*. **71**: 1297 – 1313.

HAWTHORNE, F. 1981. **Cristal chemistry of the amphiboles**. *Mineralogical Society of American Reviews in Mineralogy*. **9A**: 1 – 102.

JOHNSON, M. C.; RUTHERFORD, M. J. 1988. **Experimental calibration of an aluminium-in-hornblende geobarometer applicable tot calcaline rocks**. *Eos* **69**: 1511.

KEGEL, W. 1965. **A Estrutura Geológica do Nordeste do Brasil**. *Bol. Div. Geol. Mineral, Rio de Janeiro*, **227**: 1 - 52.

KNOWLES, C. R. 1987. **A basic program to recast garnet end members**. *Computers and Geosciences*. **13**: 655 – 658.

KROGH, E. J. & CARSWELL, D. A. 1995. **HP and UHP Eclogites and Garnet Peridotites in the Scandinavian Caledonides**. In Coleman, R.G. & Wang, X. (eds.): *Ultrahigh Pressure Metamorphism*. Cambridge Topics in Petrology, Cambridge University Press, pp 244-298.

LE MAITRE, R. W. 1989. **A classification of igneous rocks and glossary of terms**. Recommendations of the IUGS Sub commission of the Systematics of Igneous Rocks. 1 ed. Oxford, Blackwell Science Publication, 193p.

MEDEIROS, M. DE F. & CAVALCANTE, J.C. 1993. **Programas Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Folha SB24-Y-D-II. Catarina – Escala 1:1000.000 – Brasília: CPRM.

- METZGER, K. & KOGSTAD, E. J. 1997. **Interpretation of discordant U-Pb zircon ages: an evaluation.** *J. Metamorphic Geol.* 15, 127 – 140.
- MONIÉ, P.; CABY, R.; ARTHAUD, M. H. 1997. **Timing of the Neoproterozoic Brasiliano Orogeny in Northeast Brazil: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Ages and Petrostructural Data from Ceará.** *Precambrian Research*, 81: 241-264.
- MORIMOTO, N. 1988. **Nomenclature of pyroxenes.** *American Mineralogist.* 73: 1123 – 1133.
- NEWTON, R. C.; PERKINS, D. 1982. **Thermodynamic calibration of geobarometers based on the assemblages garnet-plagioclase-orthopyroxene (clinopyroxene)-quartz.** *American Mineralogist*, 67: 203 – 222.
- NOCKOLDS, S. R. 1974. **The relation between chemical composition and paragéneses in the biotite mias of igneous rocks.** *Am. Jour. Sci.* 245: 401 – 420.
- NOGUEIRA NETO, J. A. 200. **Evolução geodinâmica das faixas granulíticas de Granja e Cariré, extremo noroeste da Província Borborema.** Tese de doutoramento. Curso de Pós-graduação da Universidade Estadual Paulista – Rio Claro. 171p.
- OTTEN, M. T. 1984. **The origin of brown hornblende in the Artfjället gabbro and dolerites.** *Contributions to Mineralogy and Petrology.* 86: 189 – 199.
- PARRISH, R. R. 1987. **An improved micro-capsule for zircon dissolution in U-Pb geochronology.** *Isotope Geosciences.* V. 66, p. 99 – 102.
- PATCHETT, P. J. & RUIZ, J. 1987. **Nd isotopic ages of crust formation and metamorphism in the Precambrian of eastern and southern México.** *Contr. Mineral. Petrol.*, 96: 523 – 528.

PESSOA, R. R. & ARCHANJO, C. J. 1984. **Tectônica de Empurrões na Região de Tróia – CE.** Anais 33º Congresso Brasileiro de Geologia, 4: 1721 – 1728.

PESSOA, R. R., BRITO NEVES, B. B., KAWASHITA, K., PESSOA, D. A. R. 1986. **Contribuição ao Estudo da Evolução Geocronológica do Maciço de Tróia.** Atas do 12º Simpósio de Geologia do Nordeste, Sociedade Brasileira de Geologia, p. 75 – 93.

POWELL, R. 1985. **Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/geobarometer calibration: garnet-clinopiroxene geothermometer revisited.** Journal of Metamorphic Geology, 3:231 – 243.

PRADO, F. da S.; MEDEIROS, M. de F.; MORAIS, J. B. A. de *et al.*, 1979. **Projeto Martinópolis – Ceará:** DNPM/CPRM. Relatório Final, v. 1.

RAASE, P. 1974. **Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism.** Contributions of Mineralogy and Petrology. 45: 231 – 236.

RELATÓRIO FINAL DE PESQUISA - GRANITO ORNAMENTAL. 2000. Mineração Santa Rosa. Itapipoca. Ceará.

RICKWOOD, P. C. 1968. **On recasting analyses of granet into end member molecules.** Contributions of Mineralogy and Petrology. 18: 175 – 198.

RICHARD, L. R. 1995: **Minpet for Windows – Version 2.02.** Minpet Geological Software. Quebec.

ROBINSON, P.; SPEAR, F. S.; SCHUMACHEER, J. C.; LAIRD, J.; KLEIN, C.; EVANS, B. W.; DOOLAN, B. L. 1981. **Phase relations of metamorphic amphiboles: Natural occurrence and theory.** Mineralogical Society of America. Reviews in Mineralogy. 9: 1 – 228.

ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO. 1997. Apostila do Curso de Pós-Graduação do Instituto de Geociências e Ciências Exatas. IGCE/UNESP.

SANTOS, E. J. & BRITO NEVES, B. B. 1984. **A Província Borborema.** In: ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y. (eds), **O Pré-Cambriano do Brasil.** Ed. Edgard Blucher, São Paulo – SP, p. 123 – 186.

SANTOS, A. A. 2003. **Caracterização Litoestrutural e Geocronológica da Região Fósforo-uranífera de Itataia – CE.** Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Tese de Mestrado, 100p.

SCHREURS, J. 1985. **Prograde metamorphism of metapelites, garnet – biotite thermometry and prograde changes of biotite chemistry in high – grade rocks of West Uusimaa, southwest Finland.** *Lithos.* 18: 69 – 80.

SOUZA, E. M. & BRAGA, A. P. 1984. **Projeto Mapeamento Geológico, Escala 1:100.000, folha SB.24-X-A-IV (Itapiúna) – Convênio INB/CEMINAS.** P. 76.

SOUSA FILHO, O. A. 1998. **Geologia e Mapa de Ocorrência de Água Subterrânea Folha AS.24.Y–D–V – Irauçuba, Ceará.** Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais, Universidade Federal de Ouro Preto, Tese de Mestrado, 99p.

STACEY, J. S. & KRAMERS, J. D. 1975. **Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model.** *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26: 207 – 221.

NIJLAND, T. G. **ESCHER** (programa em Basic). Universidade de Utrecht – Holanda.

VAN SCHMUS, W.R.; BRITO NEVES, B.B.; HACKSPACHER, P.C.; BABINSKI, M. 1995: **U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, Northeast Brazil: Initial conclusions.** *Jour South Amer Earth Sci* 8 (3/4), 267 – 288.

VAN SCHMUS, W. R.; BICKFORD, M. E.; TUREK, A. 1996. **Proterozoic geology of the east-central mid-continent basement**, in rander Pluijm, B. A.; and Catacosinos, P.A.; eds. Basement and basins of eastern North American Geological Society of American Special Paper 308, p. 7-32.

VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P.C.; FETTER, A. H.; KOZUCH, M.; DANTAS, E. L.; BABINSKI, M. 1997. **The Borborema Province: A Collage of Polycyclic Domains in NE Brazil**. 17º Simpósio de Geologia do Nordeste, Sociedade Brasileira de Geologia, p. 115 – 120.

WETHERILL, G. W. 1956. **Discordant uranium-lead ages**. Trans. Am. Geophys. Union. 37, 320 – 326.

WINKLER, H. G. F. 1977. **Petrogênese das rochas metamórficas**. São Paulo. Ed. Edgard Blucher: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre.

YARDLEY, BRUCE W. D. 1989. **Introdução à petrologia metamórfica**. Traduzido por Adolph R. Fuck. Editora Universidade de Brasília, 340p.

YARDLEY, BRUCE W. D. 2004. **Introdução à petrologia metamórfica**. Traduzido por Adolph R. Fuck. 2. ed. revista. Editora Universidade de Brasília, 340p.

ANEXOS I

↪ Tabelas com os resultados de Química Mineral

Tabela 01– Química Mineral da Biotita.

Amostras	CIP2A	CIP2A	CIP2A	CIP2A	CIP2A	CIP2A	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA
Rocha	CHARNOCKITO						ENDERBITO					
Análise	c1	c1	c1	c1	c1	c1	c1bt1	c1bt1	c2bt2	c3bt3	c3bt3	c4bt4
Localização	P1	P2	P3	P4	P5	P6	bord	centr	centr	bod	centr	centr
Mineral	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita
SiO ₂	35.753	34.744	34.857	34.352	34.903	34.602	35.444	35.258	36.494	35.740	39.079	35.381
TiO ₂	5.112	4.889	4.842	5.024	5.144	5.098	4.858	4.613	3.938	4.413	3.146	4.510
Al ₂ O ₃	13.760	13.836	13.797	13.439	13.697	13.341	13.280	12.977	13.719	12.898	11.242	12.371
Cr ₂ O ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FeO	26.580	27.245	26.897	26.613	26.783	26.258	22.954	22.809	17.639	22.424	21.441	20.477
MnO	0.109	0.069	0.087	0.101	0.092	0.106	0.104	0.031	0.009	0.021	0.075	0.029
MgO	6.622	6.636	6.777	6.544	6.557	6.499	8.364	8.234	11.947	9.129	7.923	8.531
CaO	0.017	0.027	0.000	0.052	0.000	0.084	0.064	0.055	0.000	0.027	5.583	0.277
Na ₂ O	0.067	0.081	0.066	0.081	0.074	0.186	0.072	0.029	0.067	0.068	0.647	0.229
K ₂ O	9.235	9.078	9.276	9.118	9.431	9.058	9.024	8.848	9.226	8.997	5.397	8.478
F	0.538	0.578	0.351	0.265	0.307	0.074	0.854	0.742	1.244	0.930	0.786	0.891
Cl	0.185	0.167	0.165	0.178	0.206	0.186	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BaO	0.576	0.477	0.328	0.486	0.290	0.478	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	98.55	97.83	97.44	96.25	97.48	95.97	95.02	93.60	94.28	94.65	95.32	91.17
Si	5.542	5.455	5.471	5.466	5.476	5.499	5.597	5.641	5.666	5.651	6.028	5.757
Al ^{IV}	2.458	2.545	2.529	2.518	2.524	2.497	2.403	2.359	2.334	2.349	1.972	2.243
Al ^{VI}	0.054	0.013	0.021	0.000	0.007	0.000	0.066	0.086	0.175	0.053	0.070	0.127
Ti	0.596	0.577	0.572	0.601	0.607	0.609	0.577	0.555	0.460	0.525	0.365	0.552
Fe ²	3.446	3.577	3.530	3.541	3.514	3.490	3.031	3.052	2.290	2.965	2.766	2.786
Mn	0.014	0.009	0.012	0.014	0.012	0.014	0.014	0.004	0.001	0.003	0.010	0.004
Mg	1.530	1.553	1.586	1.552	1.534	1.540	1.969	1.964	2.765	2.152	1.822	2.069
Ca	0.003	0.005	0.000	0.009	0.000	0.014	0.011	0.009	0.000	0.005	0.923	0.048
Na	0.020	0.025	0.020	0.025	0.023	0.057	0.022	0.009	0.020	0.021	0.194	0.072
K	1.826	1.818	1.857	1.851	1.888	1.836	1.818	1.806	1.828	1.815	1.062	1.760
Cátions	15.489	15.577	15.598	15.577	15.585	15.556	15.508	15.485	15.539	15.539	15.212	15.418
CF	0.527	0.574	0.348	0.267	0.305	0.074	0.853	0.751	1.222	0.930	0.767	0.917
O	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
Fé FeMg	0.690	0.700	0.690	0.700	0.700	0.690	0.610	0.610	0.450	0.580	0.600	0.570
Mg FeMg	0.310	0.300	0.310	0.300	0.300	0.310	0.390	0.390	0.550	0.420	0.400	0.430

c1 – Campo marcado na lâmina

centr – Centro do mineral

bord – Borda do mineral

P - Ponto

Tabela 01 - Química Mineral da Biotita (continuação).

