

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
Campus de Rio Claro

**GEOLOGIA, PETROGRAFIA, GEOQUÍMICA,
COMPORTAMENTO FÍSICO-MECÂNICO E ALTERABILIDADE
DAS ROCHAS ORNAMENTAIS DO STOCK GRANÍTICO SERRA
DO BARRIGA, SOBRAL (CE)**

IRANI CLEZAR MATTOS

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Artur
Co-Orientador: José de Araújo Nogueira Neto

Tese de Doutorado elaborada junto ao
Programa de Pós Graduação em Geologia
Regional – Área de Concentração em
Geologia Regional para obtenção do título
de Doutor em Geologia Regional.

Rio Claro (SP)
2005

552

M444g

Mattos, Irani Clezar

Geologia, petrografia, geoquímica, comportamento físico-mecânico e alterabilidade das rochas ornamentais do stock granítico Serra do Barriga, Sobral (CE) / Irani Clezar Mattos.

– Rio Claro : [s.n.], 2005

260 f. : il., gráfs., tabs., fots., mapas

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Antonio Carlos Artur

Co-orientador: José de Araújo Nogueira Neto

1. Granito ornamental. 2. Caracterização tecnológica.
3. Ataque químico. 4. Petrografia I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Antonio Carlos Artur (Orientador)
UNESP – IGCE

Profa. Dra. Tamar Milca Bortolozzo Galembeck (Examinadora)
UNESP - IGCE

Prof. Dr. Antenor Braga Paraguassú (Examinador)
USP - Escola de Engenharia de São Carlos -

Prof. Dr. Eleno de Paula Rodrigues (Examinador)
SENAI/SP

Profa. Dra. Maria de Fátima Bessa Torquato (Examinadora)
NUTEC – Fortaleza/CE

Irani Clezar Mattos
- Aluna -

Resultado:

Aprovada - menção: "distinção com louvor"

Rio Claro, 16 de Dezembro de 2005

Em pedra foram representados os primeiros deuses animistas.
Também em pedra foram inscritas as leis cristãs.
Considerada o receptáculo da força, o imaginário da pedra ainda está associado ao conhecimento, à estabilidade, ao equilíbrio e, quando não talhada, à liberdade.
O homem lida e transforma pedra desde os tempos primevos.
Como qualquer atividade humana, trabalhar com pedras nos faz embrenhar por um mundo rizomático, labiríntico, com fluxos e linhas de uma cartografia artística, física, moral e sentimental.
(autor desconhecido)

Dedico este trabalho à minha mãe, *Nair Eponina Clezar*,
aos meus irmãos Isa (*in memoriam*), Jorge, Inês e Joanês,
sobrinhas e sobrinhos e
ao meu marido *Eduardo Bongiolo Zaniboni*
por sempre acreditarem em mim.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio à Pesquisa) pelo apoio financeiro dado em diferentes etapas da pesquisa, viabilizando a realização deste trabalho.

Ao SENAI na pessoa do Diretor Regional Francisco das Chagas Magalhães, pelo apoio e incentivo e ao Gerente do CETAE Sebastião Feitosa Filho, pela compreensão e liberação nos momentos necessários ao desenvolvimento da pesquisa.

À pós-graduação do IGCE/UNESP, por toda infra-estrutura oferecida e disponível, tão importante na realização das atividades.

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Antonio Carlos Artur, pela inesgotável paciência e preciosa dedicação ao longo de todas as etapas de elaboração da tese.

Ao amigo e co-orientador, Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto, pelas sugestões, correções, apoio e incentivo nas horas essenciais (e de desespero).

Aos Profs. do IGCE/UNESP Tamar Galembeck, Antenor Zanardo e Margarita Moreno pelas importantes contribuições, discussões e sugestões.

Ao querido amigo Prof. Dr. Michel Arthaud pelo incentivo e ajuda nas correções.

Aos Profs. da UFC Maria da Glória, Welington, Tereza e Afonso, pelos auxílios.

Ao NUTEC/ex-DITEM na pessoa da geóloga Dra. Maria de Fátima Bessa, pelas sugestões, ao Prof. Dr. Joaquim Torquato, ao geólogo Hélio Muniz Fernandes, à geóloga Maria Angélica Lima e ao Lobinho, pelo importante apoio na realização de alguns ensaios.

À CPRM, na pessoa do geólogo Antônio Maurílio Vasconcelos pelo acesso, pela atenção e presteza na solução de dúvidas, da geóloga Iaponira pelo apoio na análise das lâminas, e do Geólogo Jaime pela ajuda nas pesquisas ao telefone.

Ao DNPM, na pessoa do chefe da Seção de Geologia e Produção Mineral o geólogo Fernando Roberto, pelo apoio nas correções e fornecimento de informações.

Aos funcionários do IGCE/DPM Júnior, Vladimir e em especial ao Adilson, pela indispensável colaboração na preparação de amostras e realização dos ensaios.

Ao colega Wilhelm Malheiros Sauerbronn, pela disponibilidade das informações.

Aos amigos e colegas geólogos José Ferreira, Fernando Roberto, Fernando Castelo Branco e ao Prof. Dr. Jader Onofre Morais, pelo grande apoio e incentivo.

Aos amigos, companheiros e colegas de pós-graduação nas rochas ornamentais Claudia Moura, Fabiano Cabanas Navarro, Maria Angélica Lima, Ana Paula Meyer e Anna Paula Costa, pelo valioso apoio e atenção nas discussões, sugestões e incentivo.

Aos amigos/companheiros de caminhada na pós que amenizaram os momentos difíceis: Johnson, Ediléa (pelas sopinhas), Duda (pelos cafés), Ana Cândida (pelo abrigo), Mirna (pelas sugestões), Julião, Suzana, Mayra, Kelusodi, Márcia, Liliane, Maurício, Cesinha, Luzia, Alessandra, Paulinho, Jaque, Neidinha, Luquinha, Iramaia, Jaburu.

Aos colegas do SENAI/CETAE Michelle, Mônica, Roberto, Kassandra e Claudemirton, pelo importante apoio e incentivo.

Aos amigos Eduardo, Almir e Gerson, pelo indispensável apoio com os mapas.

Ao meu amado Edu, pela dedicação, paciência, incentivo, colaboração, apoio, compreensão e companheirismo e também pelos vários finais de semana enclausurados.

Aos amigos Edê, Glorinha, Mana, Denise, Gerson, Moacir, Humbertinho, Rodrigo, Rinaldo, Sandramara, Geremias, Michel, Aline, Rômulo, Castelo, Dualo, Luiz, Franciana, Babalu, Cláudia, etc... pela força e agradável convivência.

À minha querida e inestimável família, pelo importante apoio e pela compreensão quando eu estava tão perto e ao mesmo tempo tão longe.

SUMÁRIO

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE QUADROS	vii
ÍNDICE DE PRANCHAS.....	ix
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA	9
3. PANORAMA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS.....	23
4. O <i>STOCK</i> GRANÍTICO SERRA DO BARRIGA	35
5. ASPECTOS DA LAVRA DO GRANITO SERRA DO BARRIGA	57
6. ANÁLISE PETROGRÁFICA.....	68
7. GEOQUÍMICA DO GRANITO SERRA DO BARRIGA	107
8. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS	135
9. RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO	168
10. CONCLUSÕES.....	208
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	213
ANEXOS - ANÁLISES DE MICROSSONDA.....	219
ANEXOS - ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	237

ÍNDICE

PÁG

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E DIRETRIZES.....	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO.....	4
1.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	6
1.5 ASPECTOS FIOGRÁFICOS.....	7

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA	9
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FOTOINTERPRETAÇÃO	10
2.2 TRABALHOS DE CAMPO E COLETA DE AMOSTRAS.....	10
2.3 ANÁLISES PETROGRÁFICAS.....	11
2.4 ESTUDOS GEOQUÍMICOS.....	13
2.5 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	15
2.6 ANÁLISE DE ALTERABILIDADE.....	20

CAPÍTULO 3

PANORAMA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS.....	23
3.1 INTRODUÇÃO.....	23
3.2 ROCHAS ORNAMENTAIS NO MUNDO.....	23
3.3 ROCHAS ORNAMENTAIS NO BRASIL.....	24
3.3.1 TIPOS DE APLICAÇÃO DAS ROCHAS.....	25
3.3.2 FORMA DE COMERCIALIZAÇÃO DAS ROCHAS.....	26
3.3.3 EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS.....	26
3.4 ROCHAS ORNAMENTAIS NO CEARÁ.....	28
3.4.1 RESERVAS E PRODUÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO CEARÁ.....	29
3.4.2 EXTRAÇÃO DE ROCHAS DO CEARÁ.....	30
3.4.3 BENEFICIAMENTO DE ROCHAS NO CEARÁ.....	31
3.4.4 EXPORTAÇÕES CEARENSES.....	32
3.4.5 RECOMENDAÇÕES PARA O SETOR DE EXTRAÇÃO NO CEARÁ.....	33
3.5 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA NO SETOR.....	33
3.5.1 IMPORTÂNCIA DA QUALIFICAÇÃO TECNOLÓGICA NO SETOR.....	34

CAPÍTULO 4

O STOCK GRANÍTICO SERRA DO BARRIGA - GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL.....	35
4.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	35
4.1.1 PRINCIPAIS DOMÍNIOS ESTRUTURAIS DO PRÉ-CAMBRIANO NO CEARÁ.....	35
4.1.2 DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL.....	35
4.1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DAS UNIDADES NA LITOESTRATIGRAFIA.....	39
4.2 GEOLOGIA DO STOCK GRANÍTICO SERRA DO BARRIGA.....	43
4.2.1 TRABALHOS ANTERIORES.....	43

4.2.2	ARQUITETURA DO GRANITO.....	44
4.2.3	GEOCRONOLOGIA	50
4.2.4	GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	53

CAPÍTULO 5

ASPECTOS DA LAVRA DO GRANITO SERRA DO BARRIGA		57
5.1	BREVE HISTÓRICO DA EXTRAÇÃO NA ÁREA ESTUDADA.....	57
5.2	ÁREAS REQUERIDAS – MATAÇÕES E MACIÇOS.....	58
5.3	PRODUÇÃO DE ROCHAS NO STOCK GRANÍTICO.....	61
5.4	INFLUÊNCIA DO FRATURAMENTO NA EXTRAÇÃO.....	62
5.5	METODOLOGIA DE EXTRAÇÃO DAS ROCHAS.....	63
5.5.1	METODOLOGIA UTILIZADA NA LAVRA DE MACIÇO.....	63
5.5.2	METODOLOGIA EMPREGADA NA LAVRA POR MATAÇÕES.....	65

CAPÍTULO 6

ANÁLISE PETROGRÁFICA.....		68
6.1	INTRODUÇÃO.....	68
6.2	GRANITO ROSA IRACEMA - SIENOGANITO INEQUIGRANULAR GROSSO ROSA.....	72
6.3	GRANITO ROSA OLINDA - BIOTITA MONZOGRANITO PORFIRÍTICO.....	80
6.4	GRANITO BRANCO SAVANA - SIENOGANITO INEQUIGRANULAR MÉDIO A GROSSO.....	89
6.5	GRANITO BRANCO CRISTAL QUARTZO - SIENOGANITO INEQUIGRANULAR GROSSO.....	96
6.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	105

CAPÍTULO 7

GEOQUÍMICA DO GRANITO SERRA DO BARRIGA		107
7.1	LITOGEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL	107
7.1.1	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	111
7.1.1.1	DIAGRAMAS DE HARKER	111
7.1.1.2	RELAÇÃO ENTRE DIAGRAMA DE SHAND E MODA.....	115
7.1.1.3	CARACTERIZAÇÃO SERIAL.....	116
7.1.1.4	ELEMENTOS TERRAS RARAS.....	118
7.1.1.5	AMBIENTE GEOTECTÔNICO.....	120
7.2	QUÍMICA MINERAL.....	122
7.2.1	INTRODUÇÃO	122
7.2.2	SIENOGANITO INEQUIGRANULAR GROSSO -ROSA IRACEMA.....	122
7.2.3	MONZOGRANITO MEGAPORFIRÍTICO - ROSA OLINDA	124
7.2.4	SIENOGANITO INEQUIGRANULAR MÉDIO-GROSSO - BRANCO SAVANA.....	126
7.2.5	SIENOGANITO INEQUIGRANULAR GROSSO -BRANCO CRISTAL QUARTZO.....	127
7.3	TRANSFORMAÇÕES TARDI A PÓS-MAGMÁTICAS.....	131
7.3.1	EXSOLUÇÃO E SUBSTITUIÇÃO NA FORMAÇÃO DAS MIRMEQUITAS.....	131
7.3.2	TRANSFORMAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO POR PROCESSOS DE POTASSIFICAÇÃO.....	132

CAPÍTULO 8

PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....		135
8.1	INTRODUÇÃO.....	135

8.2	ÍNDICES FÍSICOS.....	139
8.3	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL SIMPLES.....	143
8.4	RESISTÊNCIA À FLEXÃO.....	147
8.4.1	MÉTODO DOS 3 PONTOS.....	147
8.4.2	MÉTODO DOS 4 PONTOS.....	149
8.5	DESGASTE ABRASIVO AMSLER	152
8.6	RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO.....	155
8.7	COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR.....	157
8.8	VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRA- SÔNICAS.....	162
8.9	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	166

CAPÍTULO 9

	RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS..	168
9.1	INTRODUÇÃO	168
9.2	REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS E RESULTADOS OBTIDOS.....	170
9.3	DISCUSSÕES DOS RESULTADOS DO ATAQUE QUÍMICO	174
9.3.1	ATAQUE COM CLORETO DE AMÔNIA - NH_4Cl	174
9.3.2	ATAQUE COM HIPOCLORITO DE SÓDIO - NaClO	175
9.3.3	ATAQUE COM ÁCIDO CÍTRICO - $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$	176
9.3.4	RESISTÊNCIA AO ATAQUE COM ÁCIDO CLORÍDRICO – HCl	178
9.3.5	ATAQUE COM HIDRÓXIDO DE POTÁSSIO – KOH	183
9.4	CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA AO ATAQUE E PROPRIEDADES MINERALÓGICAS.....	200
9.5	CORRELAÇÃO ENTRE PERDA DE REAGENTE, POROSIDADE E MICROFISSURAMENTO	202
9.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	204

CAPÍTULO 10

	CONCLUSÕES.....	208
--	-----------------	-----

CAPÍTULO 11

	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	213
--	---------------------------------	-----

ANEXOS

	ANEXO 1 a 2: ANÁLISES DE MICROSSONDA: FELDSPATOS.....	219
	ANEXO 3 a 5: ANÁLISES DE MICROSSONDA: MICAS.....	228
	ANEXO 6: ANÁLISES DE MICROSSONDA: ANFIBÓLIO.....	236
	ANEXO 7:ENSAIOS TECNOLÓGICOS – ROSA IRACEMA.....	237
	ANEXO 8:ENSAIOS TECNOLÓGICOS – ROSA OLINDA.....	243
	ANEXO 9:ENSAIOS TECNOLÓGICOS – BRANCO SAVANA.....	249
	ANEXO 10:ENSAIOS TECNOLÓGICOS – BRANCO CRISTAL QUARTZO.....	255

ÍNDICE DE FIGURAS

PAG

Figura 1.1 - Mapas de localização da área de estudo.....	5
Figura 3.1- Principais países e respectivas exportações mundiais de rochas ornamentais.....	24
Figura 3.2 - Principais tipos de rochas ornamentais produzidos no Brasil.....	25
Figura 3.3 - Tipos de aplicações de rochas ornamentais no Brasil	26
Figura 3.4 - Principais produtos exportados pelo Brasil em 2004.....	28
Figura 3.5 - Evolução das exportações cearenses.....	32
Figura 4.1- Divisão dos domínios tectônicos do Pré-Cambriano no Estado do Ceará proposta por Arthaud <i>et al.</i> (1998). No retângulo, o enquadramento da área de estudo.....	36
Figura 4.2 - Mapa Geológico-Estrutural da área onde está inserido o Granito Serra do Barriga mostrando a estrutura circular do corpo granítico e suas rochas encaixantes. (ligeiramente Modificado de Cavalcante <i>et al.</i> , 2003). Escala Aproximada: 1: 300.000.....	38
Figura 4.3 - Mapa Geológico Simplificado do <i>stock</i> Granítico Serra do Barriga com suas principais variações faciológicas.....	49
Figura 4.4 - Gráfico de datação obtida pelo método U/Pb em Monazitas do granito Serra do Barriga. O gráfico mostra a reta concórdia interceptada pela reta com os valores obtidos de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, nesta intersecção é determinada a idade de $522 \pm 7,6$ Ma.....	52
Figura 4.5 - Gráfico de datação obtida pelo método U/Pb em Zircões do granito Serra do Barriga. O gráfico mostra a reta concórdia interceptada pela reta com os valores obtidos de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, nesta intersecção é determinada a idade de 532 ± 6 Ma. (Fetter, 1999).....	52
Figura 4.6 - Esquema de expansão volumétrica de corpos graníticos formando as juntas em resposta ao alívio de pressão litostática por meio de soerguimento e erosão. Fonte: Teixeira (2000).....	53
Figura 4.7 - Diagrama de roseta mostrando as duas famílias de fraturas principais desenvolvidas no granito da Serra do Barriga, a principal na direção NW e a de menor freqüência na direção ENE.....	54
Figura 5.1 - Mapa das áreas requeridas e posicionamento das frentes de lavra dos granitos explorados comercialmente no <i>stock</i> Granítico Serra do Barriga.....	60
Figura 6.1- Diagrama modal QAP. Nomeclatura e divisão dos campos segundo Streckeisen (1976).	69
Figura 6.2 - Diagrama $R_1 : R_2$ para a classificação, segundo De la Roche <i>et al</i> (1980)...	69
Figura 7.1 - Diagramas de variação de Harker para elementos maiores dos quatro fácies do granito Serra do Barriga.....	112
Figura 7.2 - Diagramas de variação de Harker para elementos traços dos quatro fácies do granito Serra do Barriga.	114

Figura 7.3 - Diagramas de alumina-saturação dos fácies graníticos da Serra do Barriga. (A) de SHAND, onde a linha diagonal representa o limite inferior do campo das rochas graníticas; (B) diagrama triangular $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}:\text{Al}_2\text{O}_3:\text{CaO}$ de Bonim (1982).....	115
Figura 7.4 - Diagramas discriminantes para os granitos do <i>stock</i> Serra do Barriga. A: TAS Álcalis vs. SiO_2 ; B: AFM de Irvine & Baragar (1971); C: SiO_2 vs. K_2O de Taylor <i>et al.</i> (1981) e D $\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}:\text{CaO}$ de Barker & Arth (1976).....	117
Figura 7.5 - Aranhogramas para os granitos Rosa Iracema e Rosa Olinda (A); e granitos Branco Savana e Branco Cristal Quartzo (B); Padrões de elementos terras raras para os granitos Rosa Iracema e Rosa Olinda (C) e Padrões de elementos terras raras para os granitos Branco Savana e Branco Cristal Quartzo(D). Granitos ornamentais do <i>stock</i> Serra do Barriga.....	119
Figura 7.6 - Diagramas discriminatórios de ambiente tectônico $\text{Y}+\text{Nb}$ vs. Rb (ppm) e Y vs. Nb (ppm) de Pearce <i>et al.</i> (1984).....	120
Figura 7.7 - Diagrama catiônico $\text{R}_1 - \text{R}_2$ de Batchelor & Bowden (1985). Amostras graníticas do <i>stock</i> Serra do Barriga.	121
Figuras 7.8 A e B - Diagrama ternário mostrando a composição dos plagioclásios e feldspatos alcalinos. Os plagioclásios são do tipo albita (Ab_{71-96}) enquanto os feldspatos alcalinos correspondem ao ortoclásio (Or_{91-98}).	128
Figura 7.9 - Diagrama de classificação das biotitas do Granito Rosa Iracema, Branco Cristal Quartzo e Branco Savana correspondendo a Annita na solução flogopita-annita-eastonita-siderofilita.....	129
Figuras 7.10 A e B - Diagrama de classificação das cloritas. Nos quatro tipos graníticos a clorita corresponde a Dafinita.....	129
Figura 7.11 - Diagrama de classificação dos anfibólios no Granito Rosa Iracema, correspondendo a Hornblenda Fe-Edenita, utilizando as razões $[\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}) \times \text{Tsj}]$	130
Figura 7.12 – Diagrama de $\text{Al-K-Fe}^{2+}+\text{Mg}$ para muscovitas dos Granitos Rosa Olinda, Branco Cristal Quartzo exibindo duas populações: muscovitas formadas em feldspatos (mais enriquecidas em K e Al) e muscovitas formadas em biotitas (mais enriquecidas em Fe).....	130
Figura 8.1- Valores de massa específica aparente seca e saturada dos Granitos do <i>stock</i> granítico Serra do Barriga correlacionados com o índice de coloração.....	140
Figura 8.2 - Valores de porosidade e absorção aparentes correlacionados com o índice de microfissuramento do <i>stock</i> granítico Serra do Barriga.....	141
Figura 8.3 - Valores médios de resistência à compressão uniaxial (em MPa) dos quatro tipos graníticos da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas.....	144
Figura 8.4 - Valores de resistência à flexão 3 pontos dos quatro tipos graníticos da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas.....	149
Figura 8.5 – Valores de resistência à flexão 4 pontos dos quatro tipos graníticos da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas correlacionados com velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas.....	150