Amostras	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	MAG57A	MAG57A	MAG57A	MAG57A	CIPB	CIPB	CIPB
Rocha	ENDERBITO				ENDERBITO				CHARNOCKITO		
Análise	c6bt5	c6bt5	c6bt5	c6bt5	c2	c2	c3	c4	c4	c6	c6
Localização	bordA	centA	centB	centB1	P1	P2	P3	P4	BT4cent	BT5bord	BT5cent
Mineral	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita
SiO ₂	36.316	36.389	36.404	36.323	34.997	35.166	33.288	35.882	35.381	36.316	36.389
TiO ₂	4.641	4.721	4.609	4.686	4.681	4.540	4.207	5.023	4.510	4.641	4.721
Al ₂ O ₃	13.008	13.011	13.321	12.964	13.038	13.206	12.357	13.231	12.371	13.008	13.011
Cr ₂ O ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FeO	22.694	23.042	23.052	23.441	20.301	19.424	18.954	19.761	20.477	22.694	23.042
MnO	0.028	0.057	0.000	0.032	0.093	0.121	0.063	0.077	0.029	0.028	0.057
MgO	8.954	8.998	8.870	9.110	10.651	10.681	10.505	10.691	8.531	8.954	8.998
CaO	0.023	0.030	0.025	0.063	0.028	0.000	0.038	0.000	0.277	0.023	0.030
Na ₂ O	0.110	0.104	0.077	0.085	0.069	0.004	0.045	0.075	0.229	0.110	0.104
K ₂ O	9.158	9.149	8.948	8.996	9.335	9.406	8.920	9.331	8.478	9.158	9.149
F	0.931	1.126	1.101	1.273	0.603	0.906	1.078	1.039	0.891	0.913	1.126
Cl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.025	0.036	0.017	0.119	0.083	0.050
BaO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.130	0.322	0.178	0.080	0.403	0.359	0.266
Total	95.86	96.63	96.41	96.97	93.94	93.80	89.67	95.21	91.70	96.31	96.94
Si	5.669	5.654	5.656	5.639	5.534	5.549	5.541	5.587	5.750	5.663	5.650
Al ^{IV}	2.331	2.346	2.344	2.361	2.428	2.431	2.422	2.413	2.250	2.337	2.350
Al ^{VI}	0.060	0.035	0.093	0.009	0.000	0.032	0.000	0.013	0.118	0.052	0.029
Ti	0.545	0.552	0.539	0.547	0.557	0.541	0.527	0.588	.551	0.544	0.551
Fe ²	2.963	2.994	2.995	3.043	2.685	2.573	2.639	2.573	2.783	2.960	2.992
Mn	0.004	0.008	0.000	0.004	0.012	0.016	0.009	0.010	0.004	0.004	0.007
Mg	2.084	2.084	2.054	2.108	2.511	2.522	2.607	2.481	2.067	2.082	2.083
Ca	0.004	0.005	0.004	0.010	0.005	0.000	0.007	0.000	0.048	0.004	0.005
Na	0.033	0.032	0.023	0.026	0.021	0.001	0.015	0.023	0.072	0.033	0.031
K	1.824	1.814	1.773	1.782	1.883	1.900	1.894	1.853	1.758	1.822	1.812
Cátions	15.517	15.523	15.481	15.529	15.636	15.585	15.661	15.541	15.401	15.501	15.510
CF	0.919	1.107	1.082	0.250	0.603	0.908	1.135	1.023	0.916	0.918	1.106
O	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
Fe FeMg	0.590	0.590	0.590	0.590	0.520	0.510	0.500	0.510	0.570	0.590	0.590
Mg FeMg	0.410	0.410	0.410	0.410	0.480	0.490	0.500	0.490	0.430	0.410	0.410

Tabela 01 – Química Mineral da Biotita (continuação).

Amostras	MAG47C	MAG47C	MAG47C	MAG47C	MMAG67B	MMAG67B	MMAG67B	MMAG67B
Rocha	GRANODIORITO				GRANODIORITO			
Análise	c1	c2	c2	c2	c1	c1	c1	c2
Localização	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P4	P3
Mineral	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita
SiO ₂	35.061	36.771	35.922	36.076	34.620	35.043	35.289	35.871
TiO ₂	1.763	2.330	2.210	2.204	2.567	2.713	3.430	3.759
Al ₂ O ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	14.700	14.847	14.737	14.520
Cr ₂ O ₃	14.956	15.000	15.217	15.098	0.000	0.000	0.000	0.000
FeO	18.093	17.837	17.858	18.697	26.377	26.604	26.646	26.634
MnO	0.216	0.271	0.222	0.221	0.332	0.331	0.266	0.312
MgO	12.792	11.753	11.878	12.60	6.675	6.736	6.418	6.347
CaO	0.104	0.010	0.031	0.040	0.017	0.067	0.018	0.040
Na ₂ O	0.095	0.053	0.076	0.054	0.051	0.065	0.053	0.082
K ₂ O	9.308	9.706	9.869	9.214	9.367	8.874	9.353	9.087
F	0.544	0.123	0.266	0.569	0.103	0.126	0.549	0.326
Cl	0.098	0.085	0.061	0.072	0.086	0.112	0.120	0.085
BaO	0.135	0.060	0.104	0.068	0.288	0.316	0.500	0.321
Total	93.17	94.00	93.71	94.91	95.18	95.83	97.38	97.38
Si	5.518	5.676	5.591	5.559	5.538	5.550	5.541	5.592
Al ^{IV}	2.482	2.324	2.409	2.441	2.462	2.450	2.459	2.408
Al ^{VI}	0.290	0.403	0.380	0.299	0.307	0.319	0.266	0.258
Ti	0.290	0.271	0.259	0.255	0.309	0.323	0.405	0.441
Fe ²	2.381	2.303	2.324	2.409	3.528	3.524	3.499	3.472
Mn	0.029	0.035	0.029	0.029	0.045	0.044	0.035	0.041
Mg	3.001	2.705	2.756	2.894	1.592	1.590	1.502	1.475
Ca	0.018	0.002	0.005	0.007	0.003	0.011	0.003	0.007
Na	0.029	0.016	0.023	0.016	0.016	0.020	0.016	0.025
K	1.869	1.911	1.960	1.811	1.911	1.793	1.874	1.807
Cátions	15.826	15.646	15.736	15.720	15.711	15.624	15.600	15.526
CF	0.541	0.120	0.262	0.555	0.104	0.126	0.545	0.321
O	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
Fé FeMg	0.440	0.460	0.460	0.450	0.690	0.690	0.700	0.700
Mg FeMg	0.560	0.540	0.540	0.550	0.310	0.310	0.300	0.300

Tabela 01 – Química Mineral da Biotita (continuação).

Amostras	MMAG67A	MMAG67A	MMAG67A	MMAG67A	MMAG76	MMAG76	MMAG76	MMAG76
Rocha	BIOTITA GNAISSE COM HORNBLENDA				GRANODIORITO COM GRANADA			
Análise	c2	c2	c2	c3	c2	c2	c3	c3
Localização	P1	P2	P4	P3	P1	P2	P5	P6
Mineral	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita
SiO ₂	35.431	35.204	35.680	35.777	32.845	37.814	32.165	32.829
TiO ₂	3.104	3.451	3.504	3.229	4.582	1.318	4.409	4.426
Al ₂ O ₃	14.225	14.333	14.041	14.192	14.910	12.337	14.697	14.667
Cr ₂ O ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
FeO	21.916	21.338	21.081	21.665	30.309	28.406	30.235	29.237
MnO	0.316	0.317	0.311	0.376	0.125	0.207	0.139	0.101
MgO	9.826	9.214	9.814	9.395	2.080	1.709	2.082	2.149
CaO	0.029	0.029	0.000	0.000	0.000	10.940	0.048	0.017
Na ₂ O	0.037	0.075	0.042	0.044	0.038	1.131	0.049	0.035
K ₂ O	9.608	9.399	9.548	9.521	8.701	1.691	8.518	8.640
F	0.726	0.513	0.732	0.763	0.351	0.136	0.335	0.091
Cl	0.081	0.071	0.088	0.064	0.075	0.057	0.075	0.044
BaO	0.029	0.103	0.095	0.000	0.963	0.019	0.924	0.818
Total	95.33	94.05	94.94	95.03	94.98	95.77	93.68	93.05
Si	5.562	5.575	5.601	5.619	5.414	5.950	5.387	5.477
Al ^{IV}	2.438	2.425	2.399	2.381	2.586	2.050	2.613	2.523
Al ^{VI}	0.192	0.248	0.197	0.244	0.308	0.236	0.286	0.359
Ti	0.367	0.411	0.414	0.381	0.568	0.156	0.555	0.555
Fe ²	2.877	2.826	2.767	2.846	4.178	3.738	4.235	4.079
Mn	0.042	0.043	0.041	0.050	0.017	0.028	0.020	0.014
Mg	2.300	2.175	2.297	2.200	0.511	0.401	0.520	0.534
Ca	0.005	0.005	0.000	0.000	0.000	1.844	0.009	0.003
Na	0.011	0.024	0.013	0.013	0.012	0.345	0.016	0.011
K	1.924	1.899	1.912	1.908	1.830	0.339	1.820	1.839
Cátions	15.718	15.630	15.641	15.642	15.424	15.087	15.461	15.394
CF	0.721	0.514	0.727	0.758	0.366	0.135	0.355	0.096
O	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
Fe FeMg	0.560	0.570	0.550	0.560	0.890	0.900	0.890	0.880
Mg FeMg	0.440	0.430	0.450	0.440	0.110	0.100	0.110	0.120

Tabela 02 – Química Mineral do Anfibólio.

Amostras	CIP2A	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA
Rocha	CHANOCKITO							ENDERBITO			
Análise	c1	c1	c1	c1	c4	c4	c5	c1	c1	c2	c2
Localização	P1	P2	P3	P4	Anf4cent	Anf5cent	Anf5bord	Anf1	Anf2	Anf1	Anf2
Mineral	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio
SiO ₂	41.020	41.145	40.110	39.733	41.076	40.885	61.148	49.734	49.695	40.549	41.206
TiO ₂	1.682	1.607	2.112	1.877	1.813	1.766	0.070	0.117	0.079	1.681	1.802
Al ₂ O ₃	12.731	12.224	12.071	12.041	11.061	11.283	26.652	1.081	1.197	11.433	11.249
FeO	24.726	22.993	22.974	23.063	21.985	21.083	0.031	18.112	16.783	21.923	21.732
MnO	0.263	0.230	0.190	0.220	0.081	0.144	0.000	0.215	0.209	0.126	0.114
MgO	5.208	6.009	5.956	5.666	6.984	7.198	0.020	8.297	8.690	6.865	6.838
CaO	11.102	11.124	11.106	10.753	10.763	10.891	6.189	19.381	20.010	10.587	10.661
Na ₂ O	1.526	1.700	1.594	1.601	1.733	1.627	8.186	0.602	0.561	1.556	1.441
K ₂ O	1.595	1.636	1.598	1.631	1.701	1.601	0.319	0.009	0.003	1.528	1.542
F	0.042	0.211	0.293	0.281	0.742	0.747	0.043	0.000	0.000	0.478	0.457
Cl	0.224	0.150	0.168	0.169	0.106	0.085	0.002	0.000	0.000	0.091	0.098
Total	100.12	99.03	98.17	97.04	98.05	97.31	102.66	97.55	97.23	96.82	97.14
O_F Cl	0.070	0.120	0.160	0.160	0.340	0.330	0.020	0.000	0.000	0.220	0.210
O_F	0.020	0.090	0.120	0.120	0.310	0.310	0.020	0.000	0.000	0.200	0.190
O_Cl	0.050	0.030	0.040	0.040	0.020	0.020	0.000	0.000	0.000	0.020	0.020
CTotal	100.05	98.91	98.01	96.88	97.71	96.98	102.64	97.55	97.23	96.60	96.93
TSi	6.247	6.321	6.229	6.247	6.380	6.370	8.910	7.849	7.859	6.331	6.408
TAI	1.753	1.679	1.771	1.753	1.620	1.630	0.000	0.096	0.106	1.669	1.592
TFe ³	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.158	0.158	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.910	8.103	8.124	8.000	8.000
CAI	0.530	0.533	0.437	0.476	0.403	0.440	4.573	0.105	0.117	0.433	0.468
CFe ³	0.293	0.202	0.228	0.263	0.250	0.229	0.000	0.151	0.173	0.342	0.283
CTi	0.193	0.186	0.247	0.222	0.212	0.207	0.008	0.014	0.009	0.197	0.211
CMg	1.182	1.376	1.379	1.328	1.617	1.672	0.004	1.952	2.049	1.598	1.585
CFe2	2.785	2.688	2.698	2.696	2.513	2.443	0.004	2.082	1.888	2.422	2.445
CMn	0.017	0.015	0.012	0.015	0.005	0.009	0.000	0.029	0.028	0.008	0.007
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.411	0.667	0.735	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BFe ²	0.071	0.064	0.058	0.073	0.092	0.076	0.000	0.000	0.000	0.099	0.097
BMn	0.017	0.015	0.013	0.015	0.005	0.010	0.000	0.000	0.000	0.008	0.008
BNa	1.811	1.831	1.848	1.811	1.791	1.818	0.555	2.000	2.000	1.771	1.776
BNa	0.100	0.09	0.081	0.100	0.111	0.097	1.445	0.000	0.000	0.122	0.119
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.610	0.655	0.000	0.000
ANa	0.350	0.416	0.399	0.388	0.411	0.395	0.868	0.184	0.172	0.349	0.316
AK	0.310	0.321	0.317	0.327	0.337	0.318	0.059	0.002	0.001	0.304	0.306
Sum_A	0.660	0.737	0.716	0.715	0.748	0.713	0.928	0.796	0.828	0.654	0.621
Sum_Ca	15.660	15.737	15.716	15.715	15.748	15.713	16.837	15.899	15.952	15.654	15.621
CCI	0.058	0.039	0.044	0.045	0.028	0.022	0.000	0.000	0.000	0.024	0.026

CF	0.020	0.103	0.144	0.140	0.364	0.368	0.020	0.000	0.000	0.236	0.225
Sum_oxy	23.008	23.037	23.011	23.023	23.046	23.035	26.856	23.924	24.011	23.016	23.041

c1 – Campo marcado na lâmina

centr – Centro do mineral

bord – Borda do mineral

Tabela 02 – Química Mineral do Anfibólio (continuação).

Amostras	CIPA	CIPA	CIPB	CIPB	CIPB	CIPB	CIPB	CIPB	CIPB	MMAG47	MMAG47	
Rocha	ENDERBITO		CHARNOCKITO								GRANODIORITO	
Análise	c3	c3	c1	c1	c2	c4	c4	c4	c5	c1	c1	
Localização	Anf1	Anf2	Anf1	Anf2	Anf3	Af4	Anf4cent	Anf5cent	Anf5bord	P1	P2	
Mineral	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	
SiO ₂	40.340	41.088	40.750	42.939	39.597	40.686	41.076	40.885	61.148	41.669	41.907	
TiO ₂	1.791	1.621	0.244	0.172	0.371	1.863	1.813	1.766	0.070	0.862	0.700	
Al ₂ O ₃	11.466	11.279	3.161	2.706	1.856	11.397	11.061	11.283	26.652	12.482	12.46	
FeO	21.818	21.695	24.896	28.447	27.703	21.539	21.985	21.083	0.031	18.005	18.181	
MnO	0.147	0.058	0.432	0.665	0.528	0.115	0.081	0.144	0.000	0.371	0.402	
MgO	6.758	6.950	6.093	5.537	4.521	7.005	6.984	7.198	0.020	9.561	9.516	
CaO	10.564	10.725	2.407	2.515	2.338	10.890	10.763	10.891	6.189	11.671	11.771	
Na ₂ O	1.587	1.569	0.444	0.494	0.342	1.702	1.733	1.627	8.186	1.383	1.355	
K ₂ O	1.567	1.575	0.391	0.454	0.316	1.624	1.701	1.601	0.319	1.572	1.535	
F	0.652	0.376	0.000	0.081	0.002	0.433	0.742	0.747	0.043	0.265	0.008	
Cl	0.112	0.108	0.093	0.095	0.062	0.093	0.106	0.085	0.002	0.082	0.100	
Total	96.80	97.04	78.91	84.11	77.64	97.35	98.05	97.31	102.66	97.92	97.94	
O_F_Cl	0.300	0.180	0.020	0.060	0.010	0.200	0.340	0.330	0.020	0.130	0.030	
O_F	0.270	0.160	0.000	0.030	0.000	0.180	0.310	0.310	0.020	0.110	0.000	
O_Cl	0.030	0.020	0.020	0.020	0.010	0.020	0.020	0.020	0.000	0.020	0.020	
Ctotal	96.50	96.86	78.89	84.05	77.63	97.15	97.71	96.98	102.64	97.79	97.91	
Tsi	6.321	6.396	7.478	7.488	7.518	6.334	6.380	6.370	8.910	6.278	6.297	
TAI	1.679	1.604	0.380	0.314	0.232	1.666	1.620	1.63	0.000	1.722	1.703	
TFe3	0.000	0.000	0.142	0.198	0.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.910	8.000	8.000	
CAI	0.437	0.464	0.304	0.242	0.183	0.423	0.403	0.440	4.573	0.493	0.502	
CFe3	0.317	0.272	1.664	1.763	1.830	0.234	0.250	0.229	0.000	0.451	0.465	
CTi	0.211	0.190	0.034	0.023	0.053	0.218	0.212	0.207	0.008	0.098	0.079	
CMg	1.579	1.613	1.667	1.439	1.280	1.626	1.617	1.672	0.004	2.147	2.132	
CFe2	2.446	2.457	1.300	1.487	1.615	2.492	2.513	2.443	0.004	1.787	1.796	
CMn	0.010	0.004	0.032	0.046	0.040	0.008	0.005	0.009	0.000	0.024	0.025	
CCa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.411	0.000	0.000	
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
BFe2	0.096	0.095	0.715	0.700	0.704	0.078	0.092	0.076	0.000	0.030	0.023	
BMn	0.010	0.004	0.035	0.052	0.045	0.008	0.005	0.010	0.000	0.024	0.026	
BCa	1.774	1.774	0.473	0.470	0.476	1.816	1.791	1.818	0.555	1.884	1.895	
BNa	0.120	0.112	0.075	0.079	0.060	0.098	0.111	0.097	1.445	0.062	0.056	
Sum_B	2.000	2.000	1.298	1.301	1.284	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
ANa	0.362	0.361	0.083	0.088	0.066	0.416	0.411	0.395	0.868	0.342	0.339	
AK	0.313	0.313	0.092	0.101	0.077	0.323	0.337	0.318	0.059	0.302	0.294	
Sum_A	0.675	0.674	0.175	0.189	0.143	0.738	0.748	0.713	0.928	0.644	0.633	
Sum_cat	15.675	15.674	14.473	14.490	14.427	15.738	15.748	15.713	16.837	15.644	15.633	
CCI	0.030	0.029	0.029	0.028	0.020	0.025	0.028	0.022	0.000	0.021	0.025	

CF	0.323	0.185	0.000	0.045	0.001	0.213	0.364	0.368	0.020	0.126	0.004
Sum_oxy	23.026	23.037	23.105	23.125	23.144	23.034	23.046	23.035	26.856	23.000	23.000

Tabela 02 – Química Mineral do Anfibólio (continuação).