Figura 8.6 - Valores de desgaste em milímetros nos quatro tipos graníticos sob condições secas e saturadas, associados ao teor de quartzo.....	153
Figura 8.7 - Valores de resistência ao impacto de corpo duro dos quatro tipos graníticos ornamentais da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas....	157
Figura 8.8 - Valores de dilatação térmica linear dos quatro tipos de granitos ornamentais da Serra do Barriga correlacionado com valores de velocidade de pulso ultra-sônico segundo direções perpendiculares e paralelas à corrida da rocha após o ensaio de dilatação.....	159
Figura 8.9 - Valores de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas antes e após o ensaio de dilatação térmica linear.....	161
Figura 8.10 - Valores de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas dos quatro tipos graníticos ornamentais da Serra do Barriga sob condição seca obtidas nas amostras submetidas aos ensaios de compressão uniaxial, flexão 3 pontos e flexão 4 pontos.....	164
Figura 8.11 - Valores de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas dos quatro tipos graníticos ornamentais da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas.	165
Figura 9.1 - Correlação da perda de brilho pelo ataque químico nos quatro tipos graníticos estudados.	173
Figura 9.2 - Difrátograma da fração argila em suspensão no ácido clorídrico após o ataque de 96 horas no granito Rosa Iracema. Os picos indicam a presença de: Anidrita (CaSO_4), Alunogenio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$) e Metavoltino ($\text{Na}_6\text{K}_2\text{Fe}_7(\text{SO}_4)_{12}\text{O}_2 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$).....	183
Figura 9.3 - Correlação das proporções mineralógicas com a média de perda de brilho nos quatro granitos. RI: Rosa Iracema, RO: Rosa Olinda, BS: Branco Savana e BCQ: Branco Cristal Quartzito.	201
Figura 9.4 - Correlação da porosidade, absorção, microfissuras com a perda de reagente medida após o ensaio de ataque químico nos quatro tipos graníticos. RI: Rosa Iracema, RO: Rosa Olinda, BS: Branco Savana e BCQ: Branco Cristal Quartzito.	203

ÍNDICE DE QUADROS

	PÁG.
Quadro 1.1- Coordenadas dos vértices que delimitam a área de estudo.....	4
Quadro 3.1 - Reservas aprovadas de Rochas Ornamentais no Ceará.....	30
Quadro 4.1 – Relação dos valores de U e Pb obtidos para o cálculo das idades do granito Serra do Barriga e Mucambo.....	51
Quadro 5.1 – Informações sobre as áreas requeridas dos granitos ornamentais da Serra do Barriga.....	59
Quadro 5.2 - Resumo da produção de cada tipo granítico e empresa mineradora.....	61
Quadro 6.1- Síntese das características petrográficas dos quatro tipos graníticos ornamentais do <i>Stock</i> Granítico Serra do Barriga.....	70
Quadro 7.1 - Resultados das análises químicas de elementos maiores (%), menores (%) e traços (ppm) de granitos ornamentais do <i>Stock</i> Granítico Serra do Barriga, Sobral-CE.	109
Quadro 7.2 - Resultados das análises químicas de rocha total dos quatro tipos graníticos calculados em valores normativos - CIPW.....	110
Quadro 7.3 - Elementos Terras Raras - ETR (em ppm) de rochas graníticas ornamentais do <i>stock</i> Serra do Barriga, CE.	118
Quadro 7.4 - Apresentação do grau de fracionamento de Elementos Terras Raras (ETR), Elementos Terras Raras Leves (ETRL) e Elementos Terras Raras Pesados (ETRP), além de valores de Anomalia de Eu (Eu/Eu*) para os quatro tipos graníticos do <i>stock</i> Serra do Barriga.....	119
Quadro 8.1 - Resultados dos ensaios publicados no Catálogo de Rochas Ornamentais do Ceará (SECITECE, 2002) dos granitos ornamentais do <i>stock</i> Serra do Barriga; Resultados do granito Rosa Iracema provenientes de Figueiredo <i>et al</i> (2001) e valores limítrofes especificados pela ASTM (1992) C615-92 (Norma para granitos ornamentais) e sugeridos por Frazão&Farjallat (1995).....	136
Quadro 8.2 - Síntese dos resultados dos ensaios tecnológicos em amostras secas e saturadas dos quatro tipos graníticos do <i>stock</i> granítico Serra do Barriga (valores médios).....	138
Quadro 8.3 - Valores médios de massa específica, porosidade, absorção, índice de coloração e microfissuramento dos quatro tipos graníticos estudados.....	139
Quadro 8.4 - Valores médios de resistência à compressão uniaxial, velocidade de pulso ultra-sônico e índice de enfraquecimento hidráulico fornecidos pelos granitos estudados.....	144
Quadro 8.5 - Valores médios de resistência à flexão a 3 pontos, velocidade de pulso ultra-sônico e índice de enfraquecimento hidráulico.....	148

Quadro 8.6 - Valores médios de resistência à flexão a 4 pontos, velocidade de pulso ultra-sônico e índice de enfraquecimento hidráulico.....	150
Quadro 8.7 - Valores médios de resistência ao desgaste abrasivo sob condições secas e saturadas e a mineralogia dos tipos graníticos estudados.....	152
Quadro 8.8 - Valores médios de dilatação térmica linear e velocidade de pulso ultra-sônico paralelo e perpendicular à corrida dos granitos ornamentais da Serra do Barriga.....	159
Quadro 8.9 - Velocidades médias de propagação de ondas ultra-sônicas (Vp) medidas nas amostras submetidas aos ensaios de resistência à compressão uniaxial, flexão 3 pontos, flexão 4 pontos.....	163
Quadro 9.1 - Classes de reagentes, fórmula química, produtos que contém os reagentes, concentrações e tempo de ataque do ensaio de alterabilidade, segundo a norma NBR 13818 anexo H (ABNT, 1997).	169
Quadro 9.2 - Média do brilho das placas polidas dos granitos ornamentais do stock Serra do Barriga <i>antes</i> do ataque químico.....	171
Quadro 9.3 - Medida de brilho antes e após o ataque químico e correspondentes porcentagens de perda de brilho para os granitos estudados.....	173
Quadro 9.4 - Correlação das médias de brilho antes com a média de brilho após os ataques por tipos graníticos com a mineralogia dos quatro tipos graníticos.....	200
Quadro 9.5 - Perda de reagente após o ataque químico em ml e em porcentagem.....	202
Quadro 9.6 - Resultados de perda de reagente, porosidade, absorção e microfissuras dos quatro tipos graníticos.....	203
Quadro 9.7 - Resumo dos resultados obtidos no ataque químico para os quatro tipos graníticos.....	205

ÍNDICE DE PRANCHAS

PÁG.

PRANCHA 6.1– Fotografias de placas polidas das variedades dos granitos ornamentais do Stock Granítico Serra do Barriga. 1- Rosa Iracema; 2- Rosa Olinda; 3- Branco Savana e 4- Branco Cristal Quartzo. Escala em centímetros.....	71
PRANCHA 6.2 – Fotomicrografias do Granito Rosa Iracema.....	78
PRANCHA 6.2 a (continuação)– Fotomicrografias do Granito Rosa Iracema.....	79
PRANCHA 6.3 – Fotomicrografias do granito Rosa Olinda.....	87
PRANCHA 6.3a – (continuação) Fotomicrografias do granito Rosa Olinda.....	88
PRANCHA 6.4 – Fotomicrografias do Granito Branco Savana.....	94
PRANCHA 6.4a (continuação) – Fotomicrografias do Granito Branco Savana.....	95
PRANCHA 6.5 - Fotomicrografias do granito Branco Cristal Quartzo.....	102
PRANCHA 6.5a (continuação) - Fotomicrografias do granito Branco Cristal Quartzo.....	103
PRANCHA 6.5b (continuação) - Fotomicrografias do granito Branco Cristal Quartzo.....	104
PRANCHA 9.1 - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por cloreto de amônia - NH_4Cl nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda em milímetros.....	186
PRANCHA 9.2 - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por hipoclorito de sódio – NaClO nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda em milímetros.....	187
PRANCHA 9.3 - Granito Rosa Iracema: A - placa não atacada, B - ataque com ácido cítrico e C - ataque com ácido clorídrico, cujas reações nos minerais causam mudança na coloração, gerando aspecto desbotado na placa com manchas esbranquiçadas, no ataque com ácido cítrico as reações são menos intensas. Escala em cm.....	188
PRANCHA 9.4 - Granito Rosa Olinda: A - placa não atacada, B - ataque com ácido cítrico e C - ataque com ácido clorídrico, cujas reações nos minerais causam mudança na coloração, gerando aspecto desbotado com manchas esbranquiçadas e amareladas de oxidação na placa. Com ácido cítrico as reações são menos nítidas. Escala em cm	189
PRANCHA 9.5 - Granito Branco Savana: A - placa não atacada, B - ataque com ácido cítrico e C - ataque com ácido clorídrico, cujas reações nos minerais causam mudança na coloração, gerando aspecto desbotado com manchas esbranquiçadas. No ataque com ácido cítrico as reações são menos nítidas. Escala em cm.....	190

PRANCHA 9.6 - Granito Branco Cristal Quartzo: A - placa não atacada, B - ataque com ácido cítrico e C - ataque com ácido clorídrico, cujas reações nos minerais causam mudança na coloração, gerando aspecto desbotado, com ácido cítrico as reações são menos intensas. Escala em cm.....	191
PRANCHA 9.7 - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por ácido cítrico - $C_6H_8O_7$ nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda em milímetros.....	192
PRANCHA 9.8 - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por ácido clorídrico - HCl nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda em milímetros.....	193
PRANCHA 9.8b (continuação) - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por ácido clorídrico - HCl nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda das Fotografias em milímetros.....	194
PRANCHA 9.9 - Fotomicrografias do tipo granítico Rosa Iracema atacado por HCl.....	195
PRANCHA 9.10 - Fotomicrografias do tipo granítico Rosa Olinda atacado por HCl.....	196
PRANCHA 9.11 - Fotomicrografias do tipo granítico Branco Savana atacado por HCl.....	197
PRANCHA 9.12 - Fotomicrografias do tipo granítico Branco Cristal Quartzo atacado por HCl.....	198
PRANCHA 9.13 - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por Hidróxido de Potássio - KOH nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda em milímetros.....	199

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

	PÁG.
Fotografia 4.1: Geomorfologia da Serra do Barriga mostrando dois picos com cotas topográficas máximas de 662 m e 730 m cortados por dois sistemas principais de fraturas: 330° e 070°	55
Fotografia 4.2: Vista da encosta SW da Serra do Barriga mostrando a área mais plana com afloramentos de granito e mais à frente o relevo plano, típico dos gnaisses arrasados da região.....	55
Fotografias 4.3 A e B: Terrenos que contornam os picos da Serra do Barriga formados por (A) maciços alongados em forma de “charutos” e também por (B) matacões com as mais variadas dimensões e formas.....	55
Fotografias 4.4 A e B: Feições observadas na borda oeste do maciço (A) veios aplíticos, (B) xenólitos. ...	55
Fotografias 4.5: A e B - Feições observadas na borda leste do maciço. A: Veios posicionados sob estado plástico do granito e B: Pulsos magmáticos máficos de granulação fina englobando fenocristais de porção cumulática.....	56
Fotografia 4.6: Contato brusco do granito porfirítico rosa acinzentado (RO :Rosa Olinda) com o tipo rosa de granulação grossa (RI :Rosa Iracema), evidenciando outro pulso magmático.	56
Fotografias 5.1 Área de lavra com fraturamento sub-horizontal gerado a partir do alívio da pressão litostática, permitindo o desenvolvimento de um plano de levante natural da rocha.....	66
Fotografias 5.2: Fraturamento com direções ortogonais e espaçamento variável, desde poucos centímetros, nas bordas do maciço, até dez metros nas suas porções mais centrais.....	66
Fotografias 5.3 Desenvolvimento da lavra em matacões com baixo fraturamento que permite a divisão do bloco em pranchas, paralelas ao plano de melhor corte, visto que, em função da homogeneidade do granito, não existe um plano preferencial de corte.....	66
Fotografias 5.4 A: Volume de rejeito remanejado baixo, com disposição próxima da lavra B: Alturas variáveis e fácil acesso a uma possível frente inicial na lavra de maciço.....	67
Fotografias 5.5: A e B: Abertura da frente de lavra iniciada na forma de um canal (A). Volume de rejeito a ser remanejado alto e com disposição única, relacionado com os índices de recuperação da lavra (B).....	67
Fotografias 9.1: Medidas de brilho <i>antes</i> do ataque químico nas amostras. (a) Rosa Iracema, (b) Rosa Olinda, (c) Branco Savana e (d) Branco Cristal Quartzo.....	171
Fotografia 9.2: Visão geral das amostras durante o ensaio de ataque químico dos quatro tipos graníticos (dispostos em linhas) em contato com os cinco reagentes (fotografia obtida após 24 horas de ensaio).....	172
Fotografia 9.3: Granito Rosa Olinda com reações de oxidação no dorso da amostra.....	182
Fotografias 9.4 A e B: Fragmentos desagregados do Granito Rosa Iracema devido à ação do ácido clorídrico após 96 horas em contato com a superfície não polida da rocha. A : fragmentos de biotita e de microclínio. biot = biotita, mcl = microclínio. B : Fragmentos de muscovita, de plagioclásio, de microclínio e grão de minerais opacos oxidados (partículas menores) musc = muscovita, pl = plagioclásio.....	182

O *stock* granítico Serra do Barriga é pós-tectônico, polintrusivo, com $522,2 \pm 7.6$ Ma, apresenta tipos faciológicos de sienogranitos e monzogranitos inequigranulares a megaporfíricos diferenciados pela coloração, aspectos composicionais e texturais. Investigou-se os tipos ornamentais Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana e Branco Cristal Quartzo. Geoquimicamente são rochas peraluminosas, cálcio-alcálicas alto potássio formadas por magmas evoluídos, em ambiente orogênico pós-colisional. Transformações pós-magmáticas indicam origem por fracionamento de mesmo magma parental, acrescidos por pulso mais máfico (Rosa Olinda). A correlação entre índices físicos, resistência física e mecânica ocorre em função dos aspectos petrográficos. Os granitos rosas apresentam melhor desempenho para fachadas. Os parâmetros tecnológicos apresentados são superiores ou próximos aos valores limítrofes estabelecidos, qualificando-os como detentores de boa qualidade. No ataque químico os granitos reagem de forma semelhante, com variações cromáticas e alterações minerais sutis, indicando serem resistentes. Entretanto granitos rosas apresentam maior perda de brilho e corrosão mineral em contato com ácidos cítrico e clorídrico, reagentes mais destrutivos. Embora resistentes, deve-se evitar exposições prolongadas dos granitos estudados à substâncias contendo ácidos. Estes granitos são adequados para fins ornamentais, sendo os rosas (Iracema e Olinda) altamente resistentes, eficientes para aplicação em pisos e fachadas de ambientes interiores e exteriores, com cuidados na manutenção.

PALAVRAS CHAVE: Granitos Ornamentais; Geoquímica de Granitos; Caracterização Petrográfica e Tecnológica de Granitos; Ataque Químico em Granitos.

The polyintrusive Serra do Barriga granitic stock is post-tectonic, with a 522.2 ± 7.6 Ma age. It presents inequigranular to megaporphyritic syenogranitic and monzogranitic faciological types differing by color, composition, and textural aspects. In this research we investigated the following ornamental types: Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana, and Branco Cristal Quartzo. Geochemically these are peraluminous, high-potassium calcium-alkaline rocks formed from highly evolved magmas in a post-collisional orogenic environment. Late-magmatic transformations indicate an origin by fractioning of a unique parental magma, added by a mafic pulse (Rosa Olinda). The correlation between the physical indices and the physical and mechanic resistance were done as a function of the petrographical analyses. The technological parameters obtained are higher or close to the bordering values, which characterises these rocks as good quality ones. The granites react to the chemical attack by slight both chromatic variations and mineral alterations, indicating to be resistant rocks. The rose colored granites, however, show a greater alteration when in contact with the more destructive citric and chloridric acids. Although resistant, one sends regards to prevent expositions to acid-bearing substances. The granites of the Serra do Barriga stock are adequate for ornamental use, being the Rosa Iracema and Rosa Olinda types highly efficient for both floor pavement and wall covering, with care in the maintenance.

KEY WORDS: dimension and ornamental granites, granite geochemistry, petrographic and technological characterisation of granites; chemistry attack on granites.

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA E DIRETRIZES

As rochas ornamentais são materiais nobres, tipificadas por uma longa lista de características que valorizam seu uso, destacando-se: a durabilidade, a resistência mecânica, o efeito estético e a flexibilidade no uso, permitindo assim a obtenção de produtos de grande facilidade de conservação e durabilidade, com dimensões e formatos de variabilidade infinita.

Diante da crescente demanda na comercialização, exploração e utilização de rochas ornamentais tornam-se imprescindíveis o aperfeiçoamento do conhecimento, assim como o aprofundamento de pesquisas aplicadas, que utilizam ferramentas geológicas, como: petrografia, ensaios tecnológicos, geologia estrutural, geofísica, geoquímica, entre outras. O uso destas ferramentas permite solucionar e elucidar os mais diversos tipos de dificuldades associadas à extração e aplicação de rochas ornamentais.

As rochas ornamentais são submetidas às mais variadas solicitações, tanto naturais como artificiais, que provocam desgaste, perda de resistência mecânica, fissuramento, manchamento, eflorescência de sais, mudanças de coloração entre outras. A forma de evitar problemas com a utilização de rochas ornamentais, é a sua correta especificação diante dos usos pretendidos, respeitando-se as características tecnológicas dos materiais e sua adequação às condições ambientais. A caracterização das rochas deve ser realizada logo na etapa de pesquisa do jazimento e nessa fase já se deve ter conhecimento dos tipos de aplicações pretendidos, tendo como foco as rochas utilizadas em maior volume, os granitos.

Estas pesquisas, apesar de fazerem uso de conceitos e métodos acadêmicos, são de aplicações extremamente práticas no que se refere à variabilidade dos problemas que podem surgir ao longo do uso das rochas ornamentais. A grande maioria das dificuldades encontradas pelo setor pode ser solucionada com investigações utilizando-se de ferramentas que os pesquisadores desenvolvem nas universidades, institutos e outros órgãos ligados a geociências.

Existe uma crescente aplicação dos parâmetros petrográficos das rochas nos últimos anos, através dos seus aspectos composicionais, mineralógicos e estruturais, na qualificação das rochas ornamentais. As aplicações destes parâmetros vêm contribuindo significativamente para uma avaliação preliminar mais segura das características físico-

mecânicas das rochas e suas suscetibilidades em relação aos ambientes cada vez mais agressivos a que são submetidas.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta resultados de análises petrográficas e de caracterização tecnológica de granitos ornamentais do *stock* Serra do Barriga. Os estudos visam, ainda, a correlação entre as principais características mineralógicas, texturais e estruturais das rochas estudadas com os resultados dos seus ensaios físico-mecânicos e de alterabilidade, objetivando o melhor entendimento da influência dos parâmetros petrográficos no comportamento tecnológico dos materiais pétreos.

A heterogeneidade do *stock* granítico que compõe a Serra do Barriga apresenta diferentes fácies provavelmente pela mistura de magmas e diferenciação destes ao longo de seu resfriamento, sujeitos às mais variadas relações/trocas químicas. Neste trabalho pretende-se definir como a heterogeneidade de um mesmo corpo granítico (como o *stock* Serra do Barriga) pode influenciar nas propriedades tecnológicas e na alterabilidade. Levando-se em consideração também a geoquímica da rocha como um todo e a geoquímica dos minerais alteráveis, pretende-se realizar um estudo comparativo entre os fácies.

Utilizando as ferramentas geológicas, determina-se de que forma a variação faciológica e geoquímica de um mesmo corpo granítico poderão influenciar na sua resistência mecânica; física e química (alterabilidade). Desta forma obtêm-se parâmetros para avaliar o comportamento de uma jazida de granito, com mineralogia e faciologias semelhantes, em relação à sua caracterização física e mecânica e até de resistência ao ataque químico ao longo de sua exploração.

O *stock* granítico que compõe a Serra do Barriga apresenta-se em diferentes fácies, resultantes de mistura de magmas, alterações pós-magmáticas e hidrotermais, entre outras. Estas transformações conferiram variadas estruturas, texturas, cores e tonalidades ao granito. São tratados neste trabalho apenas os fácies explorados comercialmente, pois são estes os tipos que geram maior interesse e, conseqüentemente, maior aplicabilidade dos resultados da pesquisa para a indústria de Rochas Ornamentais.

Em cada fácies do *stock* granítico é analisada detalhadamente a sua petrografia e delimitadas as variações entre eles. São analisadas a geoquímica de rocha total, a geoquímica dos minerais alteráveis, além da caracterização físico-mecânica e resistência ao ataque químico de cada tipo de granito. Com estes resultados é possível avaliar o grau de influência da variação faciológica na aplicação destes granitos como rocha ornamental.

As rochas ornamentais com maior grau de resistência, tanto física quanto mecânica, são os granitos, quando comparados com calcários, mármore, ardósias, entre outros. Porém a grande maioria dos granitos até chegarem ao estágio que encontram-se atualmente sofreram diversos tipos de alterações químicas quer sejam deutéricas, hidrotermais ou pós-magmáticas. O presente estudo determina de que modo estas alterações químicas afetam a resistência físico-mecânica dos granitos. Deste modo o direcionamento deste trabalho está na determinação do grau de alteração a que os granitos da Serra do Barriga foram submetidos e como estas alterações interferem na resistência físico-mecânica destas rochas.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo básico do presente estudo refere-se à caracterização geológico-petrográfica, geoquímica e tecnológica dos granitos ornamentais explorados no *stock* granítico Serra do Barriga, situado no município de Sobral, Estado do Ceará.

Para se atingir os objetivos pretendidos foram adotadas as seguintes atividades com os enfoques correspondentes:

- Mapeamento geológico básico do corpo granítico visando o reconhecimento e distribuição das faciológicas graníticas de interesse como rochas ornamentais;
- Caracterização petrográfica dos granitos ornamentais sob os aspectos mineralógicos, texturais e estruturais, bem como na aplicação dos referidos aspectos petrográficos no melhor entendimento do comportamento físico-mecânico e de alterabilidade dos granitos estudados visando uma possível avaliação do desempenho destes materiais perante diferentes ambientes de utilização em obras civis;
- Estudos geoquímicos através de análises químicas em rocha total e de química mineral com o objetivo de complementar os estudos geológicos e petrográficos efetuados no sentido de fornecer uma melhor caracterização genética e evolutiva dos magmas geradores dos referidos granitos, e de auxiliar na interpretação dos resultados físico-mecânicos e de alterabilidade química exibidos pelos granitos;
- Caracterização física, físico-mecânica e de alterabilidade química a fim de avaliar os materiais em termos de seus atributos e especificações de uso e aplicação para fins ornamentais e de revestimento.

1.3 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE ESTUDO

A área do *stock* granítico Serra do Barriga está localizada na porção NNW do Estado do Ceará, posicionada 3 km à Norte do km 118 da BR 222 que liga a capital Fortaleza à cidade de Teresina. Possui extensão de aproximadamente 30 Km², forma arredondada cujo diâmetro aproximado é de 6 km. A área está enquadrada entre os limites do município de Irauçuba e de Forquilha nas localidades da Fazenda Palmeira e Fazenda Maurício, mas pertence ao município de Sobral.

O acesso à região é feito inicialmente pela BR – 222, partindo-se de Fortaleza e percorrendo-se aproximadamente 118 km, rumo ao município de Sobral (para Oeste), até as imediações do Distrito de Patos, e deste por mais 30 km para norte até chegar em estrada carroçável, existente nas imediações da Serra do Barriga (Figura 1.1). O acesso até o local das frentes de lavra é por via carroçável por mais 4 km, na porção NE da Serra, área de extração dos granitos Rosa Olinda e Rosa Iracema e por mais 6 km para NW, área de extração dos granitos Rosa Iracema, Branco Savana e Branco Cristal Quartzoz.

Os vértices da área são definidos pelas coordenadas geográficas do quadro abaixo (Quadro 1.1) e de acordo com a figura 1.1.

Quadro 1.1 – Coordenadas dos vértices que delimitam a área de estudo:

Vértices	Coordenadas			
	UTM		Latitude	Longitude
01 (NW)	372000	9592000	03° 41' 25,8"	40° 09' 09,3"
02 (NE)	380000	9592000	03° 41' 26,1"	40° 04' 50,0"
03 (SE)	380000	9584000	03° 45' 14,0"	40° 04' 50,4"
04 (SW)	372000	9584000	03° 45' 13,7"	40° 09' 09,7"

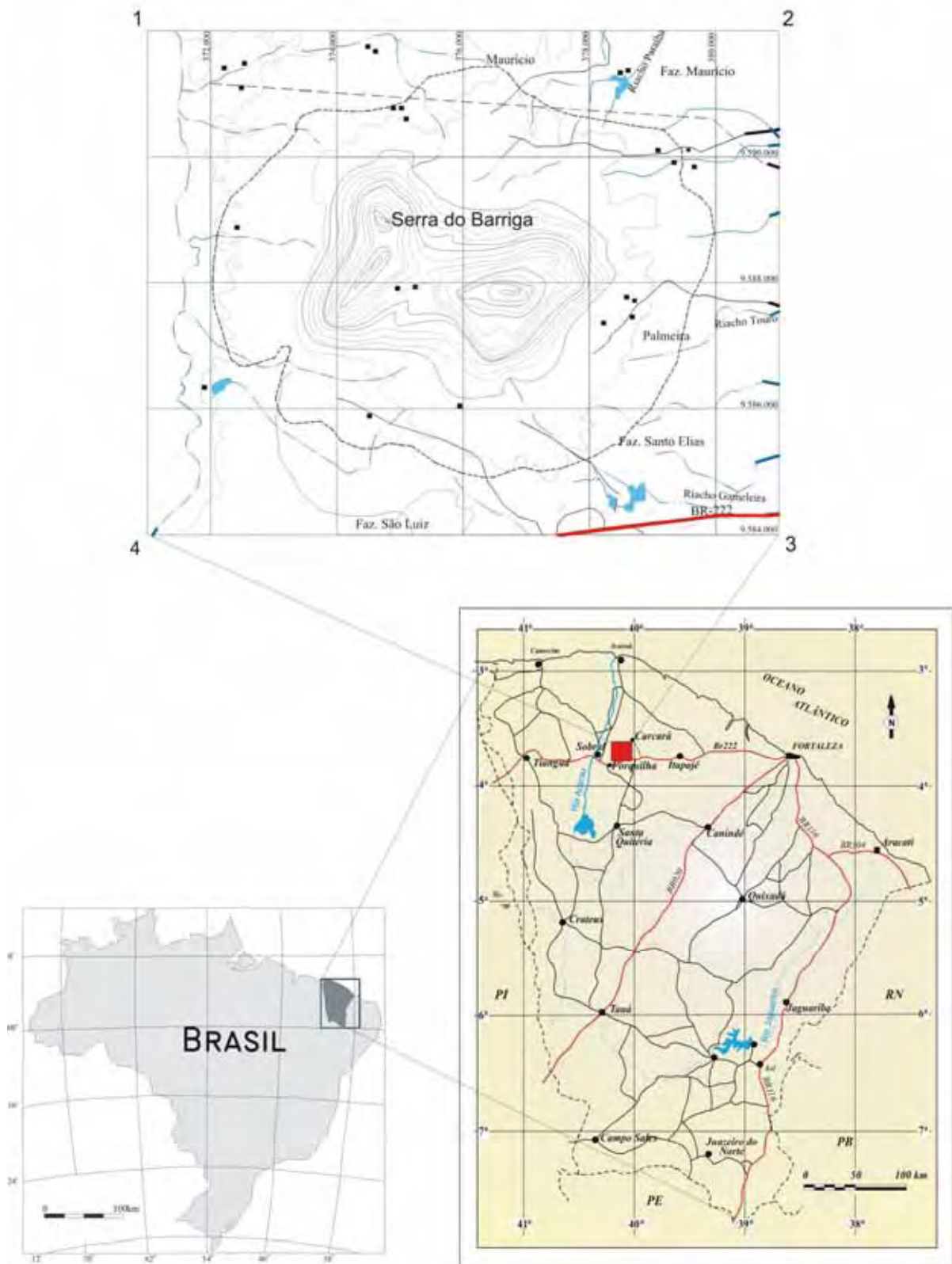


Figura 1.1- Mapas de localização da área de estudo

1.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

A morfologia que abrange a região da Serra do Barriga, tratada sinteticamente neste capítulo, compreende em maior parte as unidades morfológicas características dos domínios dos escudos e maciços antigos do Ceará. Neste sentido, os principais processos de aplainamento do relevo atuam em função do recuo das vertentes, que gera material detrítico por erosão e subsequente deposição nos níveis de base local, condicionada muitas vezes pelas estruturas regionais presentes na área. As diferentes litologias deverão apresentar comportamento diferenciado em resposta aos processos morfoclimáticos (Lima *et al.*, 2000).

Dentre os principais fatores controladores da denudação, pode-se atribuir especial importância ao regime térmico, sendo este o maior responsável pelo intemperismo físico, ocasionado por influência dos processos de dilatação térmica das rochas. Em estreita associação com estes processos encontra-se o regime pluviométrico, que pode ter sofrido mudanças ao longo do tempo geológico, condicionando todo o ciclo de erosão, transporte e sedimentação da região, com isso dá-se origem as atuais formas de relevo e as suas principais feições de dissecção (Lima *et al.*, 2000).

Fatores estruturais em conjunto com as diferenciações petrográficas e as diversificações locais de clima e de vegetação condicionaram a evolução paleogeográfica, de modo que o escudo cristalino e as bacias sedimentares foram individualizados através destas condições morfogenéticas. Deste modo é possível caracterizar na região de Sobral, duas unidades morfológicas: o “Maciço Residual”, representada pela Serra do Barriga, com extensões de até 8 km e altitude que atinge 730 m; e a “Depressão Sertaneja”, como superfície de aplainamento nas quais o trabalho erosivo transpõe as litologias existentes, assumindo formas deprimidas com superfícies erosivas planas e ou ligeiramente dissecadas (Capítulo 4 - Fotografias 4.1 e 4.2).

A conjugação dos fatores climáticos e estruturais, estes últimos marcados por falhas e sistemas de fraturas que recortam o corpo granítico da Serra do Barriga, geram uma auréola de matacões e blocos que bordejam o stock granítico, com uma maior frequência destes nas porções sul e norte. Estes matacões algumas vezes possuem forma de “charutos” alongados nas direções NE ou E-W.

1.5 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

- CLIMA

Na área em apreço, pode-se considerar o clima do tipo semi-árido, com regime pluviométrico característico do sertão cearense, apresentando duas estações bem definidas, uma de seca e outra de chuvas irregulares, conhecida regionalmente como inverno (janeiro a maio). Exibe média anual aproximada de 700 mm, e temperaturas típicas de clima semi-árido com 30°C variáveis ao longo do ano (FUNCEME, 1990 in Sauerbronn, 2003).

A porção compreendida pela Serra do Barriga enquadra-se no conjunto das “serras secas”, cujas características climáticas pouco diferem daquelas do sertão circundante, exceto pela temperatura mais amena.

- VEGETAÇÃO

Em decorrência do clima e da lixiviação dos solos, a vegetação característica é a da caatinga, com árvores de porte pequeno e médio, representada por xerófitas e vegetação arbustiva devido à carência dos nutrientes e excesso de alumínio e ferro no solo, desta maneira, estão mais fortemente concentradas nas proximidades das drenagens e circundando maciços e matacões.

- HIDROGRAFIA

O regime hidrológico dos cursos d'água na região está condicionado à irregularidade das chuvas, ao relevo do terreno e a outros aspectos geológicos. Por exemplo, nos locais onde a rede de drenagem possui maior densidade de ramificações, como nas encostas e vertentes, assumindo um padrão dendrítico, e desenvolvendo sulcos na superfície do terreno, que resultam nas feições onduladas onde os pontos de máxima depressão coincidem com os leitos das drenagens. (IPLANCE, 1994 in Sauerbronn, 2003)

A baixa densidade pluviométrica na época em que os riachos e açudes são recarregados, ou seja, durante as chuvas de inverno são responsáveis pelos períodos de seca na região. Estes secam quase totalmente nos períodos de estiagem, comprometendo o abastecimento das comunidades instaladas na região e conseqüentemente a produção agrícola e/ou agropecuária.

As drenagens locais principais são representadas pelos riachos: Touro, Gameleiro, Umburanas e rio Pajé, todos tributários do rio Aracatiaçu. O maior açude da região denomina-se Patos, embora a área do trabalho seja abastecida pelo açude Touro.

- SOLOS

Os baixos topográficos circunjascentes as serras da região de Sobral e Forquilha apresentam solos do tipo Luvisolo (minerais, não hidromórficos, com argilas em alta atividade e pouco profundo), enquanto que nas serras propriamente ditas, encontram-se solos Litólicos Eutróficos e Distróficos (IPLANCE, 1994 in Sauerbronn, 2003).

Os solos mais representativos na porção leste do corpo granítico são os de textura arenosa, de coloração esbranquiçada e granulometria média a grossa, resultante principalmente dos processos de intemperismo e erosão do maciço. A falta d'água, a pedregosidade e a susceptibilidade à erosão, restringem sua utilização agrícola, entretanto a presença de minerais facilmente alteráveis constitui fonte de nutrientes para as plantas.

Nas porções mais distais do maciço granítico são observados solos de coloração mais avermelhada, indicando uma maior quantidade de minerais de argila, provavelmente proveniente de processos pedogenéticos sofridos pelas rochas encaixantes.

- USO E OCUPAÇÃO

Quanto ao uso e ocupação da área de estudo, pode-se destacar a importância dos açudes da região, primordiais tanto para o consumo das pequenas comunidades existentes como para a manutenção das atividades agrícolas e pecuárias, apenas de subsistência.

As comunidades locais são representadas por agricultores em pequenos assentamentos e pelos moradores das propriedades rurais, onde são meeiros dos proprietários das terras; ambos sobrevivem do plantio de feijão, milho e mandioca, e da criação de aves e outros animais de pequeno porte (Sauerbronn, 2003).

O empreendimento mineiro envolvido na exploração de rochas ornamentais encontra-se em fase de instalação na porção leste e em desenvolvimento na porção oeste. Nestas jazidas, a mão-de-obra local também pode ser aproveitada de modo imediato, através de pequenos investimentos na capacitação de pessoal, proporcionando a melhoria na qualidade de vida das comunidades desta região (Sauerbronn, 2003).

CAPÍTULO 2. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA

Para o desenvolvimento eficiente desta pesquisa foi indispensável adotar a interação de atividades de campo, de laboratório e de gabinete. O presente estudo teve por finalidade a caracterização geológica, petrográfica, geoquímica e tecnológica das variedades graníticas do stock Serra do Barriga exploradas como rochas ornamentais. A investigação foi focada em quatro variedades graníticas exploradas no stock, que correspondem aos materiais conhecidos comercialmente como Branco Cristal Quartzo, Branco Savana, Rosa Iracema e Rosa Olinda.

A empresa IMARF explora os granitos Branco Savana, Branco Cristal Quartzo e Rosa Iracema, enquanto a MULTIGRAN explora os granitos Rosa Iracema e Rosa Olinda. (Capítulo 5 – Aspectos da Lavra dos Granitos).

A pesquisa desenvolvida envolveu as seguintes atividades básicas:

- Revisão bibliográfica e fotointerpretação geológica;
- Trabalhos de campo com coleta de amostras;
- Trabalhos de laboratório: análises petrográficas; análises geoquímicas em rocha total e mineral; ensaios de caracterização físico-mecânica e de alterabilidade das rochas exploradas como ornamentais e para revestimento;
- Análise dos dados, avaliação dos resultados, formulação das discussões e conclusões.

Buscou-se neste trabalho investigar, estudar e analisar as características físico-mecânicas e geoquímicas dos quatro tipos graníticos do referido *stock* e definir parâmetros de distinção para estas variações embasados nos dados petrográficos, mineralógicos e geoquímicos. Este estudo se constituiu através da comparação dos resultados de análises e ensaios obtidos entre os diferentes tipos graníticos explorados comercialmente. As variações da composição mineralógica, textural e geoquímica foram correlacionadas tanto com as respostas às solicitações físico-mecânicas dos ensaios de caracterização como as de ataque químico nos quatro granitos. Este estudo poderá contribuir na geração de padrões comparativos de investigação para *stocks* graníticos (com características semelhantes) explorados como rochas ornamentais.

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FOTOINTERPRETAÇÃO

Na revisão em busca de informações sobre o maciço granítico Serra do Barriga e suas rochas encaixantes, foram consultadas diversas fontes bibliográficas, como: relatórios de graduação, de empresas, teses de doutorado, projetos de mapeamento (CPRM) e relatórios de pesquisa (DNPM). Sobre rochas ornamentais foram pesquisadas teses e dissertações da UNESP, revistas, publicações e anais de simpósios e congressos, além do Catálogo de Rochas Ornamentais do Ceará.

Para a fotointerpretação geológica foram utilizadas fotografias aéreas do Serviço de Aerolevanteamento Cruzeiro do Sul (SACS) de 1969 na escala 1:70.000 visando a investigação regional das zonas de contato do granito com as encaixantes e na escala 1:25.000 da Serra do Barriga que permitiram analisar estruturas como lineamentos, contatos entre os diferentes fácies do granito, área de afloramentos, entre outras. Como base para o mapeamento foi elaborado o mapa geológico em escala 1:40.000, tendo como fonte o mapa topográfico da Folha Sobral executado pelo Ministério do Exército (Diretoria do Serviço Geográfico) e pela SUDENE de código S.A-24-X-D-IV, em escala 1:100.000 (1972); além dos mapas geológicos do Ceará elaborados pela CPRM/REFO, escala 1:500.000 (1983 e 2003).

2.2 TRABALHOS DE CAMPO E COLETA DE AMOSTRAS

Os principais objetivos dos trabalhos de campo foram delimitar os contatos do *stock* granítico com as encaixantes e representar a extensão das faciologias graníticas exploradas como rochas ornamentais, que estão representados na Figura 4.3. Além destes, realizar a coleta de amostras representativas dos granitos ornamentais do *stock*, visando estudos petrográficos, geoquímicos e tecnológicos.

Os trabalhos de campo ocorreram em três etapas, representando quinze dias:

A primeira parte foi o reconhecimento da área do *stock* granítico e de algumas porções das rochas encaixantes, através de caminhamentos com a ajuda de fotografias aéreas disponíveis para a área e com o produto de sua fotointerpretação geológica. Para este reconhecimento foram utilizados mapas topográfico da Folha Sobral e geológico do Ceará, bússola e GPS.

A segunda etapa contou com a descrição de afloramentos, levantamento de dados estruturais, texturais, petrográficos e mineralógicos para o reconhecimento das variedades faciológicas do *stock*, com registro fotográfico, bem como a coleta de amostras para análises laboratoriais.

A coleta das amostras foi efetuada ao longo dos pontos de caminhamento e principalmente nas áreas de extração dos granitos, em função das análises e ensaios pretendidos. Para reconhecimento e mapeamento das áreas foram coletadas amostras visando a confecção de lâminas. Para efetuar ensaios de caracterização tecnológica foram retirados blocos de dimensões aproximadas de 30 x 30 x 30 cm. Tanto para os ensaios de caracterização como para análises de química de rocha total foram coletadas amostras nas áreas de extração, onde estas não apresentam alteração intempérica avançada.

Na terceira e última parte ocorreu a determinação de contatos entre as variações faciológicas dos granitos explorados para rochas ornamentais e complementação de dados estruturais e petrográficos, além da documentação fotográfica sobre afloramentos e jazidas.

2.3 ANÁLISES PETROGRÁFICAS

Considerando que a análise petrográfica é fundamental para avaliar o comportamento tecnológico das rochas para fins ornamentais e para revestimento, um dos enfoques deste trabalho foi analisar e procurar quantificar os aspectos e/ou parâmetros composicionais (composição mineralógica; porcentagem de minerais), texturais e estruturais (tamanho absoluto e relativo dos minerais; forma dos minerais; relações de contatos entre os cristais), tipos e graus de alteração e de microfissuramento mineral das rochas estudadas. Para tanto foram tomadas por base as orientações presentes nos trabalhos realizados por Rodrigues *et al.* (1997), Navarro (1998) e da NBR 12.768 (ABNT 1992a).

QUANTIFICAÇÃO MINERALÓGICA (COMPOSIÇÃO MODAL):

A determinação da composição modal foi realizada de forma integrada através da contagem dos minerais em 15 lâminas delgadas (4 de Rosa Iracema, 4 de Branco Savana, 4 de Branco Cristal Quartzo e 2 de Rosa Olinda) e em 8 placas de rochas (duas de cada tipo). Para a contagem mineral em lâminas delgadas foram contados entre 300 a 500 pontos de cada lâmina utilizando um contador automático digital marca Swift, acoplado a um microscópio binocular. Para a identificação dos minerais nas placas, estas foram atacadas com ácido fluorídrico e em seguida tratadas com cobalto-nitrito de sódio conforme recomendado por Morais & Rodrigues (1978), permitindo distinguir macroscopicamente feldspato potássico e plagioclásio em cada tipo granítico. Na contagem dos minerais através das placas utilizou-se uma rede com espaçamento de 0,5 x 0,5 cm, lançadas sobre lâmina de plástico transparente.

A porcentagem mineralógica (das amostras macro e microscópicas) modal obtida para as variedades graníticas estudadas foi lançada no diagrama triangular QAP proposto pela IUGS (Streckeisen, 1976) para fins da classificação petrográfica das mesmas (Capítulo 6 - Análise Petrográfica).

ASPECTOS TEXTURAIIS

Os aspectos texturais analisados referem-se às dimensões absolutas e relativas dos minerais (granulação da rocha), relações de contatos entre grãos minerais e o estado microfissural, que de modo geral exercem significativa influência nas propriedades físicas, físico-mecânicas e na resistência à alterabilidade da rocha.

CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO TAMANHO RELATIVO DOS CRISTAIS

Foram classificados em:

- equigranular: textura onde cristais têm o mesmo tamanho ou podendo variar dentro de uma estreita faixa;
- inequigranular: textura onde os cristais apresentam diferenças de tamanho de até 1:5, sem que os grãos maiores sobressaiam em relação aos menores;
- porfiróide/porfirítica: textura que apresentam megacristais no mínimo cinco vezes maiores que a dimensão média dos grãos da matriz e que nitidamente sobressaem em relação à granulação média da matriz.

CLASSIFICAÇÃO QUANTO À GRANULAÇÃO DA ROCHA

Foram consideradas as seguintes categorias:

- Fina: diâmetro médio predominante dos cristais inferior a 1,0 mm;
- Média-fina: diâmetro médio predominante entre 1 e 3 mm;
- Média: diâmetro médio entre 3 e 7 mm;
- Média-grossa: diâmetro médio entre 7 e 10 mm.
- Grossa: diâmetro médio maior de 10 mm

RELAÇÃO DE CONTATO ENTRE OS MINERAIS

Os contatos entre os minerais, examinados na análise microscópica, foram classificados e divididos em três tipos básicos: plano; côncavo-convexo e serrilhado.

A classificação de cada tipo de contato foi realizada através de contagens (entre 100 a 500, de acordo com a granulação do granito) em toda a área da seção delgada, que foram transformadas em percentuais de acordo com cada seção petrográfica analisada.

ESTADO MICROFISSURAL

O microfissuramento mineral foi expresso em número de microfissuras por área (mm^2) equivalente a média de contagem das microfissuras existentes em todos os campos visuais microscópicos. As microfissuras são analisadas em termos de: vazias ou preenchidas, neste caso, tipo de preenchimento; inter ou intra-granulares; comunicabilidade entre si e existência de orientação preferencial.

GRAU DE ALTERAÇÃO MINERAL

O grau de alteração observado em microscópio foi quantificado para cada mineral passível de alteração, tais como plagioclásios (saussuritização, sericitização, epidotização e transformação para carbonatos), feldspato potássico (sericitização, argilomineralização) e minerais máficos (cloritização, epidotização e transformações para óxidos e hidróxidos de ferro).

Estas alterações se manifestam sob a forma de manchas pulverulentas sobre as superfícies dos minerais observadas sob o microscópio. Desta forma, a classificação adotada significa que o referido mineral apresenta cerca de 60%, ou 30%, da superfície com sinais de alteração, mas não todo o cristal. De acordo com a intensidade da alteração encontrada na superfície, os minerais foram classificados em:

- grau de alteração intenso > 60% da superfície mineral com sinais de alteração
- grau de alteração moderado 60 a 30 % da superfície mineral com sinais de alteração
- grau de alteração incipiente < 30% da superfície mineral com sinais de alteração
- ausente 0% da superfície mineral com sinais de alteração

Destaca-se que através das análises petrográficas também foi possível identificar e localizar os minerais para a análise de química mineral por microsonda eletrônica. Foram captadas em torno de 40 imagens e fotomicrografias dos minerais em 6 seções delgadas

A análise petrográfica, incluindo a descrição de todos os aspectos texturais descritos acima foram realizadas em 25 lâminas delgadas, sendo 8 de Rosa Iracema, 6 de Rosa Olinda, 6 de Branco Savana e 5 de Branco Cristal Quartzo.