Amostras	MMAG47	MMAG47	MMAG52	MMAG52	MMAG52	MMAG52	MMAG52	MMAG52	MMAG67A	MMAG67A	MMAG67A
Rocha	GRANODIORITO		ENDERBITO						BIOTITA GNAISSE COM HORNBLENDA		
Análise	c1	c1	c2	c2	c2	c2	c2	c2	c2	c2	c2
Localização	P3	P4	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P1	P2	P3
Mineral	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio
SiO ₂	43.029	41.970	47.409	46.634	44.253	43.719	45.705	46.614	42.372	42.655	42.854
TiO ₂	0.942	0.937	0.481	0.482	0.799	0.992	0.871	0.904	1.137	1.176	1.231
Al ₂ O ₃	11.900	12.281	9.815	10.040	12.204	12.274	10.102	10.515	11.345	11.176	10.786
FeO	18.438	18.042	12.897	12.912	14.883	14.840	13.859	14.544	20.094	21.285	20.422
MnO	0.333	0.372	0.119	0.135	0.124	0.084	0.092	0.151	0.578	0.583	0.635
MgO	9.804	9.600	14.216	13.829	11.718	11.508	12.833	12.581	7.623	7.656	7.825
CaO	11.729	11.587	11.539	11.542	11.427	11.529	11.778	11.712	11.176	11.455	11.382
Na ₂ O	1.237	1.375	1.077	1.168	1.654	1.478	1.291	1.342	1.492	1.292	1.380
K ₂ O	1.325	1.491	0.226	0.281	0.375	0.394	0.337	0.318	1.403	1.444	1.361
F	0.000	0.425	0.112	0.145	0.000	0.000	0.000	0.111	0.290	0.324	0.419
Cl	0.122	0.096	0.125	0.110	0.780	0.200	0.138	0.131	0.065	0.068	0.037
Total	98.86	98.18	98.02	97.28	98.22	97.02	97.01	98.92	97.58	99.11	98.33
O_F_Cl	0.030	0.200	0.080	0.090	0.180	0.050	0.030	0.080	0.140	0.150	0.180
O_F	0.000	0.180	0.050	0.060	0.000	0.000	0.000	0.050	0.120	0.140	0.180
O_Cl	0.030	0.020	0.030	0.020	0.180	0.050	0.030	0.030	0.010	0.020	0.010
CTotal	98.83	97.98	97.94	97.19	98.04	96.97	96.98	98.84	97.44	98.96	98.15
Tsi	6.383	6.312	6.798	6.760	6.493	6.458	6.707	6.725	6.500	6.451	6.529
Tal	1.617	1.688	1.202	1.240	1.507	1.542	1.293	1.275	1.500	1.549	1.471
TFe ³	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Cal	0.461	0.487	0.455	0.474	0.602	0.594	0.453	0.512	0.549	0.441	0.464
CFe ³	0.484	0.444	0.545	0.501	0.404	0.417	0.375	0.335	0.206	0.337	0.218
Cti	0.105	0.106	0.052	0.053	0.088	0.110	0.096	0.098	0.131	0.134	0.141
CMg	2.168	2.152	3.039	2.988	2.563	2.534	2.808	2.706	1.743	1.726	1.777
CFe ²	1.760	1.787	0.903	0.976	1.335	1.340	1.263	1.340	2.333	2.325	2.359
CMn	0.021	0.024	0.007	0.008	0.008	0.005	0.006	0.009	0.037	0.037	0.041
Cca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe ²	0.042	0.038	0.099	0.089	0.087	0.077	0.063	0.079	0.038	0.030	0.025
BMn	0.021	0.024	0.007	0.008	0.008	0.005	0.006	0.009	0.038	0.038	0.041
BCa	1.864	1.867	1.773	1.793	1.796	1.825	1.852	1.810	1.837	1.856	1.858
BNa	0.073	0.071	0.121	0.110	0.108	0.093	0.079	0.101	0.087	0.077	0.076
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.283	0.330	0.179	0.218	0.362	0.330	0.288	0.274	0.357	0.302	0.332
AK	0.251	0.286	0.041	0.052	0.070	0.074	0.063	0.059	0.275	0.279	0.265
Sum_A	0.534	0.616	0.220	0.270	0.432	0.404	0.352	0.333	0.361	0.581	0.596
Sum_cat	15.534	15.616	15.220	15.270	15.432	15.404	15.352	15.333	15.631	15.581	15.596
CCI	0.031	0.024	0.030	0.027	0.194	0.050	0.034	0.032	0.017	0.017	0.010

CF	0.000	0.202	0.051	0.066	0.000	0.000	0.000	0.051	0.141	0.155	0.202
Sum_oxy	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.000	23.031	23.000	23.007

Tabela 02 – Química Mineral do Anfibólio (continuação).

Amostras	MMAG67A	MMAG67B	MMAG67B	MMAG67B	MMAG67B	MMAG76	MMAG76	MMAG76	MMAG76
Rocha	B.GNAISSE	GRANODIORITO				GRANODIORITO COM GRANADAS			
Análise	c2	c1	c1	c2	c2	c2	c2	c3	c3
Localização	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Mineral	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio	Anfibólio
SiO ₂	42.439	40.120	39.974	39.604	40.203	36.982	38.210	38.187	38.206
TiO ₂	1.122	1.598	1.488	1.772	1.425	1.869	1.941	2.089	1.923
Al ₂ O ₃	10.854	12.442	12.417	12.272	12.186	13.036	12.707	12.624	12.532
FeO	20.568	25.017	21.281	24.663	24.212	27.262	27.123	27.838	27.761
MnO	0.532	0.459	0.533	0.478	0.530	0.144	0.212	0.165	0.169
MgO	8.068	4.862	4.906	4.847	4.896	1.763	1.810	1.841	1.881
CaO	11.529	11.263	11.453	11.190	11.196	10.631	10.735	10.588	10.776
Na ₂ O	1.310	1.489	1.446	1.530	1.474	1.414	1.408	1.255	1.364
K ₂ O	1.358	1.643	1.645	1.679	1.637	1.795	1.733	1.682	1.651
F	0.143	0.004	0.241	0.252	0.241	0.171	0.024	0.052	0.137
Cl	0.087	0.126	0.119	0.123	0.114	0.063	0.059	0.079	0.055
Total	98.01	99.02	95.50	98.41	98.11	95.13	96.96	96.40	96.46
O F Cl	0.080	0.030	0.130	0.130	0.130	0.090	0.020	0.040	0.070
O F	0.060	0.000	0.100	0.110	0.100	0.070	0.010	0.020	0.060
O Cl	0.020	0.030	0.030	0.030	0.030	0.010	0.010	0.020	0.010
CTotal	97.93	98.99	95.37	98.28	97.98	95.04	95.94	96.36	96.39
TSi	6.462	6.200	6.402	6.183	6.278	6.090	6.222	6.181	6.193
TAI	1.538	1.800	1.598	1.817	1.722	1.910	1.778	1.819	1.807
TFe ³	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
CAI	0.480	0.464	0.743	0.440	0.520	0.619	0.659	0.587	0.585
CFe ³	0.350	0.339	0.000	0.299	0.230	0.168	0.091	0.213	0.166
CTi	0.129	0.186	0.179	0.208	0.167	0.232	0.238	0.254	0.234
CMg	1.831	1.120	1.171	1.128	1.140	0.433	0.439	0.444	0.455
CFe ²	2.248	2.862	2.850	2.893	2.908	3.239	3.558	3.491	3.549
CMn	0.034	0.030	0.056	0.031	0.035	0.010	0.015	0.011	0.012
Cca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BFe ²	0.021	0.033	0.000	0.028	0.024	0.048	0.045	0.065	0.048
BMn	0.034	0.030	0.016	0.032	0.035	0.010	0.015	0.011	0.012
BCa	1.881	1.865	1.965	1.872	1.873	1.876	1.873	1.836	1.871
BNa	0.064	0.072	0.019	0.068	0.068	0.066	0.068	0.087	0.069
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ANa	0.323	0.374	0.430	0.395	0.379	0.385	0.377	0.307	0.360
AK	0.264	0.324	0.336	0.334	0.326	0.377	0.360	0.347	0.341
Sum_A	0.587	0.698	0.766	0.729	0.705	0.762	0.737	0.654	0.701
Sum_cat	15.587	15.698	15.766	15.729	15.705	15.762	15.737	15.654	15.701
CCI	0.022	0.033	0.032	0.033	0.030	0.018	0.016	0.022	0.015

CF	0.069	0.002	0.122	0.124	0.119	0.089	0.012	0.027	0.070
Sum_oxy	23.000	23.000	23.126	23.000	23.000	23.018	23.059	23.028	23.023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

Tabela 03 – Química Mineral do Feldspato.

Amostras	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA
Rocha	ENDERBITO							
Análise	c1fel1	c1fel1	c1fel15	c1fel6	c1fel6	c1fel7	c1fel8	c2fel3
Localização	bord	cent	cent	bord	cent	cent	cent	cent
Mineral	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio
SiO ₂	61.066	62.328	59.993	61.176	61.072	59.928	60.901	60.990
TiO ₂	0.045	0.000	0.000	0.076	0.000	0.061	0.000	0.000
Al ₂ O ₃	24.407	24.042	24.342	24.324	24.466	24.175	24.616	24.347
Fe ₂ O ₃	0.105	0.116	0.022	0.026	0.099	0.000	0.027	0.047
MnO	0.000	0.005	0.039	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000
MgO	0.022	0.000	0.000	0.005	0.000	0.018	0.008	0.000
BaO	0.000	0.029	0.000	0.042	0.068	0.012	0.012	0.013
CaO	5.826	5.235	5.928	5.677	6.086	6.230	5.978	5.889
Na ₂ O	7.642	8.175	7.701	8.209	7.992	7.807	0.000	7.729
K ₂ O	0.347	0.389	0.366	0.311	0.335	0.399	0.409	0.326
Total	99.57	100.41	98.48	99.92	100.18	98.73	100.04	99.44
SrO	0.114	0.093	0.091	0.076	0.052	0.096	0.088	0.102
Si	2.722	2.753	2.709	2.722	2.713	2.704	2.709	2.723
Al	1.281	1.250	1.294	1.274	1.280	1.285	1.289	1.280
Fe ³	0.004	0.004	0.001	0.001	0.003	0.000	0.001	0.002
Ti	0.002	0.000	0.000	0.003	0.000	0.002	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Mg	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
Ba	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001
Ca	0.278	0.248	0.287	0.271	0.290	0.301	0.285	0.282
Na	0.661	0.700	0.674	0.708	0.688	0.683	0.690	0.669
K	0.020	0.022	0.021	0.018	0.019	0.023	0.023	0.019
Cátions	4.969	4.979	4.987	4.999	4.996	4.999	4.998	4.975
X	4.009	4.007	4.004	4.000	3.996	3.991	3.999	4.005
Z	0.960	0.971	0.983	0.998	0.999	1.008	0.999	0.970
Ab	68.900	72.200	68.600	71.000	69.000	67.800	69.100	69.000
An	29.000	25.600	29.200	27.200	29.100	29.900	28.600	29.100
Or	2.100	2.300	2.100	1.800	1.900	2.300	2.300	2.000
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

C – campo

bord – borda

cent – centro

fel – feldspato

P - ponto

Tabela 03 – Química Mineral do Feldspato (Continuação).