2.4 ESTUDOS GEOQUÍMICOS

As análises geoquímicas realizadas se referem a estudos geoquímicos em rocha total e de química mineral, envolvendo as variedades graníticas exploradas como rochas ornamentais.

GEOQUÍMICA EM ROCHA TOTAL

Foram realizadas três etapas de análise geoquímica de rocha total em 15 (quinze) amostras, representando os quatro granitos ornamentais Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana e Branco Cristal Quartzo.

Na primeira fase as análises foram executadas no Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP e as determinações foram realizadas por espectrometria de fluorescência de raios x, empregando amostra prensada. Em cinco amostras foram analisadas as concentrações dos dez principais óxidos normativos, alguns elementos menores como Ba, Cr, Nb, Ni, Rb, Sr, Y, e Zr e de dois elementos Terras Raras: Ce e La.

Na segunda etapa, foram encaminhadas quatro amostras e na terceira seis amostras para o Laboratório de Análises Minerai Lakefield Geosol, sendo que todas foram pulverizadas no laboratório de preparação de amostras do Departamento de Petrologia e Metalogenia da UNESP. Foram determinadas as concentrações dos dez principais óxidos normativos por fluorescência de raios X, através de fusão com tetraborato de lítio, sendo o FeO por titulação e Co, Cr e Ni através de digestão multiácida e absorção atômica. Os demais elementos menores, como: Ba, Sc, Sn, Sr, Ga, Hf, Nb, Rb, Ta, Th, W, U, Y, V e Zr foram determinados por fluorescência de raios x, através de pó prensado. Os elementos Terras Raras foram analisados pelo método de Espectrometria de Emissão em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP).

Os dados analíticos obtidos foram processados utilizando-se o programa MINPET 2.0 (Richards, 1995), e representados, para a sua interpretação, em diagramas binários e ternários, diagramas classificatórios e discriminantes, conforme relacionados e interpretados no Capítulo 7- Geoquímica Mineral.

QUÍMICA MINERAL

As análises foram realizadas na microsonda eletrônica JEOL (JXA – 8600), do Laboratório de Microsonda e Microscopia Eletrônica do Departamento de Mineralogia e Petrologia (DMP) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de São Paulo (USP).

As análises de química mineral foram realizadas em duas etapas. Inicialmente foram efetuadas em cinco seções delgadas e polidas das amostras dos granitos Rosa Iracema (2), Rosa Olinda (1) e Branco Savana (2). As análises de microsonda foram direcionadas para analisar a composição química nos seguintes minerais feldspato potássico, plagioclásio, biotita, clorita, muscovita e anfibólio. Na segunda etapa foram realizadas em uma seção delgada do granito Branco Cristal Quartzo. Nestas duas etapas

foram realizadas 141 análises, sendo 24 de feldspato potássico, 53 de plagioclásio, 22 de biotita, 26 de clorita, 11 de muscovita e 5 de anfibólio (anexos de 1 a 6). Visou-se avaliar e comparar a química mineral entre os quatro tipos graníticos.

Os dados obtidos foram tratados por meio do software MINPET versão 2.02 (Richard, 1995), para ambiente Windows, constando de diversas metodologias para o cálculo das fórmulas estruturais dos minerais analisados. Os diagramas executados através do MINPET estão apresentados no Capítulo 7 - Geoquímica Mineral.

2.5 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

As características tecnológicas dos quatro tipos graníticos, assim como a previsão do seu desempenho em uso, foram obtidas através de análises e ensaios executados segundo procedimentos normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Para a caracterização tecnológica das rochas ornamentais exploradas no *stock* granítico Serra do Barriga foram realizados os seguintes ensaios: análise petrográfica, índices físicos, desgaste abrasivo Amsler, resistência ao impacto de corpo duro, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão a três e a quatro pontos, coeficiente de dilatação térmica linear e velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP – Campus de Rio Claro, com exceção do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro, que foi executado no NUTEC – Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial - Fortaleza/CE. Os valores médios obtidos estão nos anexos de 7 a 10. Os resultados, bem como os gráficos de todos os ensaios realizados estão descritos no capítulo 8 – Propriedades Tecnológicas.

✓ ÍNDICES FÍSICOS

Os ensaios dos índices físicos compreenderam a determinação da massa específica aparente seca e saturada, porosidade aparente e absorção d'água.

Para a determinação dos índices físicos foram utilizados 10 corpos-de-prova cúbicos com aproximadamente 5 cm de arestas para cada tipo de granito, de acordo com a norma NBR 12.766 (ABNT, 1992b). Em seguida foram imersos em água por 12 horas em dissecador com bomba à vácuo ligada por 30 minutos e posteriormente pesados dentro de

um recipiente com água, obtendo-se assim o peso submerso (A). Num próximo passo, os corpos-de-prova foram enxugados com pano seco para tirar o excesso d'água, e novamente pesados, obtendo-se o peso saturado (B). Em seguida os corpos-de-prova foram secos em estufa ventilada a 110° C, por 12 horas e novamente pesados (C).

Os valores dos índices físicos são obtidos com as seguintes expressões:

- Massa específica aparente seca: $A/B-C$ (kg/m³)
- Massa específica aparente saturada: $B/B-C$ (kg/m³)
- Porosidade aparente: $B-A/B-C \times 100(\%)$
- Absorção d'água: $B-A/A \times 100(\%)$

Os índices físicos fornecem uma idéia da incidência de microdescontinuidades nas rochas. Os valores de absorção d'água e porosidade são bem correlacionados com os de resistência mecânica da rocha. O coeficiente de absorção d'água constitui elemento de avaliação preliminar da compactação, resistência e durabilidade da rocha, sendo um fator decisivo na escolha do material para usos que envolvam prolongados contatos com as águas meteóricas ou outros líquidos que possam causar danos à rocha.

✓ RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

Este ensaio foi executado de acordo com as diretrizes da norma NBR 12767 (ABNT, 1992d) e objetiva determinar a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços compressivos. Este ensaio foi executado em cinco corpos-de-prova de forma cúbica com arestas de aproximadamente 7cm, no estado seco submetidos a esforços compressivos, com taxa de carregamento de 600 KPa/s em uma prensa hidráulica com capacidade de 200 t. Foram realizados ensaios em amostras no estado seco e saturadas em água por 24 horas.

A tensão de ruptura na compressão é determinada pela relação:

$$C = \frac{W}{A}$$

Onde: C = tensão de ruptura (MPa);
W = força de ruptura (kN);
A = área de carga do corpo-de-prova (m²).

Os valores detectados fornecem uma indicação da resistência do material ao esforço mecânico compressivo, mostrando o valor máximo de tensão que a rocha suporta antes da ruptura. Estes valores são funções da composição mineralógica, textura, estado de alteração, microfissuramento e porosidade do material. Assim, os valores obtidos são

extremamente importantes para o dimensionamento de rochas utilizadas com função estrutural, como pedestais, colunas, baldrames, entre outras.

✓ RESISTÊNCIA À FLEXÃO: MÉTODO 3 E 4 PONTOS

- Método 3 Pontos:

A execução deste ensaio foi realizada de acordo com as diretrizes da norma NBR 12763 (ABNT, 1992e). Este ensaio visa determinar a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços fletores (flexão e tração simultaneamente). Para cada amostra foram ensaiados cinco corpos-de-prova de 20x10x5 cm, no estado seco e saturado. Utiliza-se a mesma prensa hidráulica usada nos ensaios de compressão, porém a taxa de carregamento aplicada é de 4.500 N/min. Para a execução desse ensaio, os corpos-de-prova são apoiados em dispositivo apropriado, que possui dois cutelos inferiores (de ação) espaçados de 18 cm e um superior (de reação) posicionado ao meio da peça, em seu sentido longitudinal.

O cálculo da tensão de ruptura é feito através da seguinte expressão:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Onde, **R** = tensão de ruptura na flexão (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)

Os valores determinados indicam a tensão máxima de flexão que a rocha suporta e permitem determinar o tamanho e a espessura de placas externas (painéis) para suportar as solicitações de flexão causadas pela carga de vento.

- Método 4 Pontos

A execução deste ensaio foi realizada de acordo com as diretrizes da norma ASTM C880 (ASTM, 1989). Visa determinar a tensão que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços conjuntos de tração e compressão. Para a execução desse ensaio, foram utilizados cinco corpos-de-prova com dimensões de 38x10x3 cm, os quais foram apoiados em dispositivo apropriado, que possui dois cutelos inferiores (de ação) sendo o espaçamento entre eles igual ao comprimento da amostra menos 2 cm (L) e dois superiores (de reação) posicionados no sentido longitudinal, com espaçamento entre eles de (L)/2 . Esse ensaio também é realizado na mesma prensa hidráulica usada para ensaio de

compressão uniaxial, porém aplica-se uma taxa de carregamento de 535 N/min. Foram ensaiadas amostras no estado seco e saturado.

O valor da tensão de ruptura é dado através da seguinte expressão:

$$R = \frac{3PL}{4bd^2}$$

onde:

R = tensão de ruptura na flexão (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)

A determinação da resistência à flexão, tanto 3 quanto 4 pontos é importante no dimensionamento das placas, donde se obtém os valores mínimos de espessura e área que a rocha é capaz de suportar. Os valores obtidos neste ensaio indicam a tensão máxima de flexão que as placas de rocha suportam quando utilizadas em revestimento, sendo que estas ficam afastadas da parede e suspensas por dispositivo metálico sujeitas a absorver acomodações do suporte e pressões de vento. As placas encontram-se sujeitas a esforços fletores também nas operações de descarga do tear, polimento e transporte.

✓ DESGASTE ABRASIVO AMSLER

De acordo com a norma NBR 12042 (ABNT, 1992c), o ensaio foi realizado com dois corpos na forma de paralelepípedo regular, tendo lados e base com 7,0 cm e altura de 2,5 cm. O objetivo deste ensaio é verificar a redução de espessura (em mm) que duas placas de rocha apresentam após um percurso abrasivo de 500 e de 1000 m em um equipamento apropriado denominado Máquina Amsler. Foram realizados ensaios em amostras no estado seco e saturadas em água por 24 horas.

Os ensaios são importantes para se verificar a utilização das rochas em revestimento de pisos e degraus de escadas. A resistência ao desgaste ou abrasão é um reflexo da constituição mineralógica da rocha, granulação, dureza e estado de agregação dos minerais das rochas. Os materiais de baixo índice de desgaste podem ser empregados em locais de alto tráfego.

✓ RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO

Este ensaio foi executado de acordo com as diretrizes da norma NBR 12764 (ABNT, 1992f). Utilizou-se 5 corpos-de-prova na forma de placas retangulares de 20 x 20 x 3 cm, as quais foram apoiadas em um colchão de areia de 10 cm de espessura e submetidas ao impacto pela queda de uma esfera de aço com 6,0 cm de diâmetro e com peso de 1 kg. A altura inicial da queda foi de 20 cm, com alturas aumentadas de 5 em 5 cm,

até ocorrer o fraturamento da placa. Foram realizados ensaios em amostras no estado seco e saturadas em água por 24 horas. O resultado para cada amostra foi a média aritmética das alturas de queda que fraturam as placas, expresso em metros.

Este teste visa medir a altura mínima de queda que uma placa rompe, determinando, assim, a tenacidade do material rochoso. Este ensaio simula a queda de objetos pesados nos materiais pétreos em diversas situações. É um ensaio importante, para a caracterização da rocha utilizada em pisos, soleiras, degraus, mesas, balcões e pias. Quanto menores os valores encontrados, menos resistente ao choque é o material, tornando-se, no caso, imprescindíveis cuidados extras no transporte e na sua colocação.

✓ VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRA-SÔNICAS

Este ensaio, de caráter não-destrutivo, seguiu as diretrizes da norma ASTM D 2845 (ASTM, 1990). Para interpretação do comportamento das rochas estudadas foram utilizadas as determinações de propagação de ondas ultra-sônicas obtidas nos corpos-de-prova empregados nos testes de resistência à flexão 3 Pontos com dimensões de 20 x 10 x 5 cm.

Através desse ensaio obtêm-se o tempo que a onda eletromagnética leva para passar pelo corpo-de-prova, o qual é dado em μs (mili-segundos). Disposto do comprimento do corpo-de-prova, calcula-se a velocidade do pulso ultra-sônico:

$$V_p = \frac{d}{t}$$

Onde: **V_p** = Velocidade do Pulso ultra-sônico (**m/s**)

d = Comprimento do corpo-de-prova (**m**)

t = Tempo gasto pela onda para percorrer o corpo-de-prova (**μs**)

O objetivo deste ensaio é obter a velocidade das ondas longitudinais (ondas P, primárias) para diferentes tipos de rochas, uma vez que, a velocidade das ondas ultra-sônicas nos materiais rochosos é reflexo direto do seu grau de isotropia, sendo influenciada por estruturas, grau de alteração, porosidade, presença ou não de água e também pela velocidade intrínseca dos minerais constituintes.

O resultado desse ensaio auxilia o entendimento do comportamento da rocha frente aos ensaios de compressão uniaxial e de flexão, pois altas velocidades são relacionadas a materiais isotrópicos, sugerindo alto grau de integridade e, conseqüentemente, valores de resistência mecânica elevados. Pode ainda, dar indicações sobre porosidade, grau de microfissuramento e concentrações de minerais máficos.

✓ COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR

As determinações de dilatação térmica linear foram executadas, conforme preconizado pela norma NBR 12756 (ABNT, 1992f), em pelo menos dois corpos-de-prova cilíndricos de 3,0 cm de diâmetro e 9,0 cm de comprimento, os quais submetidos ao aquecimento em água a partir de 0° C até 50°C e, em seguida, ao resfriamento partindo-se dos 50° até 0°C.

As deformações são medidas com transdutores do tipo LVDT- Linear Variable Differential Transducer e com registro simultâneo em registrador X-Y (Lima, 2002). Os valores do coeficiente de dilatação térmica linear são calculados através da seguinte expressão:

$$\beta = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$$

Onde: β = coeficiente de dilatação térmica linear (mm/m ° C);

ΔL = incremento de comprimento do corpo-de-prova (m);

L_0 = comprimento inicial do corpo- de - prova (m);

ΔT = incremento de temperatura (° C)

Este ensaio deve ser cuidadosamente considerado quando as placas da rocha estiverem expostas ao sol ou sujeitas a grandes oscilações de temperatura, tais como em climas temperados. É necessário para se definir as juntas de dilatação, que devem ser implantadas junto aos painéis e ladrilhos.

2.6 ANÁLISE DE ALTERABILIDADE

✓ RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO

Após a aplicação e ao longo do uso, as rochas ornamentais e para revestimento estão expostas a diversas situações agressivas, como poluição atmosférica, chuvas ácidas, produtos de limpeza, sucos ácidos, vinagre, entre outros. Estas substâncias quando em contato com as rochas podem reduzir o brilho, modificar a coloração e comprometer sua estética, visto que são materiais com funções ornamentais.

Neste ensaio foram utilizados cinco corpos-de-prova constituídos por placas polidas de cada tipo de granito ornamental estudado, com formatos quadrados e apresentando 10 cm de lado, sendo que a área de ataque constitui cerca de 2/3 da área dos corpos-de-prova.

O referido ensaio baseia-se principalmente na perda de brilho do material, portanto foram realizadas dez medições de brilho (utilizando-se um aparelho medidor de brilho denominado *Gloss Meter*) em cada um dos cinco corpos-de-prova de cada tipo granítico, obtendo-se assim um valor médio de brilho, antes de se iniciar os ataques.

Posteriormente, tomando como referência à Norma NBR 13818 anexo H (ABNT, 1997) utilizada para placas cerâmicas, aplicou-se reagentes químicos sobre a superfície polida de cada tipo de rocha estudado. Os reagentes químicos, que simulam em velocidade acelerada alguns ambientes agressivos, foram utilizados em determinadas concentrações com base na referida norma:

- Reagentes: Cloreto de amônia, 100g/l.
- Hipoclorito de sódio, 20 mg/l.
- Ácidos de baixa concentração: Solução de ácido cítrico, 100g/l
- Ácidos de alta concentração: Solução de ácido clorídrico, 18% (v/v).
- Álcalis de baixa concentração: Solução de hidróxido de potássio, 30g/l.

Por serem materiais naturais, as rochas quando expostas à estes reagentes, respondem de forma diferente em relação aos materiais cerâmicos, portanto o método para a avaliação da resistência ao ataque químico das rochas estudadas, difere do método utilizado para materiais cerâmicos descritos na Norma NBR 13818 anexo H (ABNT, 1997). Esta diferença restringe-se aos procedimentos utilizados na avaliação das reações ocasionadas pelos agentes químicos nas superfícies das peças ensaiadas.

Cada tipo de agente agressivo permaneceu em contato com os corpos-de-prova dos quatro tipos graníticos durante 24 horas, com exceção do ácido clorídrico e hidróxido de potássio, ambos em contato com a rocha durante 96 horas. Decorrido o tempo de ataque dos reagentes, as amostras foram lavadas e secas para medição do brilho das placas polidas na área atacada (dez medidas em cada corpo-de-prova). Comparando-se a média de brilho obtida antes do ataque com a média de brilho após o ensaio, foi possível determinar o efeito das substâncias agressivas, em relação à perda de brilho.

Este ensaio permitiu avaliar além da perda de brilho entre os quatro tipos graníticos, outros efeitos, como alterações cromáticas das rochas; corrosão e alterações minerais, como conseqüências dos efeitos das substâncias agressivas sobre as superfícies polidas das rochas. Os resultados destas análises estão descritos no capítulo 9 – Resistência ao Ataque Químico.

As análises das alterações cromáticas nos quatro tipos graníticos foram realizadas através de uma inspeção visual, comparando-se a rocha polida não atacada com as amostras polidas atacadas. Os efeitos dos agentes agressivos como corrosão e alterações minerais foram analisados e fotografados através de lupa binocular com aumento de 0,63 até 4,00 vezes. As quatro amostras (Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana, Branco Cristal Quartzo) atacadas pelo ácido clorídrico (HCl) foram, ainda, analisadas e fotografadas através de lâminas delgadas. Uma face não polida do granito rosa Iracema foi posta em contato com ácido clorídrico diluído por 96 horas, onde foram coletados e analisados alguns pequenos fragmentos de minerais decantados, material em suspensão e em solução (Capítulo 9 – Resistência ao Ataque Químico).

Os resultados obtidos através dos testes de alterabilidade, sob efeito do ataque das respectivas substâncias agressivas, são de fundamental importância na avaliação previsional do comportamento das rochas a serem empregadas como materiais para revestimento em obras civis. Neste sentido, auxiliam na seleção dos materiais pétreos que melhor se adequem às condições ambientais e especificações de projetos arquitetônicos, bem como nos cuidados com sua limpeza e manutenção.

CAPÍTULO 3 - PANORAMA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

3.1 INTRODUÇÃO

Desde a Antigüidade as rochas eram utilizadas como elementos estruturais de grandes edificações, monumentos, igrejas, palácios, entre outros. Após o início do século XIX houve a descoberta do concreto armado gerando uma grande revolução nas construções de modo geral. Após certo período, no início do século XX, iniciou-se novamente uma crescente utilização de rochas na construção civil, porém agora com funções ornamentais, buscando sempre o aspecto estético e embelezador.

Com o avanço da tecnologia as rochas foram submetidas aos mais diversos tipos de testes e ensaios, de modo que se pode definir limites de espessura, tamanhos, densidades, durezas para as mais adequadas aplicações destes materiais. Assim, com a evolução das pesquisas, as rochas estão cada vez mais adaptadas às necessidades do homem moderno. Um exemplo disto, é o desenvolvimento de placas de dois, um e meio, um e até de meio centímetro de espessura, visando o aumento da produtividade de blocos, facilitação do transporte e da aplicação das rochas não só com funções ornamentais, como também em excelentes e duradouros revestimentos.

A diversidade dos ambientes formadores das rochas gera padrões estéticos únicos a cada tipo de rocha, que podem ser ambientes sedimentares, magmáticos ou metamórficos, assim como a história evolutiva em diferentes períodos geocronológicos e estágios geotectônicos da crosta terrestre. Estes processos genéticos combinam dezenas de elementos químicos, centenas de minerais e infinitos padrões cromáticos resultantes, com diferentes intensidades de pressões e temperaturas, ao longo de milhões e até bilhões de anos de evolução (Chiodi Filho, 2005).

3.2 ROCHAS ORNAMENTAIS NO MUNDO

Segundo Chiodi Filho (2005), a produção mundial de rochas totalizou 67,5 milhões de toneladas em 2002, sendo 58% mármore, 37% granitos e 5% ardósias. A China produziu 14 milhões de toneladas; Itália 8 milhões, Índia 6,5, Espanha 5,35 e Irã 4,25 milhões, os quais constaram como os cinco principais produtores mundiais, colocando o Brasil em 6º lugar com 2,75 milhões de toneladas de rochas comercializadas.

É possível avaliar o crescimento do setor de rochas ornamentais ao verificar-se que a produção mundial de suas matérias primas evoluiu de 1,5 milhões toneladas/ano na década de 1920, para o patamar de 67,5 milhões de toneladas/ano em 2002 (Chiodi Filho, 2002). O vigoroso incremento do mercado internacional caracterizou as décadas de 1980 e 1990 como “a nova idade da pedra”, destacando o setor de rochas como uma importante nova área de negócios da indústria de mineração. Calcula-se que em 2025 a produção mundial de rochas poderá atingir 320 milhões de toneladas/ano.

Em relação às rochas brutas e beneficiadas, cerca de 25,4 milhões de toneladas foram comercializadas no mercado internacional em 2002. Somando-se as negociações do mercado internacional e dos mercados internos dos países produtores, estima-se que o setor negocie em torno de US\$ 40 bilhões/ano. As exportações mundiais de 2002 são representadas graficamente na figura 3.1.

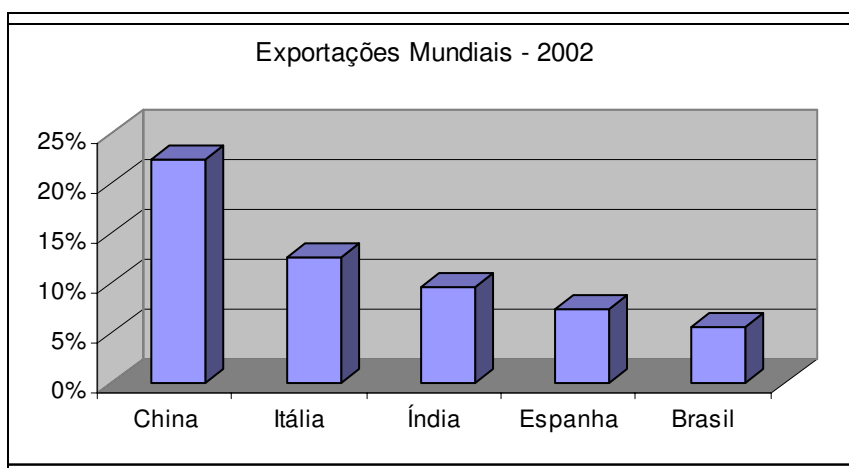


Figura 3.1: Principais países e respectivas exportações mundiais de rochas ornamentais.

3.3 ROCHAS ORNAMENTAIS NO BRASIL

O Brasil, destacado pela sua espetacular “geodiversidade”, já se coloca no grupo dos grandes produtores e exportadores mundiais do setor de rochas. Sua produção inclui granitos, ardósias, quartzitos, mármore, travertinos, pedra-sabão, serpentinitos, calcários, conglomerados, gabros, dioritos, basaltos, gnaisses foliados e várias outras rochas.

Chiodi Filho (2005), calcula que existam em torno de 11.500 empresas do setor de rochas atuantes no Brasil, responsáveis pela geração de 120.000 empregos diretos e por um parque de beneficiamento com capacidade de 50 milhões m²/ano em granitos, mármore, travertinos e de mais 40 milhões m²/ano para rochas de processamento simples, sobretudo ardósias, basaltos laminados, quartzitos e gnaisses foliados.

A produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento foi estimada em 6,0 milhões toneladas no ano de 2002, abrangendo cerca de 600 variedades comerciais derivadas de 1.500 frentes ativas de lavra. As variedades de rochas produzidas no Brasil são apresentadas na figura 3.2.

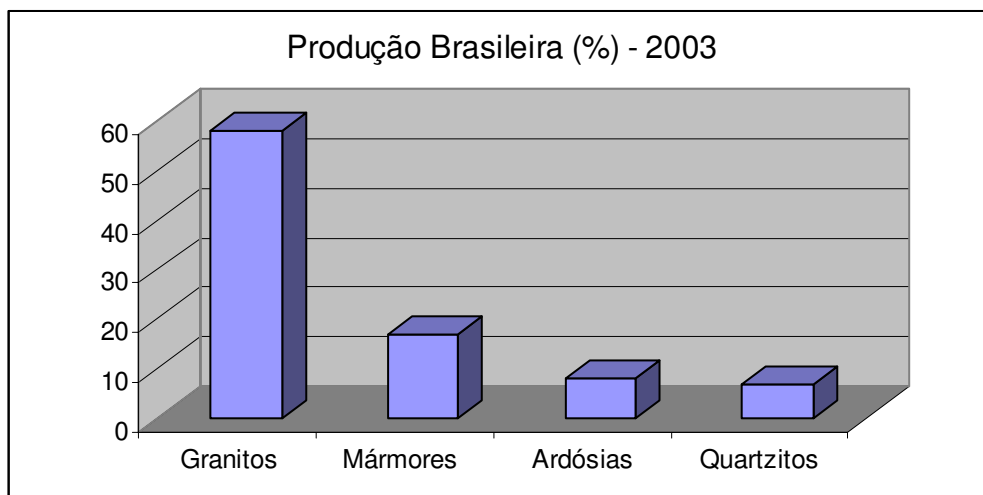


Figura 3.2: Principais tipos de rochas ornamentais produzidos no Brasil.

As negociações do setor nos mercados interno e externo, incluindo-se negócios com máquinas, equipamentos e insumos, movimentam cerca de US\$ 2,5 bilhões/ano. As exportações do setor somaram US\$ 429,4 milhões em 2003 e estão atendendo cerca de 90 países, destacando-se que o Brasil já é o principal fornecedor de granitos beneficiados para os EUA, além do segundo maior exportador mundial de ardósias (Chiodi Filho 2005).

Aglomerados produtivos passam a serem estruturados: serpentinitos em Goiás; mármore desenhados em Minas Gerais; e fortalecidos: granitos do norte do Espírito Santo e nordeste de Minas Gerais, ardósias e quartzitos foliados em Minas Gerais, basaltos no norte do Rio Grande do Sul, travertinos no oeste da Bahia e pedra Mourisca no Piauí.

3.3.1 TIPOS DE APLICAÇÕES DAS ROCHAS

As diferentes formas de utilização no consumo interno dos principais tipos de rochas no Brasil estão representadas de forma geral na figura 3.3 (em percentual) utilizando-se como base as referências de Montani (2003) in Chiodi Filho (2004). Sendo considerado na figura 3.3 *peças* como: mesas, pias, bancadas, tampos e *outros*, como: colunas, arte funerária, artesanato, etc.

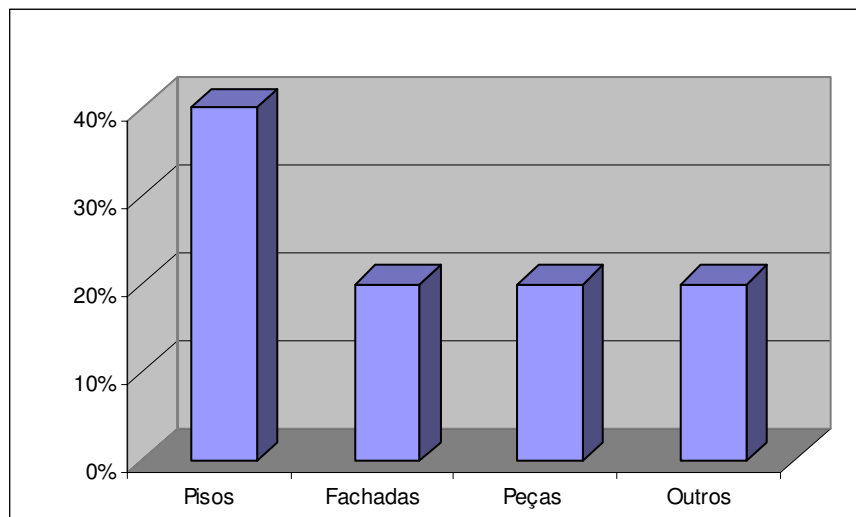


Figura 3.3. Tipos de aplicações de rochas ornamentais no Brasil.

3.3.2 FORMA DE COMERCIALIZAÇÃO DAS ROCHAS

Os blocos extraídos nas pedreiras são encaminhados para o beneficiamento primário nas serrarias. Este pode incluir, além da serragem dos blocos, o polimento e outras formas de tratamento das superfícies das chapas. As serrarias são as principais fornecedoras das marmorarias, shoppings da construção e depósitos de chapas.

Marmorarias e depósitos de chapas são os principais fornecedores dos pequenos consumidores, enquanto serrarias são as principais fornecedoras diretas das grandes construtoras. As marmorarias são as empresas que executam os trabalhos especiais de acabamento e as obras sob medida, enquanto os depósitos de chapas são os principais fornecedores de materiais importados. Os shoppings da construção comercializam apenas produtos prontos para o consumidor final (lajotas padronizadas, pias, tampos de mesa, etc.).

3.3.3 EXPORTAÇÕES BRASILEIRAS

As exportações brasileiras do setor apresentaram um crescimento aproximado de 46% em faturamento e de 28% em volume, no período de 1999 a 2002. O incremento médio anual foi de 14% para o faturamento e de 9% para o volume, indicando a participação crescente de produtos com maior valor agregado.

Em 2003 as exportações brasileiras mostraram um acentuado desempenho do setor, com incremento de 27% (US\$ 429,3 milhões) em relação a 2002, associado às rochas processadas, que tiveram incremento de 35%, perfazendo 70% do total das exportações brasileiras.

O crescimento das rochas processadas foi muito significativo, especialmente chapas beneficiadas de granito, que totalizaram cerca de 57% do faturamento das exportações. O segundo item mais importante das exportações foram os blocos de granito que compuseram 23% do faturamento. As exportações de ardósias atingiram 11% e quartzitos, em torno de 4% do total do faturamento das exportações brasileiras.

Os estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia são os principais exportadores brasileiros de rochas ornamentais. O Espírito Santo responde por 43% do total das exportações e por mais de 50% das exportações de rochas processadas em 2002. O Rio de Janeiro ultrapassou a Bahia, tornando-se o terceiro maior exportador brasileiro de rochas, enquanto Minas Gerais contrabalançou a queda das exportações de blocos de granito com o aumento das exportações de ardósia e quartzitos foliados.

Diversos novos materiais foram apresentados visando o atendimento do mercado externo, com destaque para os metaconglomerados, granitos pegmatóides, quartzitos brancos maciços, granitos brancos e amarelos, granitos com quartzo azul e mármore variados de Minas Gerais e Ceará (Chiodi Filho, 2005).

As exportações brasileiras em 2004 apresentaram um crescimento histórico de 40% (US\$ 600,96 milhões) em relação ao ano de 2003. Atingiram 1.840.434,51 toneladas, representando aumento de cerca de 20%. A participação das rochas ornamentais evoluiu de 0,59% em 2003 para 0,62% em 2004, podendo atingir 1% no total das exportações brasileiras em 2006 (Chiodi Filho, 2005).

A taxa de crescimento das exportações de rochas (+ 40%) foi superior ao crescimento do total das exportações brasileiras (+ 32%). As exportações de rochas processadas tiveram participação de 71% no total do faturamento, registrando crescimento de 42% em valor e de 41% em volume em relação a 2003. A participação em peso dessas rochas processadas evoluiu de 41% em 2003 para 48% em 2004, devendo superar o de rochas brutas já em 2005 (Chiodi Filho, 2005).

Os principais produtos exportados foram chapas beneficiadas de granito, blocos e chapas brutas de granito, ardósias, quartzitos foliados e maciços e produtos de pedra-sabão (Figura 3.4). As principais taxas de crescimento entre os produtos exportados foram chapas beneficiadas de granito, ardósia, blocos e chapas brutas de granito, quartzitos e produtos de pedra sabão.

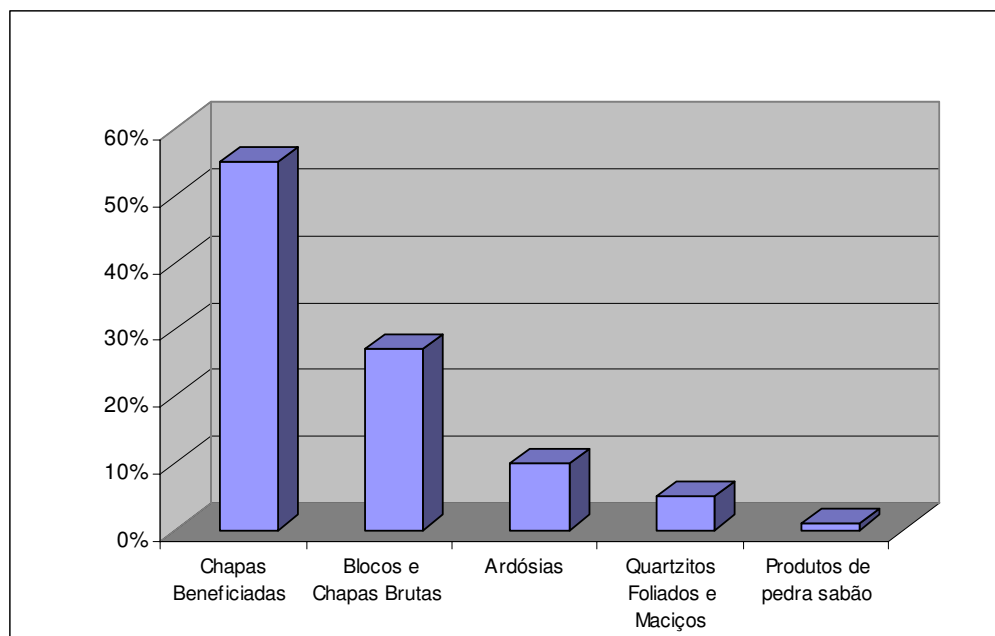


Figura 3.4: Principais produtos exportados pelo Brasil em 2004.

O maior mercado importador de rochas ornamentais, responsável pelo considerável crescimento das exportações brasileiras em 2004, é o mercado Norte-Americano. Em 2005 está previsto um desempenho equivalente, ou apenas ligeiramente inferior ao de 2004, para as exportações brasileiras de rochas ornamentais.

3.4 ROCHAS ORNAMENTAIS NO CEARÁ

O território do Ceará encontra-se sobre condições geológicas e geomorfológicas muito favoráveis à prospecção e exploração de rochas ornamentais, pela rasa cobertura de solo e topografia pouco acidentada em termos gerais, facilitando o acesso à avaliação de possíveis jazidas. Devido à grande variação dos tipos rochosos, o Ceará produz e já extraiu diferentes tipos litológicos, que de acordo com o Catálogo de Rochas Ornamentais do Ceará (Morais *et al.*, 2004), correspondem a 59 diferentes tipos, incluindo tanto áreas potencialmente exploráveis, como jazidas em atividade.

A compartimentação geológica do território Cearense é bastante propícia para a exploração de rochas ornamentais, na qual seu embasamento cristalino cobre mais de 75% da superfície estadual. Neste contexto, destacam-se os “granitos” de modo geral, mármore, quartzitos, calcários, conglomerados e arenitos conglomeráticos. Apesar de todo este apelo para o setor extrativo, a indústria cearense de rochas ornamentais está basicamente voltada para a exportação de produtos acabados, destacando-se no âmbito nacional, em relação aos demais estados produtores.

As unidades litológicas que compõem o Ceará pertencem a compartimentação geotectônica regional denominada Província Borborema (Capítulo 4). Rochas cristalinas do embasamento com idades Pré-Cambrianas formam o arcabouço geológico-tectônico, o qual é segmentado por grandes zonas de cisalhamento, gerando blocos orogênicos com diversos tipos de rochas e evoluções tectono-metamórficas.

A diversidade de tipos rochosos encontrados no Estado do Ceará está relacionada às rochas cristalinas que compõem o embasamento. As variedades de gnaisses e migmatitos do Pré-cambriano (Arqueano e Paleoproterozóico), além dos batólitos e *stocks* graníticos Neoproterozóicos (alguns anorogênicos) são as principais fontes para rochas ornamentais no estado. Não menos importantes, porém menos antigas, pertencentes ao período Cretáceo, são as bacias sedimentares com rochas calcáreas das regiões do Cariri e do Apodi.

Fernandes (2004) considera que o Ceará surgiu de modo mais importante no mercado nacional a partir de 1994, com as principais jazidas de rochas ornamentais, perfazendo 85% da extração de granitos, situados principalmente na porção noroeste do Estado. Na parte Sul localizam-se as jazidas de calcário laminado (Pedra Cariri).

3.4.1 RESERVAS E PRODUÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO CEARÁ

Com base nos dados do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM/CE (2004), estão apresentadas no quadro 3.1 as reservas aprovadas de rochas ornamentais no Estado do Ceará. O DNPM aprovou 102 relatórios de pesquisa de rochas ornamentais, totalizando uma reserva medida de 856.942.020 m³ e indicada de 523.494.605 m³.

Quadro 3.1 - Reservas aprovadas de Rochas Ornamentais no Ceará

SUBSTÂNCIA	RESERVAS		
	Unidade	Medida (m ³)	Indicada (m ³)
Conglomerado	2	518.631	23.745.554
Diorito	2	20.326.642	2.746.860
Gabro	2	1.022.276	-
Gnaisse	8	73.052.478	10.907.951
Granito	75	647.272.865	379.685.296
Mármore	2	1.533.914	197.468
Migmatito	2	43.662.950	-
Monzonito	5	3.447.813	2.999.908
Riolito	1	62.755.875	5.040.000
Sienito	3	3.348.576	-
TOTAL	102	856.942.020	523.494.605

Fonte: DNPM/10º Distrito/CE. in Roberto *et al.*, (2005)

As principais jazidas de rochas ornamentais do Estado do Ceará estão localizadas nas regiões da: Meruoca, Santa Quitéria, Serra do Barriga (granitos Rosa Iracema, Branco Savana, Branco cristal Quartzo e Rosa Olinda), Itapipoca, Aracoiaba, Pedra Branca, Marco, Santana do Acaraú, Quixadá, Limoeiro do Norte e Santana do Cariri. Atualmente o Ceará conta com 29 concessões de lavra de rochas ornamentais, destacando-se principalmente o granito, com 26 portarias de lavra.

Segundo DNPM/CE (2004), a produção mensal de blocos de rochas gira em torno de 4.500 m³/mês, destacando-se o Granito Branco Ceará com cerca de 37% da produção estadual. A produção de Pedra Cariri (calcário laminado) gira em torno de 2.500 m³/mês. Em relação a Pedra Cariri, foram cadastradas pelo DNPM/CE cerca de 272 frentes de extração de Pedra Cariri nos municípios de Nova Olinda e Santana do Cariri (sul do Ceará). Hoje o Estado é o 2º maior produtor de blocos do Nordeste, ficando atrás apenas da Bahia e seguido pelo Estado da Paraíba.

A produção cearense de rochas em 2002 foi de 250.000 toneladas, correspondendo a 4,2% da produção brasileira e 28% da produção do Nordeste. Deste total 76% corresponde aos granitos e 24% aos calcários (Pedra Cariri).

3.4.2 EXTRAÇÃO DE ROCHAS DO CEARÁ

Até 1995 a extração de rochas no Ceará ocorria em matacões. Deste período em diante intensificou-se a lavra em maciços, utilizando-se técnicas de cortes laterais com *flame-jet* (*maçarico gigante*) e liberação da pastilha com perfuração e explosivos.

Técnicas mais modernas de extração, tais como fio diamantado e massa expansiva já são utilizadas nas jazidas cearenses, principalmente devido ao alto índice de recuperação da lavra e preservação futura da jazida e do meio ambiente.

Ultimamente a grande maioria da extração de rochas é executada em maciços, contudo ainda existe produção de blocos provenientes de matacões. Roberto (1998) considera que a produção neste tipo de lavra pode variar entre 30, até mais de 1000 m³/mês, com baixo custo (entre R\$ 80 a 100,00/m³), no entanto com baixa produção e qualidade de blocos. Os tipos graníticos produzidos em matacões no Ceará são: Knawa Gold, Rosa Olinda, Verde Meruoca, Verde Ventura, Vermelho Filomena e Vermelho Fuji. (Roberto *et al.*, 2005).

A extração em maciços exige um estudo de prospecção e avaliação para determinar o melhor local para início da frente de lavra. Este tipo de extração pode custar entre R\$ 100 a 200,00/m³, porém oferece melhor qualidade e padronização dos blocos, além de taxas de recuperação muito mais altas e menores impactos ambientais. As principais jazidas de maciços exploram os granitos: Branco Ceará, Cinza Prata, Meruoca Clássico, Rosa Iracema, Red Symphony, Branco Savana, entre outros. (Roberto *et al.*, 2005).

Segundo Fernandes (2004), existe uma grande concentração de direitos de lavra por parte das empresas no Ceará que devem ser considerados economicamente negativos, pois privam as demais empresas da obtenção de matéria prima de boa qualidade e aumentam a concorrência de mercado.

O setor extrativo encontra-se em processo de evolução, tanto em termos tecnológicos como em relação à produção de blocos. O número de profissionais especializados nesta área aumentou, assim como as técnicas de lavra nas jazidas. A utilização do fio diamantado proporciona maior produtividade às empresas, assim como ocorre com a argamassa expansiva, que oferece maior recuperação da jazida.

3.4.3 BENEFICIAMENTO DE ROCHAS NO CEARÁ

O beneficiamento de rochas ornamentais no Ceará gera uma produção mensal em torno de 98.000 m² de chapas e ladrilhos. Este segmento ocupa a segunda posição no nordeste brasileiro, com as empresas GRANOS e IMARF representando 42% da capacidade instalada do Estado. (Roberto *et al.*, 2005).

O segmento industrial de rochas ornamentais no Estado do Ceará é constituído de 40 teares e 11 talha – blocos de grande e médio porte. As indústrias cearenses de beneficiamento de rochas ornamentais estão concentradas na Região Metropolitana de Fortaleza, principalmente nos Municípios de Caucaia, Maracanaú, Aquiraz e Horizonte. No Município de Sobral, encontra-se instalada a única serraria do interior do Estado. (Roberto *et al.*, 2005).

3.4.4 EXPORTAÇÕES CEARENSES

Segundo Chiodi (2004), as exportações cearenses de rochas ornamentais somaram US\$ 2,5 milhões em 2002, US\$ 6,4 milhões em 2003, e deverão atingir US\$ 14 milhões em 2004 (Figura 3.5). Registrou-se, portanto, variação da ordem de 157% no faturamento, de 2002 para 2003, projetando-se incremento de 220% em 2004.

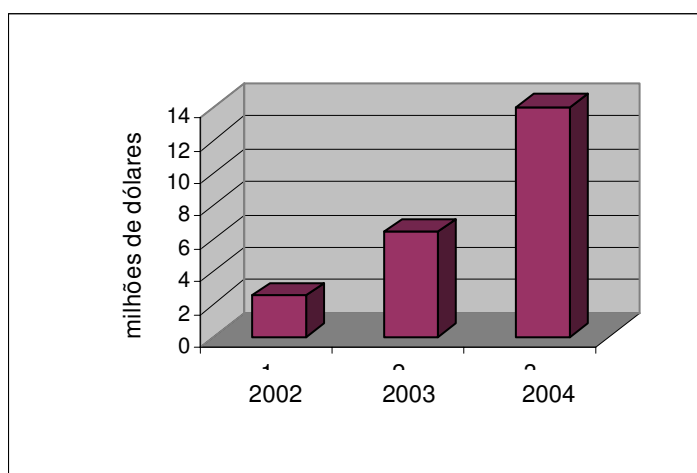


Figura 3.5: Evolução das exportações cearenses.