Amostras	CIP2B	CIP2B	MMAG47C	MMAG52	MMAG52	MMAG52	MMAG52	MMAG57A
Rocha	CHARNOCKITO		GRANODIORITO	ENDERBITO				
Análise	c6	c6	c2	c1	c1	c1	c1	c2
Localização	fel14cent	fel14bor	P1	P1	P2	P3	P4	P1
Mineral	K-Feldspato	K-Feldspato	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio
SiO ₂	64.037	62.967	60.426	57.798	57.783	57.550	57.796	60.242
TiO ₂	0.020	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.060
Al ₂ O ₃	18.723	18.657	24.848	25.636	25.529	25.500	25.549	23.488
Fe ₂ O ₃	0.010	0.002	0.183	0.190	0.190	0.129	0.193	0.036
MnO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000
MgO	0.001	0.000	0.006	0.009	0.021	0.000	0.010	0.001
BaO	0.998	0.751	0.046	0.000	0.099	0.000	0.040	0.071
CaO	0.056	0.048	6.298	7.790	7.773	7.784	7.573	5.440
Na ₂ O	2.050	1.566	7.755	6.828	6.794	6.996	7.279	7.755
K ₂ O	13.385	13.857	0.224	0.144	0.133	0.109	0.140	0.359
Total	99.38	97.37	99.91	98.40	98.33	98.10	98.63	97.52
SrO	0.098	0.105	0.127	0.000	0.000	0.033	0.019	0.064
Si	2.974	2.968	10.772	2.624	2.626	2.623	2.622	2.742
Al	1.024	1.036	5.217	1.371	1.367	1.369	1.365	1.259
Fe ³	0.000	0.000	0.025	0.006	0.006	0.004	0.007	0.001
Ti	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000
Ba	0.018	0.014	0.003	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001
Ca	0.003	0.002	1.203	0.379	0.379	0.380	0.368	0.265
Na	0.185	0.143	2.681	0.601	0.599	0.618	0.640	0.684
K	0.793	0.833	0.051	0.008	0.008	0.006	0.008	0.021
Cátions	5.016	5.011	19.967	4.990	4.991	5.000	5.014	4.976
X	3.999	4.005	16.014	4.001	3.999	3.996	3.995	4.004
Z	0.999	0.992	3.940	0.989	0.990	1.004	1.018	0.971
Ab	18.900	14.600	68.100	60.800	60.800	61.600	63.000	70.500
An	0.300	0.200	30.600	38.400	38.400	37.800	36.200	27.300
Or	80.800	85.200	1.300	0.800	0.800	0.600	0.800	2.200
Sr	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabela 03 – Química Mineral do Feldspato (Continuação).

Amostras	MMAG57A	MMAG57A	MMAG57A	MMAG57A	MMAG57A	MMAG57A	MMAG67A	MMAG67A
Rocha	ENDERBITO						BIOTITA GNASSE C/ HORNB	
Análise	c2	c2	c2	c2borda	c3	c3	c1	c3
Localização	P2	P2A	P4	P3	P3	P4	P5	P1
Mineral	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	Plagioclásio	K-Feldspato	Plagioclásio
SiO ₂	60.532	57.174	60.396	61.027	59.747	59.954	64.476	62.381
TiO ₂	0.040	0.055	0.070	0.020	0.050	0.000	0.005	0.000
Al ₂ O ₃	24.975	22.461	25.345	24.828	23.917	23.393	18.549	23.823
Fe ₂ O ₃	0.114	0.076	0.148	0.044	0.097	0.057	0.024	0.061
MnO	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.038
MgO	0.076	0.007	0.004	0.000	0.006	0.007	0.004	0.000
BaO	0.013	0.000	0.048	0.000	0.013	0.076	0.395	0.000
CaO	6.335	4.201	6.487	6.294	5.779	5.511	0.000	4.901
Na ₂ O	7.529	8.061	7.760	7.947	7.670	7.630	0.865	8.542
K ₂ O	0.250	0.296	0.286	0.250	0.469	0.486	15.465	0.387
Total	99.97	92.41	100.65	100.51	97.80	97.27	99.84	100.25
SrO	0.103	0.056	0.106	0.102	0.051	0.136	0.052	0.116
Si	2.693	2.742	2.675	2.702	2.717	2.739	11.948	11.039
Al	1.308	1.269	1.322	1.294	1.281	1.259	4.048	4.965
Fe ³	0.004	0.003	0.005	0.001	0.003	0.002	0.003	0.008
Ti	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000
Mn	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.006
Mg	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Ba	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.029	0.000
Ca	0.320	0.216	0.308	0.299	0.282	0.270	0.000	0.929
Na	0.649	0.750	0.666	0.682	0.676	0.676	0.311	2.931
K	0.014	0.018	0.016	0.014	0.027	0.028	3.656	0.087
Cátions	4.976	5.002	4.996	4.993	4.988	4.977	20.036	19.975
X	4.006	4.016	4.004	3.998	4.003	4.000	16.000	16.012
Z	0.970	0.986	0.991	0.995	0.985	0.976	3.997	3.953
Ab	67.300	76.200	67.300	68.500	68.600	69.400	7.800	74.300
An	31.300	22.000	31.100	30.100	28.600	27.700	0.000	23.500
Or	1.500	1.800	1.600	1.400	2.700	2.900	92.200	2.200
Sr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010

Tabela 03 – Química Mineral do Feldspato (Continuação).

Amostras	MMAG67A	MMAG67A	MMAG67A	MMAG67A	MMAG67B	MMAG67B	MMAG67B	MMAG67B
Rocha	BIOTITA GNAISSE COM HORNBLENDA				GRANODIORITO			
Análise	c3	c3	c3	c3	c1	c1	c1	c1
Localização	P2	P3	P4	P6	P1	P2	P2A	P3
Mineral	Plagioclásio	K-Feldspato	K-Feldspato	K-Feldspato	Plagioclásio	Plagioclásio	K-Feldspato	Plagioclásio
SiO ₂	62.381	64.200	64.207	65.271	62.391	62.923	62.776	61.857
TiO ₂	0.005	0.045	0.000	0.050	0.000	0.000	0.005	0.000
Al ₂ O ₃	23.689	18.583	18.586	18.431	23.836	24.061	19.259	24.077
Fe ₂ O ₃	0.192	0.022	0.017	0.018	0.044	0.000	0.000	0.131
MnO	0.007	0.039	0.000	0.022	0.000	0.001	0.000	0.000
MgO	0.005	0.000	0.008	0.000	0.011	0.005	0.000	0.000
BaO	0.093	0.395	0.661	0.433	0.041	0.000	1.723	0.000
CaO	4.760	0.001	0.017	0.016	4.851	5.101	0.829	5.295
Na ₂ O	8.521	2.152	1.311	1.124	8.639	8.616	3.246	8.431
K ₂ O	0.440	13.298	14.821	14.914	0.215	0.263	10.276	0.218
Total	100.15	98.81	99.69	100.41	100.03	101.06	98.18	100.06
SrO	0.058	0.075	0.063	0.127	0.000	0.090	0.064	0.052
Si	11.053	11.934	11.921	11.996	11.047	11.037	11.753	10.969
Al	4.943	4.068	4.064	3.989	4.970	4.970	4.246	5.028
Fe ³	0.026	0.003	0.002	0.002	0.006	0.000	0.000	0.017
Ti	0.001	0.006	0.000	0.007	0.000	0.000	0.001	0.000
Mn	0.001	0.006	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.001	0.000	0.002	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000
Ba	0.006	0.029	0.048	0.031	0.003	0.000	0.126	0.000
Ca	0.904	0.000	0.003	0.003	0.920	0.959	0.166	1.006
Na	2.928	0.776	0.472	0.401	2.966	2.930	1.178	2.899
K	0.099	3.153	3.511	3.497	0.049	0.059	2.454	0.049
Cátions	19.978	20.014	20.081	19.970	19.967	19.966	20.060	19.978
X	16.023	16.011	15.987	15.994	16.023	16.007	16.000	16.014
Z	3.939	3.964	4.036	3.935	3.941	3.949	3.924	3.954
Ab	74.500	19.800	11.800	10.300	75.400	74.200	31.000	73.300
An	23.000	0.000	0.100	0.100	23.400	24.300	4.400	25.400
Or	2.500	80.200	88.100	89.600	1.200	1.500	64.600	1.200
Sr	0.010	0.010	0.010	0.010	0.000	0.010	0.010	0.010

Tabela 03 – Química Mineral do Feldspato (Continuação).

Amostras	MMAG67B	MMAG67B	MMAG67B	MMAG67B	MMAG67B	MMAG67B	MMAG67B	MMAG76
Rocha	GRANODIORITO							GRANOD. GRAN
Análise	c1	c1	c1	c1	c1	c1	c3	c1
Localização	P3A	P4	P5	P5A	P6	P6A	P4	P1
Mineral	Plagioclásio	K-Feldspato	Plagioclásio	K-Feldspato	Plagioclásio	K-Feldspato	Plagioclásio	K-Feldspato
SiO ₂	60.563	64.824	51.667	64.739	59.792	64.425	57.342	61.934
TiO ₂	0.000	0.000	0.000	0.060	0.000	0.010	0.025	0.040
Al ₂ O ₃	23.754	18.656	20.631	18.324	24.618	18.718	24.457	18.402
Fe ₂ O ₃	0.078	0.052	0.000	0.000	0.029	0.000	0.034	0.008
MnO	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.019
MgO	0.000	0.008	0.013	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000
BaO	0.047	1.130	0.047	0.869	0.076	1.102	0.118	2.350
CaO	5.494	0.000	5.141	0.002	6.290	0.003	6.743	0.052
Na ₂ O	8.184	1.084	6.205	1.190	7.427	1.200	7.081	1.513
K ₂ O	0.141	14.798	0.169	14.715	0.262	14.622	0.312	13.331
Total	98.40	100.63	83.97	99.92	98.60	100.20	96.19	97.74
SrO	0.134	0.073	0.093	0.021	0.110	0.090	0.081	0.091
Si	10.935	11.943	10.910	11.984	10.789	11.919	10.644	11.833
Al	5.051	4.048	5.131	3.995	5.231	4.078	5.346	4.140
Fe ³	0.011	0.007	0.000	0.000	0.004	0.000	0.005	0.001
Ti	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.001	0.003	0.006
Mn	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.003
Mg	0.000	0.002	0.004	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
Ba	0.003	0.082	0.004	0.063	0.005	0.080	0.009	0.176
Ca	1.063	0.000	1.163	0.000	1.216	0.001	1.341	0.011
Na	2.865	0.387	2.541	0.427	2.598	0.430	2.549	0.560
K	0.032	3.478	0.046	3.475	0.060	3.451	0.074	3.249
Cátions	19.974	20.039	19.813	20.015	19.918	20.055	19.990	20.165
X	15.997	15.998	16.041	15.987	16.024	15.998	15.998	15.980
Z	3.964	3.949	3.758	3.965	3.879	3.967	3.973	3.999
Ab	72.300	10.000	67.800	10.900	67.100	11.100	64.300	14.700
An	26.800	0.000	31.000	0.000	31.400	0.000	33.800	0.300
Or	0.800	90.000	1.200	89.100	1.500	88.900	1.900	85.100
Sr	0.010	0.010	0.010	0.000	0.010	0.010	0.010	0.010

Tabela 04 – Química Mineral do Piroxênio.

Amostras	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B
Rocha	CHARNOCKITO									
Análise	c1px2	c1px2	c1px2	c2px1	c2px1	c2px1	c3px3	c3px3	c3px4	c3px4
Localização	bord	bord2	centr	bord	bord2	centr	borAlt	cetrAlt	bord	centr
Mineral	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio
SiO ₂	49.282	49.697	49.188	49.181	49.239	48.94	48.48	49.364	49.541	49.408
TiO ₂	0.041	0.032	0.124	0.060	0.000	0.027	0.000	0.078	0.037	0.055
Al ₂ O ₃	0.351	0.459	0.370	0.330	0.292	0.300	0.360	0.480	0.342	0.351
FeO	38.066	37.662	38.66	38.282	38.324	38.477	38.055	38.527	38.48	39.072
Cr ₂ O ₃	0.000	0.021	0.000	0.000	0.026	0.000	0.000	0.014	0.000	0.006
MnO	0.605	0.592	0.588	0.569	0.526	0.602	0.653	0.606	0.615	0.540
MgO	10.342	9.957	10.096	10.175	10.054	10.147	10.291	10.262	9.759	10.048
CaO	1.291	1.226	0.916	1.095	0.791	0.780	0.888	1.148	0.871	0.915
Na ₂ O	0.019	0.026	0.000	0.000	0.000	0.018	0.130	0.059	0.035	0.030
K ₂ O	0.019	0.004	0.000	0.009	0.024	0.000	0.000	0.017	0.000	0.004
Cl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	100.02	99.68	99.94	99.7	99.28	99.29	98.86	100.56	99.68	100.43
TSi	1.993	2.018	1.996	1.998	2.010	1.998	1.982	1.987	2.017	1.996
TAI	0.007	0.000	0.004	0.002	0.000	0.002	0.017	0.013	0.000	0.004
M1Al	0.009	0.022	0.014	0.014	0.014	0.012	0.000	0.009	0.016	0.013
M1Ti	0.001	0.001	0.004	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002
M1Fe2	0.366	0.374	0.372	0.368	0.373	0.370	0.373	0.372	0.39	0.381
M1Cr	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M1Mg	0.623	0.603	0.611	0.616	0.612	0.617	0.627	0.616	0.592	0.605
M2Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe2	0.921	0.906	0.940	0.932	0.935	0.944	0.929	0.924	0.921	0.939
M2Mn	0.021	0.020	0.020	0.020	0.018	0.021	0.023	0.021	0.021	0.018
M2Ca	0.056	0.053	0.04	0.048	0.035	0.034	0.039	0.049	0.038	0.040
M2Na	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.010	0.005	0.003	0.002
M2K	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Sum_cat	3.999	4.000	4.000	4.000	3.999	4.000	4.000	3.999	4.000	4.000
Ca	2.814	2.728	2.009	2.402	1.754	1.718	1.955	2.497	1.937	1.997
Mg	31.370	30.824	30.803	31.058	31.011	31.093	31.521	31.055	30.194	30.512
Fe ₂ Mn	65.816	66.448	67.188	66.539	67.235	67.189	66.525	66.448	67.869	67.491
JD1	0.125	0.116	0.000	0.024	0.064	0.072	0.000	0.278	0.142	0.130
AE1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.521	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.000	0.035	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.023	0.000	0.010

CTTS1	0.063	0.000	0.193	0.093	0.000	0.042	0.000	0.120	0.000	0.085
CATS1	0.318	0.000	0.017	0.013	0.000	0.082	0.000	0.194	0.000	0.128
WO1	2.460	2.719	1.820	2.319	1.726	1.611	1.967	2.180	1.955	1.790
EN1	31.661	31.113	31.12	31.361	31.280	31.399	31.717	31.295	30.481	30.759
FS1	65.374	66.018	66.851	66.190	66.888	66.794	65.795	65.911	67.422	67.098
Q	1.966	1.935	1.962	1.964	1.955	1.965	1.967	1.962	1.941	1.965
J	0.003	0.004	0.000	0.000	0.000	0.003	0.021	0.009	0.006	0.005
WO	2.814	2.728	2.009	2.402	1.754	1.718	1.955	2.497	1.937	1.997
EM	31.370	30.824	30.803	31.058	31.011	31.093	31.521	31.055	30.194	30.512
FS	65.816	66.448	67.188	66.539	67.235	67.189	66.525	66.448	67.869	67.491
WEF	99.85	99.791	100.000	100.000	100.000	99.857	98.975	99.538	99.719	99.764
JD	0.150	0.209	0.000	0.000	0.000	0.143	0.000	0.462	0.281	0.236
AE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000

c1 – Campo marcado na lâmina

centr – Centro do mineral

bord – Borda do mineral

P - ponto

Tabela 04 – Química Mineral do Piroxênio (continuação).

Amostras	MMAG52	MMAG52	MMAG52	MMAG52	MMAG52	MMAG52	MMMAG57A	MMAG57A	MMAG57A
Rocha	ENDERBITO								
Análise	c2	c2	c2altera	c3	c4	c4	c2	c2	c4
Localização	P1	P2	P1	P3	P4	P5	P1	P2	P3
Mineral	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio	Piroxênio
SiO ₂	51.409	51.356	50.867	52.149	51.464	49.229	48.719	47.302	48.79
TiO ₂	0.065	0.254	0.489	0.140	0.145	0.388	0.432	0.018	0.051
Al ₂ O ₃	2.154	3.789	6.230	1.350	2.152	2.775	0.617	0.493	0.586
FeO	8.242	8.653	9.443	6.702	8.822	9.274	31.938	32.169	32.185
Cr ₂ O ₃	0.384	0.000	0.000	0.118	0.178	0.110	0.038	0.047	0.000
MnO	0.124	0.111	0.083	0.121	0.143	0.218	0.894	1.017	0.887
MgO	13.805	14.262	14.759	14.457	13.578	12.721	13.195	12.760	13.379
CaO	22.589	20.242	15.221	23.461	23.118	22.801	0.895	0.650	0.639
Na ₂ O	0.338	0.497	0.744	0.245	0.303	0.341	0.004	0.000	0.016
K ₂ O	0.018	0.053	0.083	0.014	0.023	0.003	0.013	0.005	0.018
Cl	0.000	0.013	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	99.13	99.23	97.96	98.76	99.93	97.86	96.75	94.46	96.55
TSi	1.926	1.914	1.912	1.953	1.917	1.878	1.990	1.983	1.994
TAI	0.074	0.086	0.088	0.047	0.083	0.122	0.010	0.017	0.006
M1Al	0.021	0.080	0.188	0.012	0.012	0.002	0.020	0.007	0.022
M1Ti	0.002	0.007	0.014	0.004	0.004	0.011	0.013	0.001	0.002
M1Fe2	0.194	0.120	0.000	0.173	0.225	0.260	0.162	0.193	0.161
M1Cr	0.011	0.000	0.000	0.003	0.005	0.003	0.001	0.002	0.000
M1Mg	0.771	0.792	0.798	0.807	0.754	0.723	0.804	0.797	0.815
M2Mg	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
M2Fe2	0.064	0.150	0.297	0.036	0.050	0.036	0.929	0.934	0.939
M2Mn	0.004	0.004	0.003	0.004	0.005	0.007	0.031	0.036	0.031
M2Ca	0.907	0.808	0.613	0.941	0.923	0.932	0.039	0.029	0.028
M2Na	0.025	0.036	0.054	0.018	0.022	0.025	0.000	0.000	0.001
M2K	0.001	0.003	0.004	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001
Sum_cat	3.999	3.997	3.996	3.999	3.999	4.000	3.999	4.000	3.999
Ca	46.741	43.134	35.240	47.974	47.171	47.589	1.994	1.467	1.418
Mg	39.745	42.286	47.544	41.133	38.548	36.942	40.898	40.061	41.296
Fe2_Mn	13.514	14.579	17.217	10.893	14.281	15.468	57.108	58.472	57.286
JD1	1.084	2.014	3.243	0.617	0.587	0.115	0.051	0.014	0.113
AE1	0.212	0.000	0.000	0.317	0.577	1.169	0.000	0.000	0.000
CFTS1	0.367	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.063	0.080	0.000

Tabela 05 – Química Mineral da Granada.

Amostras	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B	CIP2B
Rocha	CHARNOCKITO							
Análise	C1gr1	C1gr2	C1gr3	C3gr1	C3gr2	C4gr1	C4gr2	C6gr1
Localização	sem	sem	sem	sem	sem	sem	sem	sem
Mineral	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada
SiO ₂	37.361	36.749	37.056	36.510	36.398	36.455	36.722	37.076
TiO ₂	0.000	0.000	0.009	0.000	0.057	0.024	0.080	0.066
Al ₂ O ₃	21.249	20.303	21.288	20.568	20.851	20.594	20.916	20.856
Cr ₂ O ₃	0.043	0.029	0.000	0.019	0.000	0.000	0.016	0.000
FeO	29.345	29.156	28.850	29.147	28.933	29.397	29.906	29.760
Fe ₂ O ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MnO	1.718	1.654	1.451	1.456	1.494	1.397	1.536	1.595
MgO	1.790	2.140	1.897	1.491	1.744	1.939	1.825	1.741
CaO	7.154	6.895	7.661	7.587	7.543	6.873	6.845	7.452
Total	98.65	96.92	98.24	96.84	97.28	96.81	97.84	98.56
Y ₂ O ₃	0.030	0.019	0.027	0.081	0.062	0.128	0.010	0.011
TSi	3.029	3.029	3.008	3.021	3.008	3.015	3.005	3.011
TAI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SumT	3.029	3.029	3.008	3.021	3.008	3.015	3.005	3.011
AIVI	2.029	1.971	2.035	2.004	2.018	2.006	2.016	1.995
Fe ³	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.001	0.000	0.004	0.001	0.005	0.004
Cr	0.003	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
SumA	2.032	1.973	2.036	2.005	2.021	2.007	2.021	1.999
Fe ²	1.983	2.010	1.960	2.016	1.989	2.032	2.045	2.022
Mg	0.216	0.263	0.230	0.184	0.214	0.239	0.223	0.211
Mn	0.118	0.115	0.100	0.102	0.104	0.098	0.106	0.110
Ca	0.621	0.609	0.666	0.673	0.664	0.609	0.600	0.648
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SumB	2.939	2.998	2.956	2.974	2.971	2.978	2.974	2.990
SumCat	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
O	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
Aml	67.481	67.060	66.309	67.773	66.953	68.231	68.755	67.600
And	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Gross	21.008	20.219	22.547	22.551	22.355	20.454	20.128	21.683
Pyrope	7.361	8.773	7.768	6.183	7.192	8.029	7.486	7.048
Spess	4.014	3.852	3.376	3.431	3.500	3.287	3.580	3.669

Uvaro	0.136	0.096	0.000	0.062	0.000	0.000	0.051	0.000
XCagnt	0.211	0.203	0.225	0.226	0.223	0.204	0.202	0.217
XFegnt	0.675	0.671	0.663	0.678	0.669	0.682	0.688	0.676
XMggnt	0.074	0.088	0.078	0.062	0.072	0.080	0.075	0.071
Fe/Mggnt	9.181	7.643	8.522	10.957	9.294	8.502	9.170	9.583

c1 – campo marcado na lâmina sem – centro do mineral

Tabela 05 – Química Mineral da Granada (Continuação).