As exportações cearenses de rochas ornamentais ultrapassaram as da Bahia no primeiro semestre de 2004, tanto em faturamento quanto em volume físico. O Ceará tornou-se assim o 5º maior estado exportador brasileiro de rochas ornamentais, atrás do Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, transformando-se no maior estado exportador fora da região sudeste.

No Ceará exporta-se atualmente rochas denominadas comercialmente como: Granitos Branco Ceará (Granistone S/A), Branco Ártico, Golden Ártico, Verde Pantanal, Pantanal Light, e Rain Forest (Granos - Granitos do Nordeste S/A), Red Dragon, Golden Fóssil, Juparaná Fantástico, Ju Bordeaux, Bordeaux Terracota, Juparaná Montiel, Juparaná Light e Green Galaxy (Mont Granitos S/A), além de calcários sedimentares (Bege Capri, San Marino e Blue Marine) exportados pela Mont Granitos S/A para os Estados Unidos.

A exportação para a China já representa 35% de todo o “granito” exportado pelo Ceará. A expectativa do setor é que, nos próximos anos, este país ocupe a liderança no mercado importador, ultrapassando países como Itália, Alemanha e Portugal, principais compradores do granito cearense.

3.4.5 RECOMENDAÇÕES PARA O SETOR DE EXTRAÇÃO NO CEARÁ

Na etapa de abertura de lavra é indispensável a realização de estudos geológicos, envolvendo mapeamento detalhado, amostragem das variedades de rochas, levantamentos geofísicos, sondagens distribuídas e orientadas que permitam avaliar a viabilidade de um futuro investimento. Devem ser considerados no mesmo patamar de importância: análises petrográficas, caracterização tecnológica, cálculo de reservas, definição de métodos de lavra, testes de serragem e polimento, bem como marketing e avaliação de mercado dos produtos.

Roberto *et al.*, (2005) apresentam as seguintes recomendações de acordo com o potencial do Estado no setor de rochas ornamentais:

- A intensificação dos programas exploratórios regionais, utilizando recursos como: sensoriamento remoto, que permite determinar os principais domínios litológicos aflorantes: áreas de rochas maciças, faixas estruturalmente mais preservadas e campos de matacões;
- A pesquisa de detalhe, visando uma melhor qualificação dos materiais bem como os estudos de viabilização da lavra, sobretudo em maciços rochosos.

3.5 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA NO SETOR

Estudos realizados pela Organização das Nações Unidas mostraram que a duplicação da população entre 1950 e 1990 triplicou o índice de produção agrícola e aumentou em nove vezes o consumo de fertilizantes. Com bases nestes índices pode-se presumir para este século o quanto evoluirá a demanda de materiais de construção, produtos à base de petróleo, água e energia.

O grande desafio para os governos, sobretudo dos países em desenvolvimento é garantir o abastecimento de matérias primas. Para este fornecimento é imprescindível o conhecimento dos recursos, estratégias para exploração, investigação e exploração. É de suma importância desenvolver estruturas para que o valor agregado da extração destes recursos não seja utilizado por países ricos que dispõem de capital e tecnologia e sim pelos próprios países produtores, visando assim, a geração de emprego, renda e qualidade de vida para a população. Ainda em relação à adequação dos recursos à população, deve-se atentar para o fato de que a exploração dos recursos naturais seja de forma sustentável, minimizando os impactos ambientais que a extração, o beneficiamento e a utilização dos recursos possam causar ao meio ambiente e à população.

Tanto governo como empresas devem conhecer e valorizar os recursos naturais, estabelecer estratégias para explorá-los de forma racional e sustentável, beneficiando e estimulando os cidadãos, visando a distribuição de renda, o bem-estar da população atual e futura.

3.5.1 IMPORTÂNCIA DA QUALIFICAÇÃO TECNOLÓGICA NO SETOR

Atualmente não se pode mais dissociar o desenvolvimento do setor, da capacitação tecnológica da indústria brasileira, através de qualificação profissional, conhecimento técnico, atualização tecnológica de máquinas, equipamentos e insumos para lavra, beneficiamento e acabamento de rochas. Destaca-se ainda que o incremento consistente das exportações de rochas processadas e serviços será, em grande parte, decorrência do fortalecimento tecnológico do mercado interno.

O avanço das metodologias aplicadas em ensaios tecnológicos, bem como a ampla normatização, tende a fornecer ao mercado consumidor, materiais mais nobres, visto que o amadurecimento deste mercado cresce conjuntamente com a melhoria das técnicas e informações a respeito do uso e aplicações das rochas ornamentais.

CAPÍTULO 4. O STOCK GRANÍTICO SERRA DO BARRIGA

GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

4.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Neste capítulo as rochas que compõem a o corpo granítico da Serra do Barriga serão inseridas no contexto geológico regional, enquadrando o referido *stock* granítico no arcabouço geotectônico e estratigráfico do Ceará e da região Nordeste.

4.1.1 PRINCIPAIS DOMÍNIOS ESTRUTURAIS DO PRÉ-CAMBRIANO NO CEARÁ

O Pré-Cambriano no Estado do Ceará foi dividido em cinco unidades geotectônicas distintas segundo Arthaud *et al.*(1998) as quais possuem características litoestratigráficas, estruturais e metamórficas próprias. Estes segmentos crustais são representados pelos terrenos: (A) Noroeste Ceará, (B) Ceará Central, (C) Domínio Orós-Jaguaribe, (D) Maciço Rio Piranha e (E) Maciço Piancó-Alto Brígida, que se encontram compartimentados com limites marcados por megazonas de cisalhamento (Patos, Orós, Senador Pompeu e Aiuaba), persistentes por centenas de quilômetros e assumindo, muitas vezes, padrões anastomosados (Figura 4.1).

O *Stock* granítico Serra do Barriga constitui um dos diversos corpos graníticos que intrudiu no embasamento gnáissico-migmatítico pertencente ao segmento crustal denominado Domínio Ceará Central (DCC).

Em torno de 80% da área do Estado do Ceará é constituída por dois segmentos tectônicos denominados de Domínio Noroeste Ceará, localizado no extremo NW do Estado, e Domínio Ceará Central (DCC) limitado à noroeste, pelo Lineamento Sobral–Pedro II, a sudoeste pelos sedimentos da Bacia do Parnaíba, a sul e a leste pela Zona de Cisalhamento Orós (Arthaud *op. cit.*) (Figura 4.1).

4.1.2 DOMÍNIO CEARÁ CENTRAL (DCC)

O DCC abrange aproximadamente 80.000 km² de extensão, é essencialmente formado por terrenos de idade Pré-cambriana com cerca de 2,0 Ga (Fetter, 1999) e composto por embasamento gnáissico-migmatítico com várias fases de deformação, seqüências supracrustais e intrusões graníticas sin a pós-tectônicas, que apresentam caráter cálcio-alcalina a localmente subalcalina com tendências alcalinas. Estas intrusões

foram geradas por um magmatismo granítico desencadeado no final do Ciclo Brasileiro responsável pela intrusão de diversos complexos batolíticos a corpos circunscritos e unidades menores (Almeida *et al.*, 1977), como o *Stock Serra do Barriga*.

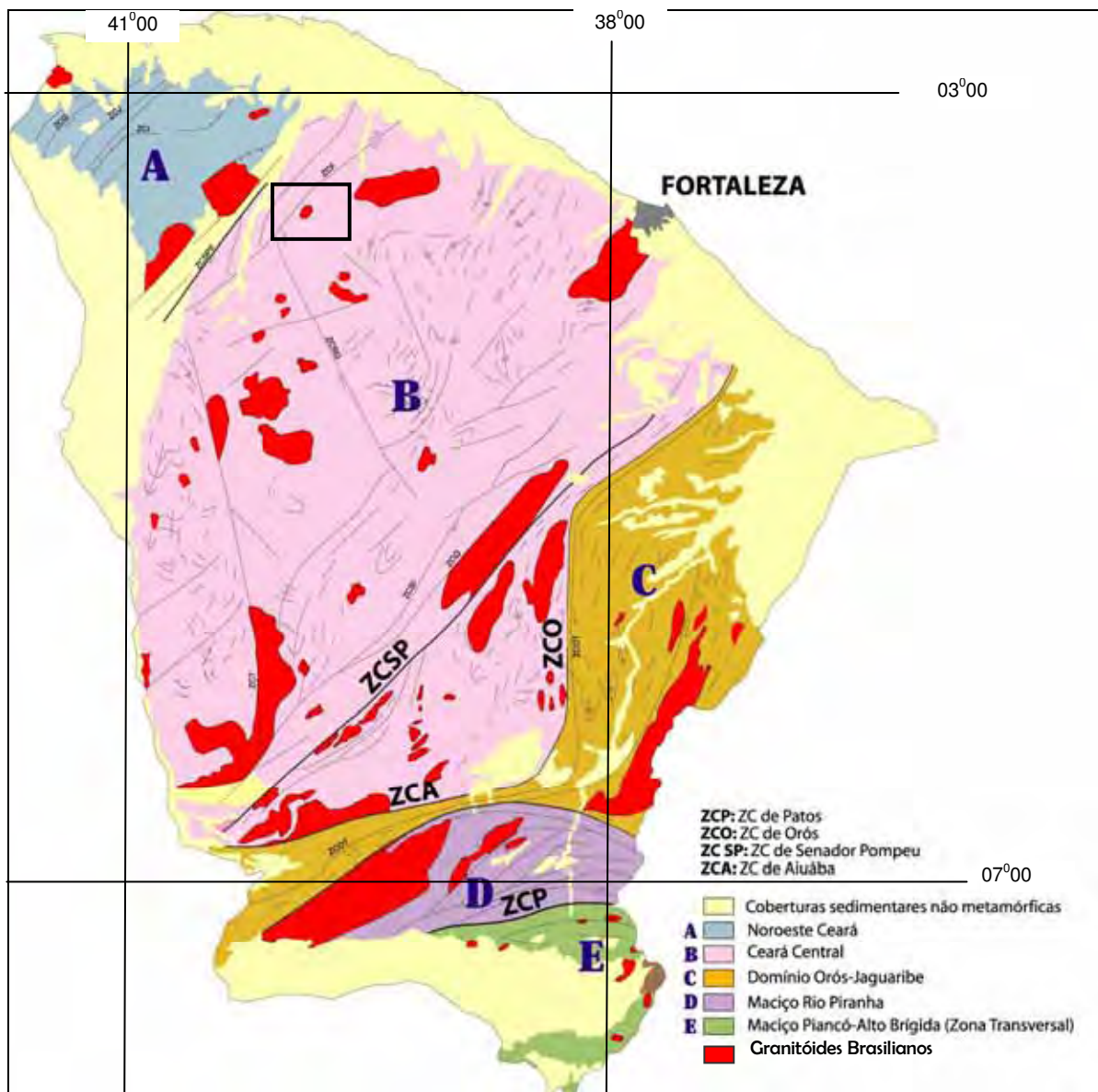


Figura 4.1 Divisão dos domínios tectônicos do Pré-Cambriano no Estado do Ceará proposta por Arthaud *et al.* (1998). No retângulo, o enquadramento da área de estudo.

No DCC foram distinguidas feições complexas e de grande magnitude, como estruturas em forma de *nappes*, corpos plutônicos e vulcânicos distribuídos, geralmente em concordância com o *trend* regional marcado pelos grandes lineamentos estruturais (Arthaud *et al.* (1998). Além destas estruturas, formaram-se bacias sedimentares como Jaibaras, Cococi, entre outras, com preenchimento vulcanossedimentar, desenvolvidas provavelmente a partir da reativação de estruturas mais antigas, como falhas e/ou zonas de cisalhamento primitivas (Figura 4.1).

A variedade litológica deste domínio e seus arranjos estruturais complexos são mostrados pela intensa tectônica tangencial de baixo ângulo, formadora das *nappes* da parte central e norte. As estruturas do embasamento gnáissico-migmatítico (deformações policíclicas), junto com as coberturas metassedimentares alóctones de caráter monocíclico, sugerem para esta porção da Província Borborema uma evolução policíclica (Arthaud *et al.*, 1998). A deformação ocorre em diferentes intensidades e sugere que os principais mecanismos que atuaram no processo evolutivo dos tipos graníticos são, no mínimo, sincrônicos ao evento Brasileiro.

A estruturação regional é a mesma representada pelos grandes lineamentos em sentido NE-SW, e pelas Falhas de Forquilha e Humberto Monte, ambas de caráter transcorrente. A porção à sudeste da Falha de Forquilha é fortemente marcada por estruturas alongadas em direção N-S, (Nogueira Neto, 2000). A área onde está inserido o *stock* granítico Serra do Barriga, situa-se na porção noroeste do DCC (Domínio Ceará Central), a sudeste da Falha de Forquilha (Fig. 4.2).

O Domínio Ceará Central (DCC) encontra-se sobreposto por seqüências supracrustais compostas por xistos, quartzitos, calciossilicáticas, paragneisses e metacalcários, depositadas no meso/neoproterozóico e metamorfisadas durante o evento Brasileiro (Arthaud *et al.*, 1998). São encontradas nesta região diversas intrusões graníticas, dentre estas, o *stock* granítico da Serra do Barriga, que ocorre encaixado tanto na seqüência inferior do embasamento gnáissico-migmatítico Pré-cambriano, quanto nas seqüências metassedimentares, representadas pelas Unidades Canindé e Independência (Cavalcante *et al.*, 2003).

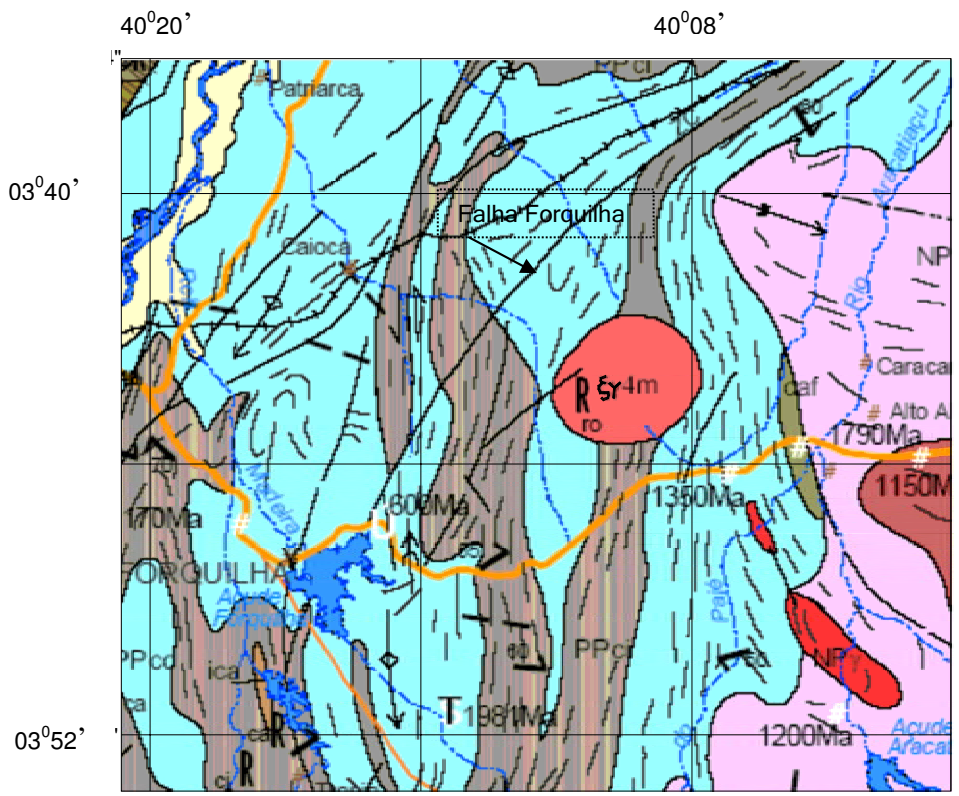


Figura 4.2 - Mapa Geológico-Estrutural da área onde está inserido o Granito Serra do Barriga mostrando a estrutura circular do corpo granítico e suas rochas encaixantes. (ligeiramente Modificado de Cavalcante *et al.*, 2003). Escala Aproximada: 1: 300.000

LEGENDA:

εγ4m Suíte Granitóide Meruoca: monzonitos, granodioritos e sienitos (granito Serra do Barriga) com predomínio da fácies equigranular, com granulação de média a grossa, incluindo fácies porfíricas; tons avermelhados a cinzentos ou esbranquiçados.

NPγ Granitóides diversos: biotita-granitos, monzogranitos, sienitos, quartzomonzonitos e granitos porfíricos, em parte somados num mesmo espaço cartografado. NP(?) - granitóides de cronologia NP duvidosa.

NP(PP)ts Complexo Tamboril-Santa Quitéria: associação granito-migmatítica, envolvendo granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, de granulação variável até termos porfíricos, gnaissificados; para e ortognaisses migmatíticos, além de rochas calcissilicáticas, anfibolitos e, localmente, rochas ferríferas e metaultramáficas; NP(PP) ts.- ortognaisse facoidal milonítico.

PPci Unidade Independência (Cariré-Sobral): paragnaisses e micaxistos aluminosos (em parte migmatíticos), incluindo quartzitos (iq), metacalcários (ica), rochas calcissilicáticas e, mais raramente, anfibolitos.

PPcc Unidade Canindé: paragnaisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortognaisses ácidos e rochas metabásicas: metagabros, anfibolitos e gnaisses dioríticos, metagabros e metaultramáficas serpentinizadas e xistificadas, lentes de quartzitos (cq), metacalcários (cca), rochas calcissilicáticas (ccs), formações ferríferas (cfe) e ferro-manganesíferas, além de metaultramáficas (c); cgnl - granulitos máficos, enderbitos e leptinitos; caf - anfibólio gnaisses e/ou anfibolitos;.

Complexo Ceará

Nos gnaisses orto e paraderivados encaixantes do granito Serra do Barriga observa-se uma foliação bem pronunciada, de direção NNE e mergulho variando entre 35°-60° para ESE. Estas e outras estruturas sugerem a instalação de esforços de diversas magnitudes, responsáveis pelas zonas de cisalhamento, nas quais as rochas sofreram intensa deformação. Muitas feições encontradas nos ortognaisses denunciam a intensa deformação deste nível crustal, em destaque estão a forte milonitização (Sauerbronn, 2003).

4.1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DAS UNIDADES NA LITOESTRATIGRAFIA

A coluna estratigráfica da região da Serra do Barriga segue o modelo dado pelo arcabouço estrutural da porção noroeste do Domínio Ceará Central identificado no mapa da CPRM (Cavalcante, *et al.* 2003). Neste contexto as unidades mais antigas foram identificadas com idades relacionadas ao Paleoproterozóico

PALEOPROTEROZÓICO

Formado por ortognaisses de composição tonalítica e granodiorítica de alto grau metamórfico (Caby & Arthaud, 1986), o Complexo do Embasamento encontra-se sobreposto pelas Unidades Independência e Canindé (Cavalcante *et al.*, 2003). A alternância desses litotipos e as estruturas geradas pelo retrabalhamento sofrido durante o Ciclo Brasileiro, nesta porção inferior do embasamento, apresentam uma grande complexidade que dificulta a divisão desta unidade.

Considerando o modelo geológico regional adotado para esta porção do noroeste do Domínio Ceará Central, assumiu-se que a seqüência ortoderivada composta por ortognaisses, migmatitos, calciossilicáticas e anfibolitos, constituem o embasamento da área, em acordo com as proposições feita por Caby & Arthaud (1986), Tavares Jr. (1992) e Nogueira Neto (2000).

MESO / NEOPROTEROZÓICO

O Meso / Neoproterozóico é representado por coberturas metassedimentares reunidas no Complexo Ceará (Arthaud *et al.*, 1998). Arthaud (2005) sugere substituir Grupo Ceará por Complexo Ceará. Estas seqüências exibem associações de rochas essencialmente pelíticas ou semi-pelíticas, com contribuições variáveis, mas subordinadas, de quartzitos e carbonatos (mármore e rochas calciossilicáticas). A presença de rochas metavulcânicas ácidas ou básicas é limitada.

Arthaud (2005) considera que os dados geocronológicos disponíveis, apesar de insuficientes e inconclusivos, mostram uma história deformacional monocíclica desta seqüência e o único ciclo orogênico que afetou estas coberturas foi o Ciclo Brasileiro, ao final do Neoproterozóico. A idade isocrônica Sm/Nd de 621 ± 160 Ma (rocha total e granada) obtida em paragnaisses da região de Itataia (Santos, 2003) pode ser considerada como a idade possível do pico metamórfico na região, a despeito da grande imprecisão.

O Complexo Ceará a noroeste do DCC é formado pelas Unidades Independência e Canindé, que são intrudidas pelo *stock* granítico Serra do Barriga. A Unidade Independência é composta por paragnaisses e micaxistos aluminosos (em parte migmatíticos), incluindo quartzitos, metacalcários, rochas calcissilicáticas e, mais raramente, anfibolitos; enquanto a Unidade Canindé é constituída por paragnaisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortognaisses ácidos e rochas metabásicas.

A Unidade Independência está disposta em faixas alongadas segundo direção preferencial N-S, observadas à leste do Município de Caioca, e estendendo-se ao norte até as proximidades da Falha de Humberto Monte. Estruturalmente a faixa alongada com direção N-S sofre inflexão ao norte, na forma de uma suave dobra de arrasto, vergando para NE, em posição paralela à Falha de Forquilha. Uma destas faixas está cortada pela intrusão granítica Serra do Barriga (Figura 4.2).

NEOPROTEROZÓICO

São atribuídos por Arthaud (2005) ainda ao Neoproterozóico, o Complexo Tamboril-Santa Quitéria e os granitos brasileiros. O Complexo Tamboril-Santa Quitéria é caracterizado pela intensa migmatização associada à presença de grande volume de granitos anatéticos e de restitos constituídos essencialmente por anfibolitos e rochas cálciossilicáticas. Fetter *et al.* (2003) concluem que os protólitos desta unidade foram gerados em ambiente de arco magmático continental.