Amostras	CIPB	CIPB	CIPB	CIPB	CIPA	MMAG52	MMAG2	MMAG52	MMAG52
Rocha	CHARNOCKITO				ENDERBITO				
Análise	C6gr2	C6gr3	C6gr4	C6gr5	c3	C1	C1	C1	c1
Localização	sem	sem	sem	sem	GR2	P1 centro	P2 borda	P3	P4
Mineral	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada
SiO ₂	36.806	37.222	37.335	37.035	36.598	37.962	38.339	37.570	37.891
TiO ₂	0.000	0.042	0.038	0.038	0.057	0.000	0.000	0.024	0.029
Al ₂ O ₃	20.703	21.122	21.140	21.178	20.851	21.865	21.775	21.478	21.461
Cr ₂ O ₃	0.000	0.015	0.000	0.009	0.000	0.020	0.000	0.000	0.001
FeO	29.963	29.129	29.719	9.969	28.933	24.492	23.141	22.642	23.796
MnO	1.388	1.566	1.444	1.566	1.494	0.492	0.566	0.476	0.514
MgO	1.728	1.853	1.828	1.881	1.744	4.827	5.110	4.988	5.064
CaO	7.253	7.611	7.341	6.984	7.543	9.626	9.638	10.165	9.313
Total	97.84	98.55	98.88	98.65	97.28	99.26	98.60	97.40	98.08
Y ₂ O ₃	0.000	0.000	0.030	0.000	0.062	0.000	0.027	0.053	0.007
TSi	3.012	3.015	3.020	3.003	3.046	2.967	3.012	2.989	3.001
TAI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.000	0.011	0.000
SumT	3.012	3.015	3.020	3.003	3.046	3.000	3.012	3.000	3.001
Al ^{VI}	1.995	2.015	2.014	2.022	2.044	1.979	2.015	2.001	2.002
Fe ³	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.003	0.002	0.002	0.004	0.000	0.000	0.001	0.002
Cr	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
SumA	1.995	2.018	2.016	2.025	2.047	1.980	2.015	2.002	2.004
Fe ²	2.050	1.976	2.008	2.031	1.913	1.619	1.526	1.508	1.572
Mg	0.211	0.224	0.220	0.227	0.216	0.562	0.598	0.591	0.598
Mn	0.096	0.107	0.099	0.108	0.105	0.033	0.038	0.032	0.034
Ca	0.636	0.660	0.636	0.607	0.673	0.806	0.811	0.866	0.790
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SumB	2.993	2.967	2.964	2.973	2.907	3.020	2.973	2.998	2.995
SumCat	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
O	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
Alm	68.493	66.583	67.761	68.325	65.801	53.603	51.317	50.304	52.499
And	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Gross	21.249	22.210	21.464	20.381	23.134	26.631	27.287	28.897	26.383
Pyrope	7.044	7.540	7.437	7.648	7.442	18.625	20.130	19.729	19.963
Spess	3.215	3.620	3.338	3.618	3.622	1.079	1.267	1.070	1.151

Uvaro	0.000	0.048	0.000	0.028	0.000	0.062	0.000	0.000	0.003
XCagnt	0.212	0.222	0.215	0.204	0.232	0.267	0.273	0.289	0.264
XFegnt	0.685	0.666	0.678	0.683	0.658	0.536	0.513	0.503	0.525
XMggnt	0.070	0.075	0.074	0.076	0.074	0.186	0.201	0.197	0.200
Fe/Mggnt	9.716	8.821	9.127	8.947	8.856	2.881	2.552	2.552	2.629

Tabela 05 – Química Mineral da Granada (Continuação).

Amostras	MAG57A	MAG57A	MAG57A	MAG57A	MAG76	MAG76	MAG76	MAG76
Rocha	ENDERBITO				GRANODIORITOS COM GRANADAS			
Análise	c3	c3	c3	c3	c4	c4	c4	c4
Localização	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Mineral	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada	Granada
SiO ₂	45.967	36.764	36.137	36.736	36.317	36.133	36.677	36.506
TiO ₂	0.009	0.000	0.042	0.019	0.037	0.154	0.131	0.117
Al ₂ O ₃	18.240	20.513	20.409	20.929	20.199	20.252	20.710	20.482
Cr ₂ O ₃	0.001	0.031	0.000	0.015	0.002	0.033	0.021	0.007
FeO	25.275	27.832	28.169	27.542	32.796	32.390	32.729	32.797
MnO	2.392	2.708	2.465	2.635	1.092	0.987	0.826	0.833
MgO	2.225	2.613	2.780	3.077	0.756	0.715	0.771	0.758
CaO	5.928	6.599	6.634	6.116	7.241	7.338	7.603	7.704
Total	100.10	97.03	96.64	97.11	98.60	98.08	99.45	99.23
Y ₂ O ₃	0.059	0.002	0.000	0.057	0.162	0.107	0.005	0.029
TSi	3.669	3.021	2.978	3.004	2.991	2.981	2.978	2.973
TAI	0.000	0.000	0.022	0.000	0.009	0.019	0.022	0.027
SumT	3.669	3.021	3.000	3.004	3.000	3.000	3.000	3.000
Al ^{VI}	1.715	1.985	1.958	2.015	1.949	1.948	1.958	1.937
Fe ³	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.001	0.000	0.003	0.001	0.002	0.010	0.008	0.007
Cr	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000
SumA	1.715	1.987	1.961	2.017	1.952	1.960	1.967	1.945
Fe ²	1.682	1.903	1.940	1.885	2.240	2.235	2.221	2.233
Mg	0.265	0.320	0.342	0.375	0.093	0.088	0.093	0.092
Mn	0.162	0.188	0.172	0.182	0.076	0.069	0.057	0.057
Ca	0.507	0.581	0.586	0.536	0.639	0.649	0.661	0.672
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
SumB	2.616	2.993	3.039	2.979	3.048	3.040	3.033	3.055
SumCat	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
O	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
Alm	64.311	63.598	63.826	63.294	73.499	73.509	73.241	73.104
And	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Gross	19.380	19.310	19.274	17.939	20.951	21.222	21.740	21.980
Pyrope	10.123	10.694	11.238	12.592	3.044	2.892	3.077	3.012
Spess	6.183	6.297	5.662	6.126	2.499	2.268	1.873	1.881

Uvaro	0.004	0.101	0.000	0.048	0.007	0.110	0.068	0.023
XCagnt	0.194	0.194	0.193	0.180	0.210	0.213	0.218	0.220
XFegnt	0.643	0.636	0.638	0.633	0.725	0.735	0.733	0.731
XMggnt	0.101	0.107	0.113	0.126	0.031	0.029	0.031	0.030
Fe/Mggnt	6.347	5.947	5.673	5.027	24.086	25.398	23.882	0.000

Tabela 06 – Química Mineral dos Óxidos (Ilmenitas).

Amostras	CIPA	CIPA	CIPA	CIPA	CIP2B	CIP2B	MMAG52	MMAG52	MMAG52	MMAG52
Rocha	ENDERBITO				CHARNOCKITO		ENDERBITO			
Análise	c1ilm1	c1ilm2	c2ilm	c2ilm	c1ilm	c1ilm2	c2	c2	c2	c2
Localização	centr	centr	bor	centr	centr	centr	P1	P2	P3	P4
Mineral	Ilmenita	Ilmenita	Ilmenita	Ilmenita	Ilmenita	Ilmenita	Ilmenita	Ilmenita	Ilmenita	Ilmenita
SiO ₂	0.081	0.065	0.044	0.056	0.081	0.065	0.000	0.030	0.010	0.045
TiO ₂	50.133	49.004	48.894	48.275	50.133	49.004	49.638	49.400	47.955	49.457
Al ₂ O ₃	0.016	0.014	0.000	0.000	0.016	0.014	0.014	0.055	0.054	0.028
FeO	48.260	48.699	48.512	47.234	48.260	48.699	46.378	48.129	46.691	46.180
Cr ₂ O ₃	0.005	0.022	0.041	0.000	0.005	0.022	0.046	0.043	0.000	0.000
MnO	0.542	0.380	0.409	0.302	0.542	0.380	0.342	0.382	0.361	0.390
MgO	0.108	0.109	0.278	0.283	0.108	0.109	1.148	1.122	1.131	1.171
CaO	0.19	0.027	0.043	0.037	0.019	0.027	0.020	0.038	0.063	0.033
Total	99.24	98.49	98.34	96.26	99.24	98.49	97.59	99.31	96.28	97.35
NiO	0.000	0.034	0.044	0.024	0.000	0.034	0.001	0.018	0.008	0.006
Nb ₂ O ₃	0.080	0.136	0.077	0.044	0.080	0.136	0.005	0.094	0.002	0.036
Si	0.007	0.006	0.004	0.005	0.007	0.006	0.000	0.003	0.001	0.004
Al	0.002	0.001	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.006	0.006	0.003
Ti	3.234	3.201	3.195	3.214	3.234	3.201	3.231	3.181	3.182	3.227
Fe ²	3.461	3.536	3.525	3.496	3.461	3.536	3.356	3.445	3.444	3.350
Fe ³	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.002	0.003	0.003	0.000	0.000
Mn	0.039	0.028	0.030	0.023	0.039	0.028	0.025	0.028	0.027	0.029
Mg	0.014	0.014	0.036	0.037	0.014	0.014	0.148	0.143	0.149	0.151
Ca	0.002	0.003	0.004	0.004	0.002	0.003	0.002	0.003	0.006	0.003
Cations	6.759	6.791	6.797	6.779	6.759	6.791	6.766	6.812	6.815	6.767
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabela 07 – Química Mineral da Titanita.

Amostras	MMAG67B	MMAG67B
Rocha	GRANODIORITO	
Análise	c1	c1
Localização	P1	P2
Mineral	Titanita	Titanita
SiO ₂	29.775	30.122
TiO ₂	34.378	35.190
Al ₂ O ₃	2.810	2.695
FeO	0.718	0.849
MnO	0.037	0.016
MgO	0.023	0.024
CaO	27.262	27.415
Na ₂ O	0.000	0.000
K ₂ O	0.013	0.000
Total	95.43	96.71
BaO	0.023	0.158
Nb ₂ O ₅	0.262	0.174
La ₂ O ₃	0.070	0.000
Ce ₂ O ₃	0.056	0.068
F	0.469	0.733
Si	2.032	2.030
Al	0.226	0.214
Ti	1.765	1.784
Mg	0.002	0.002
Fe ²	0.041	0.048
Mn	0.002	0.001
Na	0.000	0.000
K	0.001	0.000
Sum_cats	6.073	6.069
O	10.00	10.00
Ba	0.000	0.000
Nb	0.010	0.010
La	0.000	0.000
Ce	0.000	0.000

c1 – Centro do mineral

P1 - Ponto

ANEXOS II

↪ **Mapa de Pontos**

↪ **Mapa Geológico**

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS E TOPOGRÁFICAS

	ESTRADA		LINEAÇÃO DE ESTIRAMENTO MINERAL
	LAGOS E RIACHOS		CONTATO INFERIDO
	FOLIAÇÃO c/ MERGULHO INDICADO		DIQUES
	DIREÇÃO DE FOLIAÇÃO		PERFIL A - B

COLUNA ESTRATIGRÁFICA

CENOZOICA	QUATERNÁRIO		COBERTURAS COLÚVIO-ALUVIONAIS
		DIQUES (SIENOGRANITO) GRANODIORITO c/ GRANADA GRANODIORITO MONZOGRANITO	
PALEO-PROTEROZOICO			ENDERBITO
			CHARNOCKITO
			BIOTITA GNAISSE COM HORNBLENDA

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA	MAPA DE LOCALIZAÇÃO	ESCALA GRÁFICA
<p>- DECLIN. MAGNÉTICA: 22°00'00" W</p>		

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
MESTRADO EM GEOLOGIA

PETROGRAFIA, QUÍMICA MINERAL, DATAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO
TECNOLÓGICA DOS GRANULITOS DA REGIÃO DE MACACO – ITAPIOCA – CE

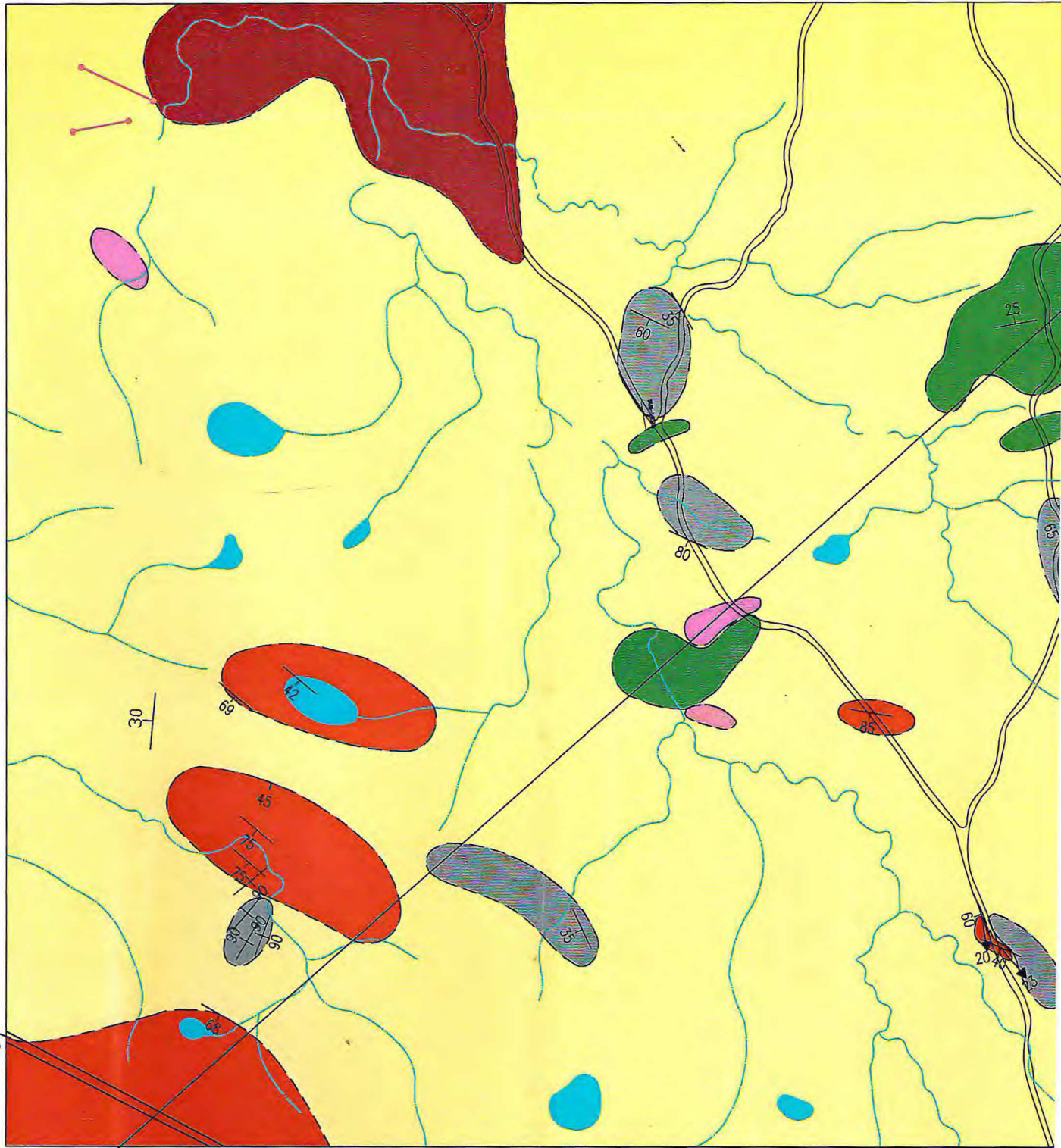
ORIENTADOR PROF. DR. JOSÉ DE ARAÚJO NOGUEIRA NETO	ALUNA MAGNÓLIA BARBOSA DO NASCIMENTO
--	---

MAPA GEOLÓGICO

Escala: 1:50000	Data: FEV/2006	ANEXO – 02
-----------------	----------------	------------

4200000

6300000

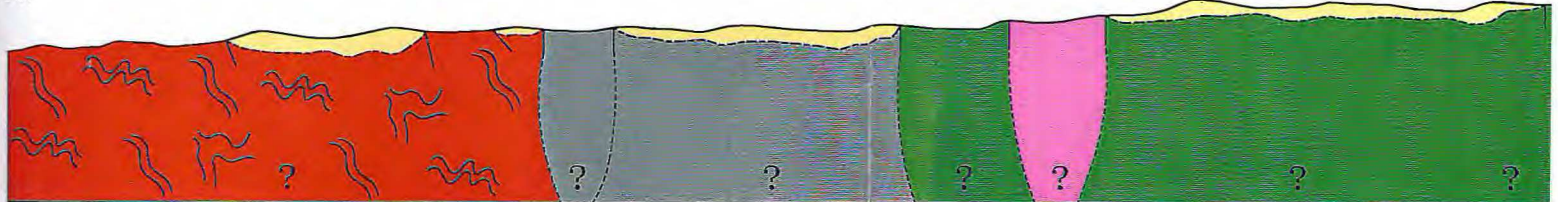


6200000

4200000




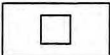
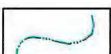


A

SW



ESCALAS - V - 1:1000
H - 1:50.000

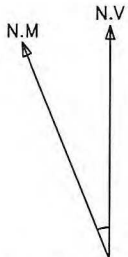


CONVENÇÕES TOPOGRÁFICAS

	RODOVIA		CAMINHO
	ESTRADA		EDIFICAÇÕES
	DRENAGEM		CURVA DE NÍVEL
	LAGOAS		

FONTE: Digitalizado a partir da Carta Topográfica Itapipoca (Folha SA.24 - Y-D-II).

CONVENÇÕES LITOLÓGICAS

	COBERTURAS COLÚVIO-ALUVIONAIS		GRANODIORITO
	DIQUES (SIENOGRANITO)		ENDERBITITO
	GRANODIORITO C/ GRANADAS		CHARNOCKITO
	MONZOGRANITO		BIOTITA GNAISSE C/ HORNBLENDA

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA	MAPA DE LOCALIZAÇÃO	ESCALA GRÁFICA
 <p>- DECLIN. MAGNÉTICA: 22° 00' 00" W</p>		

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
MESTRADO EM GEOLOGIA

PETROGRAFIA, QUÍMICA MINERAL, DATAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

TECNOLÓGICA DOS GRANULITOS DA REGIÃO DE MACACO - ITAPIPOCA - CE

ORIENTADOR PROF. DR. JOSÉ DE ARAÚJO NOGUEIRA NETO	ALUNA MAGNÓLIA BARBOSA DO NASCIMENTO
--	---

MAPA DE PONTOS

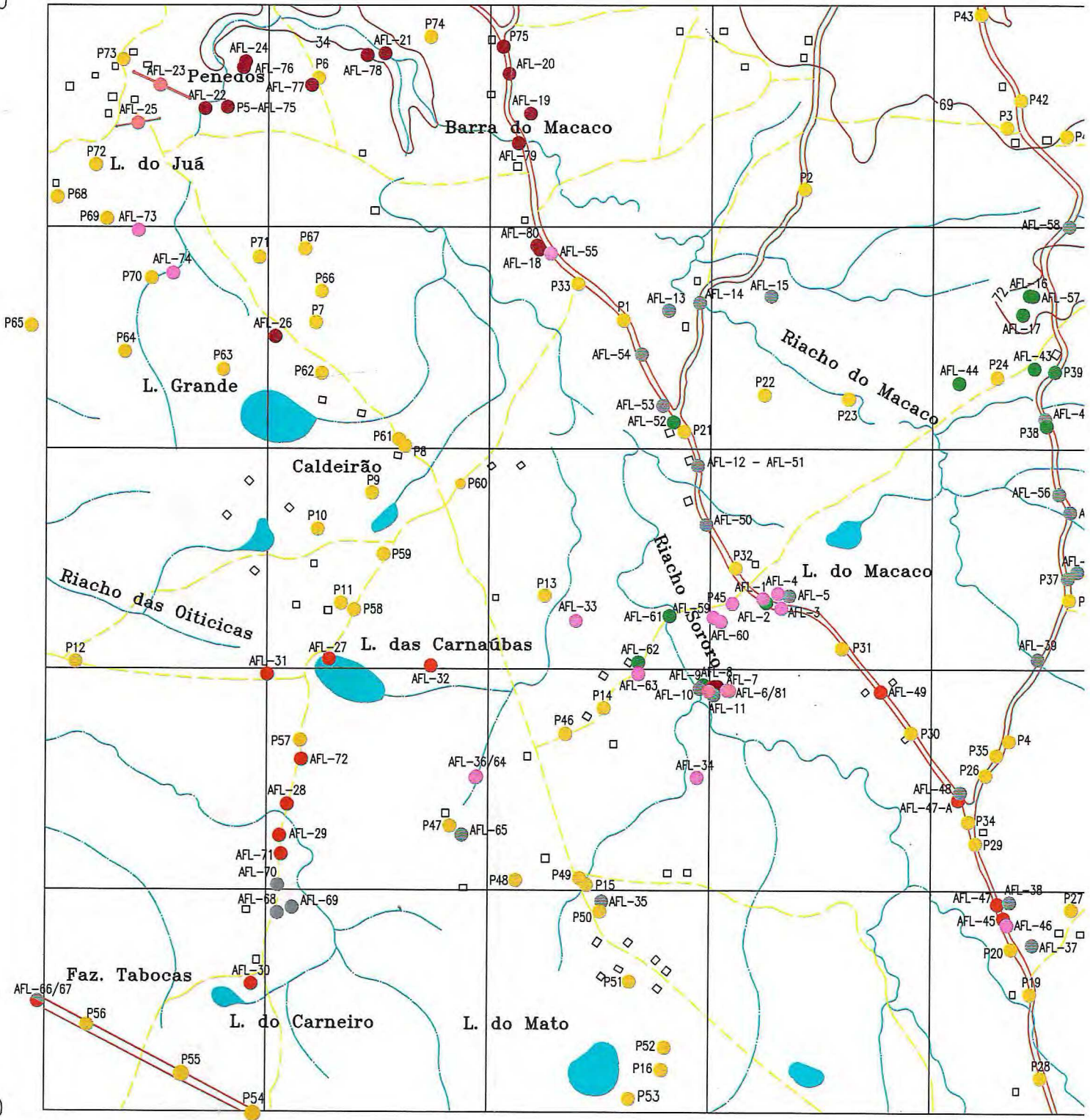
Escala: 1:50000

Data: FEV/2006

ANEXO - 02

4200000

300000



00000

4200000