O Complexo Tamboril-Santa Quitéria é formado por uma associação granito-migmatítica, envolvendo granitóides cinzentos e rosados, de granulação variável gnaissificados ou não, em jazimentos de geometrias e dimensões diversas. Apresentam para e ortognaisses migmatíticos, além de rochas calcissilicáticas, anfibolitos e, localmente, rochas ferríferas e metaultramáficas (relacionadas ao Complexo Ceará), conforme Cavalcante *et al.* (2003).

Segundo os dados isotópicos, as rochas metaplutônicas do Complexo Tamboril–Santa Quitéria apresentam mistura de magmas juvenis neoproterozóicos com gnaisses paleoproterozóicos circunvizinhos, em que, as rochas metassedimentares basais, seriam produtos da erosão do material juvenil. Datações de corpos graníticos deformados indicam 649 e 615 Ma (U-Pb em zircão), representando os últimos estágios da evolução do arco, caracterizados por aumento progressivo crosta, principalmente por refusão do material magmático mais precoce (Fetter *et al.*, 2003).

No Domínio Ceará Central, os granitos pré-colisionais correspondem ao Complexo Tamboril-Santa Quitéria. Os granitos sin-colisionais são divididos em dois tipos: sin-fase tangencial - ocorrem como lâminas gnáissicas muito deformadas e de difícil individualização associados ao espessamento da crosta (ex. muscovita granitos de Banabuiú) e sin-transcorrências - associados à fase de extrusão lateral consecutiva ao espessamento, com idade (U/Pb) em torno de 590 Ma (ex. granitos de Quixeramobim, Quixadá) – (Arthaud 2005).

Os granitos pós-colisionais estão representados pelos complexos anelares (ex Tauá e Taperuaba) e por *stocks* graníticos do tipo Serra do Barriga, São Paulo, Reriutaba, Mucambo e Meruoca. Apesar de localizados no Domínio Noroeste Ceará, os últimos granitos foram intrudidos quando os domínios Ceará Central e Noroeste Ceará já haviam sido suturados e passavam por evolução conjunta (Arthaud, 2005).

PALEOZÓICO

Os granitóides Brasilianos tardi a pós-tectônicos são compostos por vários corpos graníticos discordantes, alguns de grandes dimensões como os granitos Meruoca, Mucambo e Pajé, além de vários outros de menor expressão, com destaque para os *stocks* Serra do Barriga, Morrinho e São Paulo. Segundo Tavares Jr. (1992), posicionados no Proterozóico Superior.

Segundo estudos desenvolvidos por Tavares Jr. (1992) os dados geocronológicos e geoquímicos dos granitos Pajé, Morrinho e Serra do Barriga além de colocá-los no mesmo contexto geotectônico dos *plutons* Mucambo e Meruoca, indicam que a granitogênese atuante no noroeste do Ceará estendeu-se até o período Ordoviciano. Os granitos Pajé e Serra do Barriga apresentam forte similaridade mineralógica e geoquímica de composição alcalina a subalcalina, com tendência potássica variando entre peraluminosa a metaluminosa.

Datações Rb-Sr e U-Pb realizadas nestes corpos indicam idades de 475 ± 15 Ma a 522 Ma (Tavares Jr, 1992; Mattos *et al.*, 2003), considerada transição do Proterozóico para o Paleozóico. A localização destes corpos nas margens das grandes zonas de cisalhamento (Tauá, Lineamento Transbrasiliano) ou de falhas (Falha do Rio Groaíras) mostra que seu alojamento está relacionado ao final da atividade das mesmas, já em condições crustais mais rasas.

O Granito da Serra da Barriga é considerado por Arthaud (2005) como um dos últimos granitos relacionados com a orogênese brasileira, com idade associada ao Cambriano médio $522 \pm 7,6$ Ma pelo método U-Pb em monazita (Mattos *et al.*, 2003).

CENOZÓICO

As Coberturas Sedimentares possuem natureza aluvionar e/ou coluvionar, estendendo-se desde as encostas baixas da Serra do Barriga, até os pequenos vales encaixados pelas drenagens. A natureza dos sedimentos é essencialmente clástica, onde pequenos seixos de quartzo, fragmentos de rocha e areias de granulometrias grossa e média, perfazem o total dos sedimentos provenientes da erosão do maciço granítico e parte de seus litotipos encaixantes.

Nas partes baixas, onde predominam as formas de acumulação, nota-se a presença de finas camadas avermelhadas de material argiloso, onde também são encontrados calhaus e matacões do granito. As drenagens existentes na área possuem pouca competência de transporte de sedimentos, encontrando-se com poucos centímetros de lâmina d'água ou mesmo totalmente secas durante quase todo o ano.

4.2 GEOLOGIA DO STOCK GRANÍTICO SERRA DO BARRIGA

4.2.1 TRABALHOS ANTERIORES

Os primeiros estudos com enfoque na área pesquisada foram realizados através dos Projetos Fortaleza (Braga, *et al.* 1977) e Jaibaras (Costa, *et al.* 1979), nos quais o Maciço Serra do Barriga é considerado como uma expressão morfológica marcante, constituindo um autêntico *inselberg*, com cotas superiores a 800 metros, e tendo como suporte rochas plutônicas de composição granítica a sienítica. Estruturado como um *plug* granítico de contorno circular, corta bruscamente as lineações e estruturas das rochas encaixantes.

O granito Serra do Barriga está alojado em duas unidades: Unidade Canindé como embasamento, formado por ortognaisses de composição tonalítica e granodiorítica de alto grau metamórfico (Caby & Arthaud, 1986) e Unidade Independência, como uma seqüência supracrustal, composta por xistos, quartzitos, calciossilicáticas, paragnaisses e metacalcários dispostos em faixas alongadas. Uma destas faixas é cortada pela intrusão granítica pós-tectônica da Serra do Barriga (figura 4.2). O contato do *stock* granítico da Serra do Barriga com estas duas unidades ocorre de modo brusco e intrusivo, não gerando auréolas metamórficas de contato.

Tavares Jr. (1992) ressalta que a estrutura que domina a Serra do Barriga encontra-se encaixada em rochas supracrustais caracterizadas pela Unidade Independência (anteriormente conhecida por Unidade Cariré-Sobral). A disposição geométrica do corpo confere ao granito um caráter tipicamente intrusivo, ou seja, a colocação do corpo se dá discordantemente ao *trend* regional de foliações segundo a direção N-S. O contato da seqüência supracrustal está restrito às porções norte e sul do corpo granítico (figura 4.2).

Mesquita (2002) advoga que o granito Serra do Barriga ocorre como uma das diversas estruturas físicas que cortam o interior do Complexo Santa Quitéria. Este complexo representa uma assembléia neoproterozóica de plútons de composição granodiorítica a tonalítica, variavelmente deformada, cobrindo uma área de porções batolítica.

Costa *et al.* (1979) classificam o granito Serra do Barriga como um microclínio granito pós-cinemático. Consideram também, que este, corresponde a um granito grosseiro de textura porfirítica e pegmatóide, branco a cinza claro, composto por microclínio pertítico subédrico. Quartzo e oligoclásio constituem secundariamente a rocha. Biotita como acessório principal e fluorita intersticial, muscovita e sericita como acessórios secundários. Ocorre caulinição seletiva no plagioclásio, enquanto o feldspato potássico mostra-se

inalterado. Segundo estes autores, os granitos da Serra do Barriga são comparados à microclínio granitos pós-cinemáticos da Finlândia (Marmo, 1971), essencialmente formados por microclínio intensamente pertitzados, plagioclásio do tipo oligoclásio (30% Na), quartzo e secundariamente, biotita e fluorita.

Tavares Jr (1992) considera que o granito em estudo exhibe colorações rosadas ou cinza esbranquiçados e quando alterados, tornam-se amarelados. São rochas hololeucocráticas com índice de cor abaixo de 5, granulação grossa e equigranular com alguns tipos porfíricos devido à borda de resfriamento, e nas partes centrais equigranulares grossos.

4.2.2 ARQUITETURA DO GRANITO

O corpo granítico que constitui a Serra do Barriga apresenta uma forma tipicamente arredondada, circunscrita, típica de *stock*, cujo diâmetro varia entre 6 a 7,5 km, com extensão de aproximadamente 30 km². As suas estruturas apresentam distribuição anelar no corpo granítico. Sua geomorfologia mostra dois picos (Fotografia 4.1) com cotas topográficas máximas de 662 m e 730 m cortados por dois sistemas principais de fraturas (Subitem 4.2.4 e Figura 4.3 e 4.7).

A área ao redor da Serra do Barriga exhibe um relevo aplainado, bastante arrasado, típico dos gnaisses retrabalhados, enquanto que a serra mostra-se como “morro-testemunho” inteiramente constituída pelo granito (Fotografia 4.2). Os terrenos com cota topográfica em torno de 200 m que contornam a base dos picos, estão cobertos por lajeados alongados em forma de “charutos” e também por matacões com as mais variadas dimensões e formas (Fotografias 4.3 A e B). Estes matacões distribuem-se por cerca de 2 km de extensão, contornando as encostas da serra até o contato com o gnaisse; sendo que a grande maioria destes matacões deriva da erosão da serra. O gradiente topográfico nas porções leste e oeste é bastante íngreme, enquanto que nas porções norte e sul apresenta-se mais suave.

Os contatos do granito com suas rochas encaixantes foram primeiramente definidos com auxílio da análise de foto-aérea, onde estão nitidamente demarcados. Nos trabalhos de campo, os limites do granito exibiram contatos bruscos tanto com as rochas ortognáissicas, como com a seqüência supracrustal xistosa sem auréolas de metamorfismo de contato. Estas ocorrências podem sugerir que a intrusão do granito ocorreu sob consideráveis diferenças de temperatura com as rochas encaixantes. Estas rochas por

apresentarem composições primordiais semelhantes ao granito e por não haver a presença de veios hidrotermais, indicando ausência de água, não apresentam reações evidentes como auréolas metamórficas de contato.

O *stock* granítico Serra do Barriga constitui parte de um evento magmático, responsável por diversas intrusões magmáticas (Morrinhos, Pajé, Mucambo, Santa Rosa, etc) surgidas após o Ciclo Brasileiro. Este granito é caracterizado como pós-tectônico, por não apresentar nenhuma textura ou estrutura que denote deformações tectônicas dúcteis. O granito de forma geral mostra-se mais isótopo e homogêneo à medida que se aproxima do centro do corpo, sendo que as únicas estruturas passíveis de serem identificadas foram suaves foliações magmáticas registradas apenas na borda do maciço; além de outras feições como veios aplíticos, xenólitos, textura porfiróide, cumulática e pegmatóide (Fotografias 4.4 A e B). Ocorrem também veios posicionados sob estado plástico do granito (Fotografia 4.5 A). As feições associadas às deformações frágeis, como veios e fraturas estão descritas no item de geologia estrutural.

O granito que compõe a Serra do Barriga possui caráter polintrusivo. Apresenta variadas texturas, cores e tonalidades no mesmo corpo granítico que provavelmente podem ser resultantes da incorporação de novos pulsos magmáticos graníticos, bem como de assimilação de xenólitos da encaixante e também por alterações tardias a pós-magmáticas. O corpo granítico apresenta, localmente, feições de misturas de magmas de natureza graníticas caracterizadas por pulsos magmáticos sin intrusivos. A fotografia 4.5 B ilustra diferentes proporções de mistura ocorrida entre magmas graníticos através da intrusão de um magma de composição granítica mais enriquecido em minerais máficos (biotita granito de granulação fina a média) em sienogranito de textura pegmatóide ou provavelmente cumulática parcialmente líquido, onde o primeiro apresenta um nítido exemplo de engolfamento de fenocristais da porção cumulática do segundo material granítico.

Diversos tipos faciológicos são distinguidos no domínio do granito Serra do Barriga, cujos critérios de variação estão associados à coloração, granulação e proporção mineralógica. Ocorrem tipos graníticos de coloração rosa inequigranular, rosa acinzentado porfirítico, rosa claro, rosa pegmatítico, branco porfirítico, branco inequigranular grosso e branco acinzentado de granulação média a grossa, porém nem todos são passíveis de divisão, visto que alguns apresentam limites transicionais e outros não oferecem extensão mapeável. Todos estes diferentes fácies foram identificados, porém optou-se por investigar apenas os fácies já explorados comercialmente, que além de apresentarem maior volume,

geram maior interesse e, conseqüentemente, maior aplicabilidade dos resultados da pesquisa para a indústria de rochas ornamentais.

Para o desenvolvimento do presente estudo foram selecionados apenas os tipos graníticos explorados como rochas ornamentais. Estes diferentes tipos são denominados respectivamente na forma comercial e petrográfica como: Rosa Iracema - sienogranito inequigranular grosso de coloração rosa; Rosa Olinda - monzogranito porfirítico de coloração rosa acinzentada; Branco Savana - sienogranito inequigranular médio a grosso de coloração branca; e Branco Cristal Quartzo - sienogranito inequigranular grosso de coloração branca. A utilização destes tipos graníticos como rocha ornamental é amplamente reconhecida pela indústria local e nacional.

Os trabalhos de campo, bem como as análises petrográficas permitiram determinar os quatro tipos faciológicos explorados, porém foi possível delimitar espacialmente apenas três tipos no mapa geológico do *stock* granítico Serra do Barriga, conforme ilustra a figura 4.3.

O arcabouço do *stock* granítico é formado pelo granito rosa definido petrograficamente como sienogranito inequigranular grosso, que exibe uma suave gradação para a tonalidade rosa claro, recebendo denominação comercial de granito Rosa Iracema. Esta constitui a faciologia dominante em todo o corpo granítico, com área total de 34.479.056 m², correspondendo a 91% da superfície da Serra do Barriga, se apresentando na base como lagedos e em campos de matações com volumes variáveis e maciço nas encostas. Os outros tipos faciológicos ocorrem localizadamente, em forma de porções anelares e circunscritas dentro do tipo granítico rosa, assim como outras estruturas como veios e enclaves (Figura 4.3).

Os granitos do tipo branco, com superfície total de 1.660.080 m², representam 4,3% da área do *stock*, se apresentam como lagedos na base e maciço nas encostas, sendo os contatos com o granito Rosa Iracema extensamente gradacional. Afloram na borda oeste do maciço em duas porções com formas elipsóides com área total de 143.018 m², na borda sudoeste em formação similar com área de 126.059 m² e uma porção maior de forma irregular de 592.485 m². Na porção leste do *stock* granítico esta faciologia aflora em lagedos, com superfície total de 798.518 m², apresentando-se de forma alongada no sentido nordeste-sudoeste levemente curvada acompanhando parte do contorno da borda leste da serra e encontra-se posicionada junto as áreas de ocorrência do granito Rosa Olinda que aflora mais próximo à borda do *stock*. O contato com o granito Rosa Iracema apresenta-se

como na borda leste, de forma gradacional, no entanto com o tipo granítico Rosa Olinda ocorre de modo brusco (Fotografia 4.6 e Figura 4.3).

Nestes granitos brancos distinguem-se dois tipos definidos petrograficamente como sienogranitos inequigranulares de granulação média a grossa - Branco Savana e sienogranitos inequigranulares de granulação grossa - Branco Cristal Quartzo. Entretanto, não foi possível delimitá-los espacialmente no mapa geológico por apresentarem variações texturais gradacionais, alternadas e muito próximas entre si. Estas porções de granito branco podem ter sido formadas por alterações pós a tardi-magmáticas associadas à fraturamentos antigos.

O tipo granítico rosa acinzentado porfirítico, definido petrograficamente como monzogranito porfirítico e denominado comercialmente como Rosa Olinda, possui superfície total de 1.815.270 m², representando 4,7% da área do *stock* e se apresenta como lagedos e campo de matações com volumes variáveis na base e maciço nas encostas. Ocorre principalmente na borda leste do *stock* (Figura 4.3) em duas porções de formas irregulares, com área total de 1.764.833 m², sendo uma área com superfície de 1.124.143 m² aflorante mais à sudeste da borda leste na forma de lagedos com posicionamento alongado no sentido norte-sul e uma segunda porção de 640.690 m² posicionada mais à norte, aflorando principalmente em forma de matações e secundariamente em maciços. Na porção central do *stock*, afloram duas porções desta faciologia com formas de elipsóides e superfície total de 50.437 m². Os contatos desta rocha com as outras faciologias apresentam-se nitidamente de modo brusco (Fotografia 4.6 e Figura 4.3).

O granito Rosa Olinda exhibe características litológicas mais distintas em relação aos outros fácies estudados, pois além da textura porfirítica, possui maior teor de máficos (biotitas, anfibólios e allanitas). Este tipo granítico parece ser o resultado da intrusão de um outro pulso magmático, evidenciado pelos contatos bruscos (Fotografia 4.6) com o tipo rosa de granulação grossa e pela presença de enclaves máficos digeridos e misturados ao granito.

Os contatos gradacionais registrados entre os granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) e o Rosa Iracema estão relacionados à transição de tipos graníticos menos alterados (rosas) para tipos mais alterados (brancos) provavelmente por reações deutéricas. O corpo granítico apresenta, de modo localizado, variações nas concentrações de feldspatos e máficos, modificando a sua coloração de rosa para rosa claro e de branco para branco acinzentado. São comuns também, variações nas dimensões e proporções de feldspatos (potássicos e cálcicos) e quartzo, modificando a textura de inequigranular grosso

para porfirítico, atingindo até feições pegmatóides localizadas, associadas às zonas de contato na porção leste do *stock* Serra do Barriga com os ortognaisses encaixantes.

Os enclaves máficos microgranulares de rocha milonítica das encaixantes ocorrem de modo restrito, sobretudo nas bordas nordeste e noroeste do corpo granítico. A proporção de enclaves diminui das bordas para o centro do corpo granítico. Aparecem de forma localizada, diques sin-plutônicos constituídos por cristais de plagioclásio envoltos em uma matriz fina de hornblenda, biotita e quartzo. Ocorrem veios de material aplítico rosa, (provavelmente porções mais finas do próprio magma) de espessuras que variam entre 1 a 60 cm, distribuídos nas bordas oeste e leste do granito com direção leste-oeste. A grande maioria destas estruturas referidas acima ocorre no granito Rosa Iracema.

Os granitos da Serra do Barriga, de um modo geral, são compostos por cristais inequigranulares de feldspatos alcalinos (microclínio), quartzo e plagioclásios (albita e oligoclásio) de granulação média a grossa hipidiomórficos, com biotita, clorita e mica branca. Ocorrem termos porfiríticos composto por fenocristais de feldspatos alcalinos em meio a uma matriz quartzo-felspática com biotita.

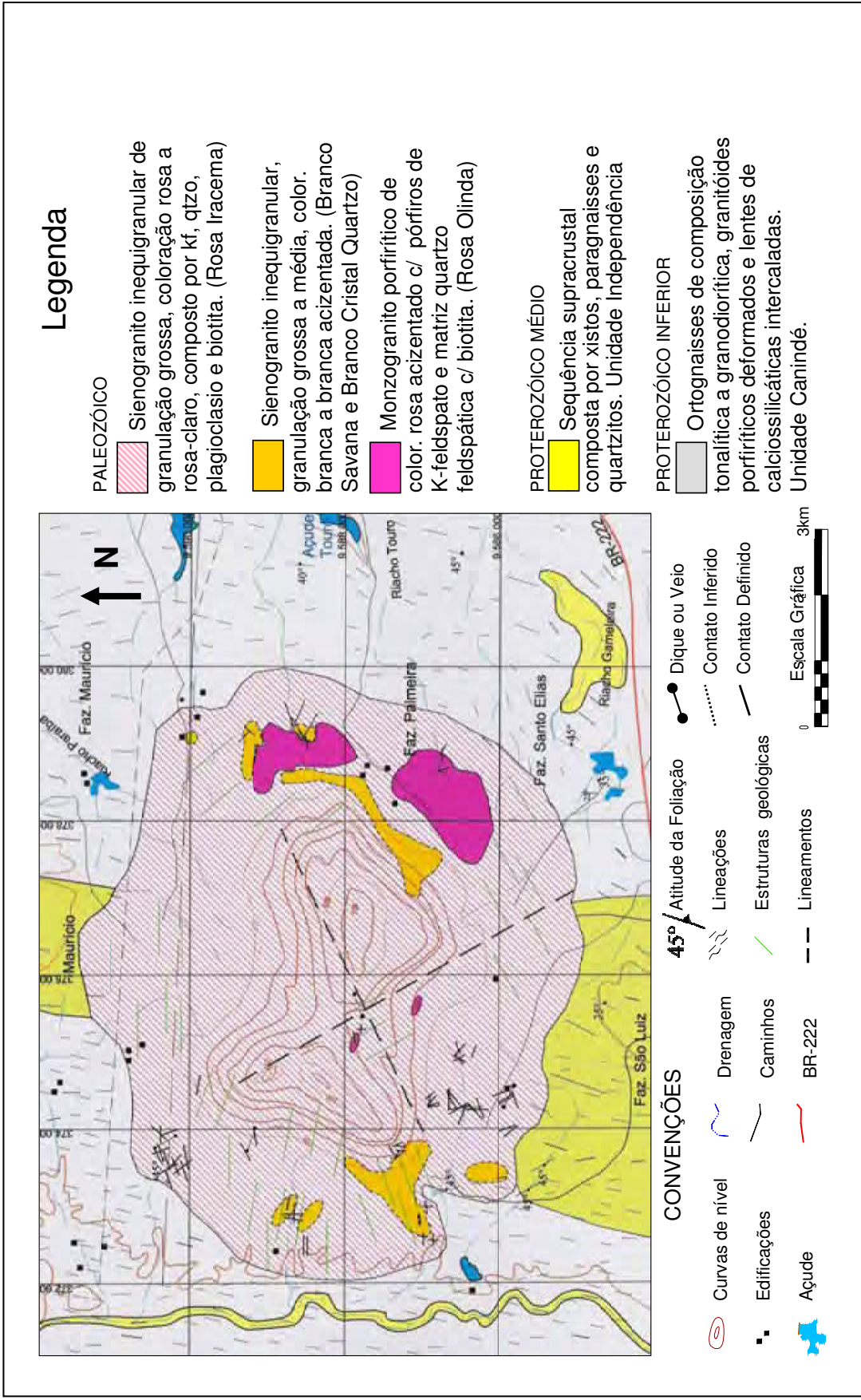


Figura 4.2 – Mapa Geológico Simplificado do stock Granítico Serra do Barriga com suas principais variações faciológicas. Escala 1:25.000

4.2.3 GEOCROLOGIA

Costa *et. al.* (1979) posicionaram o granito da Serra do Barriga no Pré-Cambriano e o definiram como sendo um típico microclínio granito pós-cinemático. Brito Neves (1974 e 1975) por sua vez, subsidiado por datações radiométricas, aponta idade em torno de 440 Ma (método K/Ar). O maciço intrusivo é assim, correlacionado ao mesmo evento do granito intrusivo Meruoca. Segundo estes autores os dois maciços correspondem a granitos anorogênicos ou pós-cinemáticos.

A idade de 485 ± 8 Ma (método Rb/Sr) obtida para o Granito Serra do Barriga, segundo Tavares Jr. (1992), pode representar a época de sua cristalização, pois trata-se de um plúton granítico isótopo, sem evidências de abertura no sistema Rb-Sr . A sua razão isotópica inicial obtida é relativamente alta (0,7096) revelando participação de material crustal. Esta idade obtida pode indicar uma granitogênese até períodos iniciais do fanerozóico. A razão isotópica mais elevada em relação aos demais granitos (Morrinhos, Pajé, Meruoca, Mucambo) pode ser resultado de uma provável heterogeneidade na fonte destes granitos.

Segundo Nogueira Neto *et al.* (1997c), o início do magmatismo plutônico de caráter sin-cinemático, deu-se à aproximadamente 564 ± 94 Ma (U/Pb em zircões) e desenvolveu-se até cerca de 475 ± 15 Ma (Tavares Jr., 1992 Rb/Sr em rocha total).

No presente estudo, foram realizadas datações utilizando-se o método U/Pb em grãos de monazitas do sienogranito inequigranular grosso (Rosa Iracema). O diagrama apresenta intercepto inferior da concórdia em 0 ± 30 Ma, e intercepto superior em $522,2 \pm 7.6$ Ma. Assim a idade determinada corresponde a $522,2 \pm 7.6$ Ma (Figura 4.4).

O quadro 4.1 relaciona os dados de U e Pb utilizados para obtenção da idade do granito Serra do Barriga. São também apresentados, a título de correlação, os resultados de datação obtidos pelo método U/Pb em Zircões para o granito Mucambo cuja idade de 532 ± 6 Ma foi obtida por Feter (1999). Este último autor também determinou, pelo método Ar/Ar em hornblenda, a idade do granito Mucambo que corresponde a 522 Ma (Figura 4.5) coincidindo com as idades obtidas para o *stock* granítico Serra do Barriga.

Estes dados permitem comparar as idades obtidas nos granitos Mucambo e Serra do Barriga e concluir que ambos pertencem ao mesmo evento magmático de formação, considerados portanto, granitos pós-tectônicos e anorogênicos.

Quadro 4.1 – Relação dos valores de U e Pb obtidos para o cálculo das idades do granito Serra do Barriga e Mucambo

Amostra	Unid.	U	Pb	Pb206 Pb204	Pb207* U235	± 2s	Pb206* U238	± 2s	Correl. Coeff.	Pb207* Pb206*	± 2s	Pb206* U238	± 2s	Pb207* U235	± 2s	Pb207* Pb206*	± 2s	Pb206* U238	± 2s	Correl. Coeff.	Pb207* Pb206*	± 2s	Pb206* U238	± 2s	Pb207* U235	± 2s	Pb207* Pb206*	± 2s		
																													(mg)	ppm
GRANITO SERRA DO BARRIGA																														
M(0.40A)	0,026	2662	3782	12108	0,6685	0,47	0,0839	0,73	0,917	0,0578	0,19	519	2	520	4	522	4	522	4	0,938	0,0580	0,30	513	4	517	4	531	7	533	17
M(0.45A)	0,018	3977	2897	3683	0,6844	0,25	0,0851	0,23	0,906	0,0584	0,11	526	1	529	1	543	2	543	2	0,915	0,0581	0,77	501	9	507	10	533	17	533	17
Granito Mucambo (Dados de Fetter, 1999)																														
NM(-2)	0,005	116	11	903	0,6631	0,87	0,0827	0,79	0,938	0,0580	0,30	513	4	517	4	531	7	533	17	0,915	0,0581	0,77	501	9	507	10	533	17	533	17
M(-2)	0,004	84	8	528	0,6469	1,90	0,0808	1,70	0,915	0,0581	0,77	501	9	507	10	533	17	533	17	0,915	0,0581	0,77	501	9	507	10	533	17	533	17

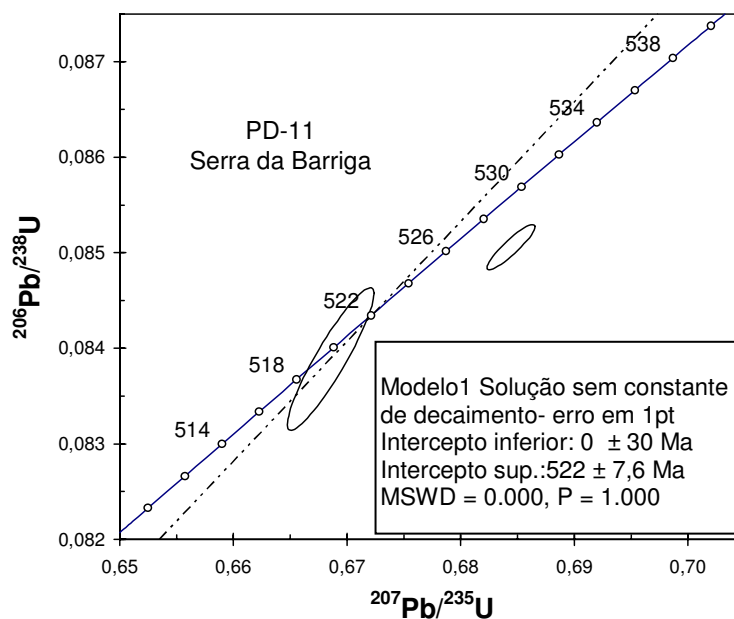


Figura 4.4 - Gráfico de datação obtida pelo método U/Pb em Monazitas do granito Serra do Barriga. O gráfico mostra a reta concórdia interceptada pela reta com os valores obtidos de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, nesta intersecção é determinada a idade de $522 \pm 7,6$ Ma.

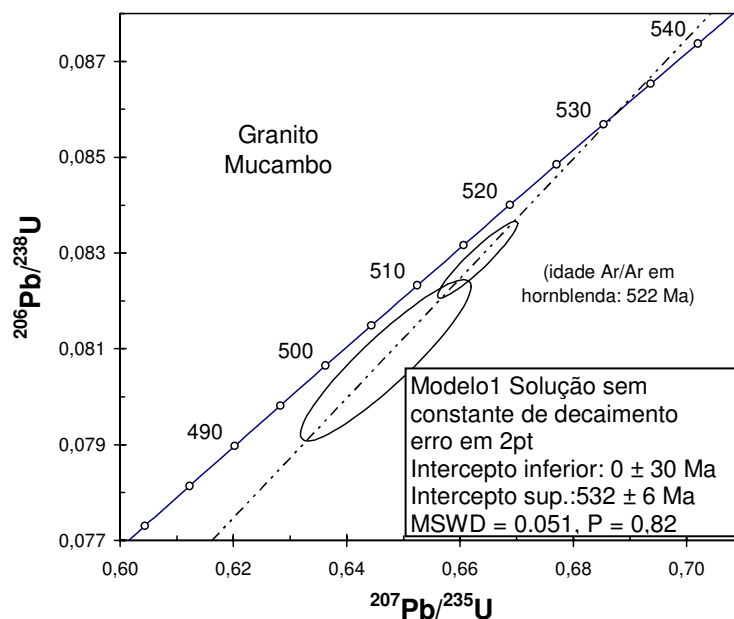


Figura 4.5 - Gráfico de datação obtida pelo método U/Pb em Zircões do granito Serra do Barriga. O gráfico mostra a reta concórdia interceptada pela reta com os valores obtidos de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ versus $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, nesta intersecção é determinada a idade de 532 ± 6 Ma. (Fetter, 1999).

4.2.4 GEOLOGIA ESTRUTURAL

O *stock* Serra do Barriga considerado geocronologicamente como pós-tectônico e anorogênico, apresenta-se isótropo sem nenhum indício de deformação dúctil. Nesta região as feições de deformação dúctil limitam-se espacialmente apenas às rochas gnáissicas encaixantes, onde são frequentemente presentes.

Na serra, as feições frágeis, representadas por falhas e fraturas são estruturas freqüentes, observadas, sobretudo nas encostas da serra. Na borda leste e oeste do granito é comum a presença de diques aplíticos de granulação fina, compostos por feldspato, quartzo e biotita, com espessuras variando entre 5 a 60 cm preenchendo discontinuidades tectônicas, cujas direções estão entre 130 a 150°.

Os principais sistemas de fraturas mapeadas ao longo do corpo granítico da Serra do Barriga estão dispostas em duas direções preferenciais (Figura 4.3) e apresentam mergulhos sub-verticais (Fotografia 4.3B), na forma de pares conjugados, ocorre também um terceiro sistema sub-horizontal, que pode ser interpretado como fraturamento causado por alívio de carga do maciço rochoso, de acordo com a figura 4.6.



Figura 4.6 – Esquema de expansão volumétrica de corpos graníticos formando as juntas em resposta ao alívio de pressão litostática por meio de soerguimento e erosão. Fonte: Teixeira (2000).

Nestes dois sistemas referidos acima, as fraturas ocorrem separadas por planos abertos (alguns preenchidos por veios aplíticos) e fechados. As fraturas preenchidas são consideradas penetrativas e aquelas descontínuas, não-penetrativas, de modo que a maior freqüência destas últimas confere ao maciço rochoso um comportamento quase isotrópico. O corpo granítico está sob maior influência das fraturas desenvolvidas a partir de alívio da pressão litostática do *stock*, desenvolvendo esfoliação esferoidal com planos sub-verticais e sub-horizontais (Sauerbronn 2003).

A área onde ocorrem os tipos graníticos de coloração branca referidos anteriormente coincide com zonas de fraturamentos que provavelmente, podem estar associadas a algum antigo sistema de falhas reativadas após o posicionamento e o resfriamento do corpo granítico. São fraturas dispostas na direção aproximada de $070^{\circ} \pm 10^{\circ}$ (leste-nordeste). Estas estruturas comprovam ser este um dos sistemas principais de fraturamento do corpo em estudo, são ratificadas e identificadas pelo mapeamento geológico-estrutural e pela análise de fotografias aéreas (Figura 4.3).

Foram medidas fraturas, cujas direções principais são 330° /sub-vertical, e $070^{\circ}/80^{\circ}$, aproximadamente ortogonais e consideradas todas verticalizadas (Fotografia 4.3B e 5.2B). Este padrão de fraturamento é interpretado como penetrativo e apresenta maior concentração as fraturas da primeira direção, como demonstra o diagrama de roseta (Figura 4.7). Além do conjunto de fraturas principal, foram distinguidas outras famílias com orientação preferencial de $220^{\circ}/08^{\circ}$ (fraturas de alívio sub-horizontais).

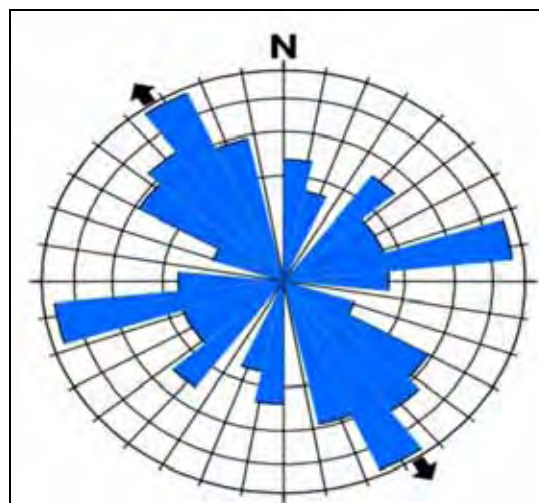


Figura 4.7 – Diagrama de roseta mostrando as duas famílias de fraturas principais desenvolvidas no granito da Serra do Barriga, a principal na direção NW e a de menor frequência na direção ENE.

A estruturação das encaixantes do granito da Serra do Barriga é marcada pelo *trend* regional NNW, concordantes com a orientação das Zonas de Cisalhamento Sobral e Forquilha. Sugere-se através da interpretação foto-geológica, das observações de campo, e das estruturas rúpteis desenvolvidas no granito, que o pluton granítico ascendeu até seu ambiente de cristalização, aproveitando estruturas preexistentes que facilitaram a sua colocação em níveis crustais mais rasos. O comportamento isotrópico e homogêneo de grande parte do corpo granítico caracteriza a ausência de deformação.



Fotografia 4.1: A geomorfologia da Serra do Barriga mostrando dois picos com cotas topográficas máximas de 662 m e 730 m cortados por dois sistemas principais de fraturas.



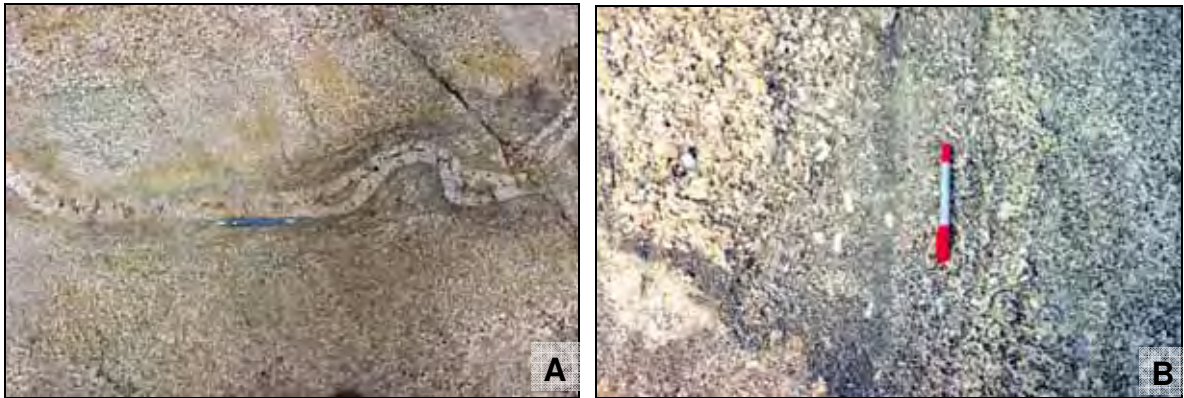
Fotografia 4.2: Vista da encosta SW da Serra do Barriga mostrando a área mais plana com afloramentos de granito e mais à frente o relevo plano, típico dos gnaisses arrasados da região.



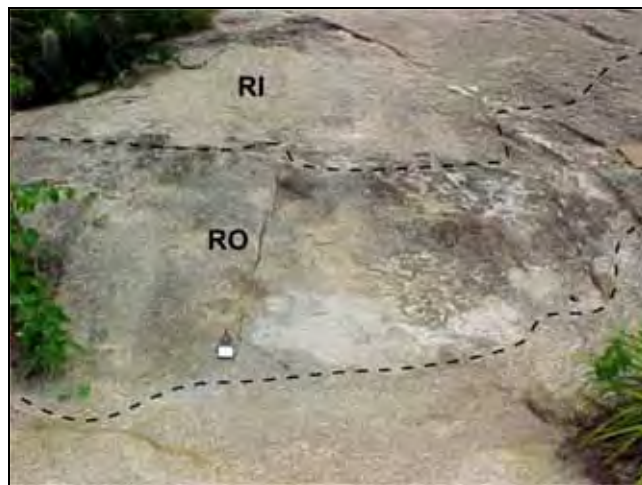
Fotografias 4.3 A e B: Terrenos que contornam os picos da Serra do Barriga formados por (A) maciços alongados em forma de “charutos” e também por (B) matações com as mais variadas dimensões e formas.



Fotografias 4.4 A e B: Feições observadas na borda oeste do maciço (A) veios aplíticos, (B) xenólitos.



Fotografias 4.5: A e B - Feições observadas na borda leste do maciço. A: Veios posicionados sob estado plástico do granito e B: Pulsos magmáticos máficos de granulação fina englobando fenocristais de porção cumulática.



Fotografia 4.6: Contato brusco do granito porfirítico rosa acinzentado (**RO**:Rosa Olinda) com o tipo rosa de granulação grossa (**RI**:Rosa Iracema), evidenciando outro pulso magmático.

CAPÍTULO 5 - ASPECTOS DA LAVRA DOS GRANITOS

O mercado de rochas ornamentais cearense apresenta em seu elenco de amostras quatro tipos de granitos extraídos do *stock* Serra do Barriga, sendo: Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana e Branco Cristal Quartzo.

5.1 BREVE HISTÓRICO DA EXTRAÇÃO

O início dos trabalhos de pesquisa de granito na Serra do Barriga ocorreram no ano de 1984, concentrando-se inicialmente a lavra, nos blocos de matacões distribuídos nas encostas SW do corpo. O material explotado, denominado pela empresa mineradora de Granito Rosa Iracema, era obtido através do corte de matacões naturalmente isolados com volumes brutos variando entre 80 e 600 m³, utilizando-se técnicas simples de corte, executando-se furos verticais raiados ou guiados, paralelos ao plano de melhor corte, sendo inserido carga de pólvora negra dentro do furo central, dividindo o bloco inicial em porções pré estabelecidas denominadas pranchas, que naturalmente tombavam sobre bolsões de areia, sendo posteriormente subdividida no próprio local em blocos com dimensões comerciais.

O material, com boa aceitação do mercado interno passou a ser lavrado também em maciço, por duas empresas de mineração em áreas distintas, permanecendo as ações, concentradas na porção Sul e Oeste do *stock*. Os trabalhos de prospecção nos contornos do maciços resultaram na descoberta de dois outros tipos graníticos situados em maciços na borda Oeste do corpo, sendo denominados Granito Branco Cristal Quartzo e Granito Branco Savana.

Durante a década de 90, após cessões de direitos, apenas uma empresa operou no *stock*, desenvolvendo seus trabalhos somente em maciço, explotando simultaneamente os três materiais (Rosa Iracema, Branco Savana e Branco cristal Quartzo), porém no final da década, outra empresa de mineração, após realizar prospecção na porção Leste da Serra do Barriga, desenvolveu uma frente de lavra em uma área caracterizada por blocos de matacões de tamanhos variados (de 40 a 1.200 m³), com tonalidade rosa acinzentada denominado comercialmente “Granito Rosa Olinda”. A partir do ano de 2003 na mesma área, esta empresa desenvolveu a abertura de nova frente de lavra, desta vez em maciço, do Granito Branco Savana utilizando a mesma denominação da primeira empresa.

5.2 ÁREAS REQUERIDAS – MATAÇÕES E MACIÇOS

Atualmente existem 09 (nove) áreas requeridas na Serra do Barriga, que representam um total de 1.525 ha, correspondendo a 40% da área total do *stock* granítico, de aproximadamente 3.800 ha. Os volumes totais cubados são de 32.023 m³ de granito em matações e de 64.005.572 m³ de granito em maciço, totalizando 64.037.595 m³ de granito. Foram também quantificados 21.679 m³ de Granito Rosa Iracema em matações (0,04% do volume total) e 55.213.836 m³ em maciço (86,21%), 10.344 m³ de Granito Rosa Olinda em matações (0,02%) e 2.820.214 m³ (4,41%) em maciço e 5.971.522 m³ de Granito Branco Savana e Branco Cristal Quartzo em maciço (9,32%).

As operações desenvolvidas no *stock* perfazem um total de dez frentes de lavra, sendo que destas, quatro frentes foram desenvolvidas em maciço nos granitos Branco Cristal Quartzo e Branco Savana estando uma frente abandonada e três em produção sazonal. No granito Rosa Olinda existe uma frente de lavra desenvolvida em matações com produção constante e no Rosa Iracema cinco frentes de lavra, sendo que destas, duas ocorrem em matações, mas encontram-se paralisadas, duas frentes são desenvolvidas em maciço com produção sazonal e uma frente em maciço com produção constante.

A relação de áreas requeridas no *stock* granítico Serra do Barriga está apresentada no quadro 5.1 onde estão identificadas e resumidas as seguintes informações: código do processo referente à área requerida, tipos graníticos prospectados, posição da área requerida em relação ao corpo, área superficial, volume das reservas, situação legal do processo junto ao Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM e o nível de atividade produtiva. O mapa da lavra (Figura 5.1) mostra a distribuição das áreas requeridas, bem como a localização das frentes de lavra ativas e desativadas dos granitos ornamentais do *stock* Granítico Serra do Barriga.

Quadro 5.1 – Informações sobre as áreas requeridas dos granitos ornamentais da Serra do Barriga

Nº	Processo DNPM	Tipo Granítico*	Posição no Stock	Superfície (ha)	Reserva (m³)		Situação Legal	Atividade	
					Maciço	Matacões		Sazonal	Constante
01	800.508/84	RI/BS/BCQ	SW da Serra	397,50	47.222.132	-	Requerimento de lavra	X	
02	800.536/94	RI/BS/BCQ	W da Serra	590,68	5.048.551	-	Concessão de Lavra	X	
03	800.128/98	RI	N da Serra	24,00	73.948	-	Requerimento de Lavra		SAP
04	800.129/98	RI/RO	SE da Serra	41,96	123.296	-	Requerimento de Lavra		SAP
05	800.164/00	RI	N da Serra	90,72	164.839	-	Requerimento de Lavra		SAP
06	800.244/00	RI/BS/BCQ/RO	NE da Serra	81,03	3.352.383	10.079	Requerimento de Lavra		X
07	800.245/00	RI/BS/BCQ/RO	E da Serra	123,02	1.747.813	19.384	Requerimento de Lavra		X
08	800.247/00	RI	NE da Serra	64,73	217.043	-	Requerimento de Lavra		SAP
09	800.305/03	RI/RO	SE da Serra	112,19	6.055.567	2.560	Alvará de Pesquisa		SAP

LEGENDA:

RI - Rosa Iracema

RO - Rosa Olinda

BS - Branco Savana

BCQ - Branco Cristal Quartzo

SAP – SEM ATIVIDADE PRODUTIVA

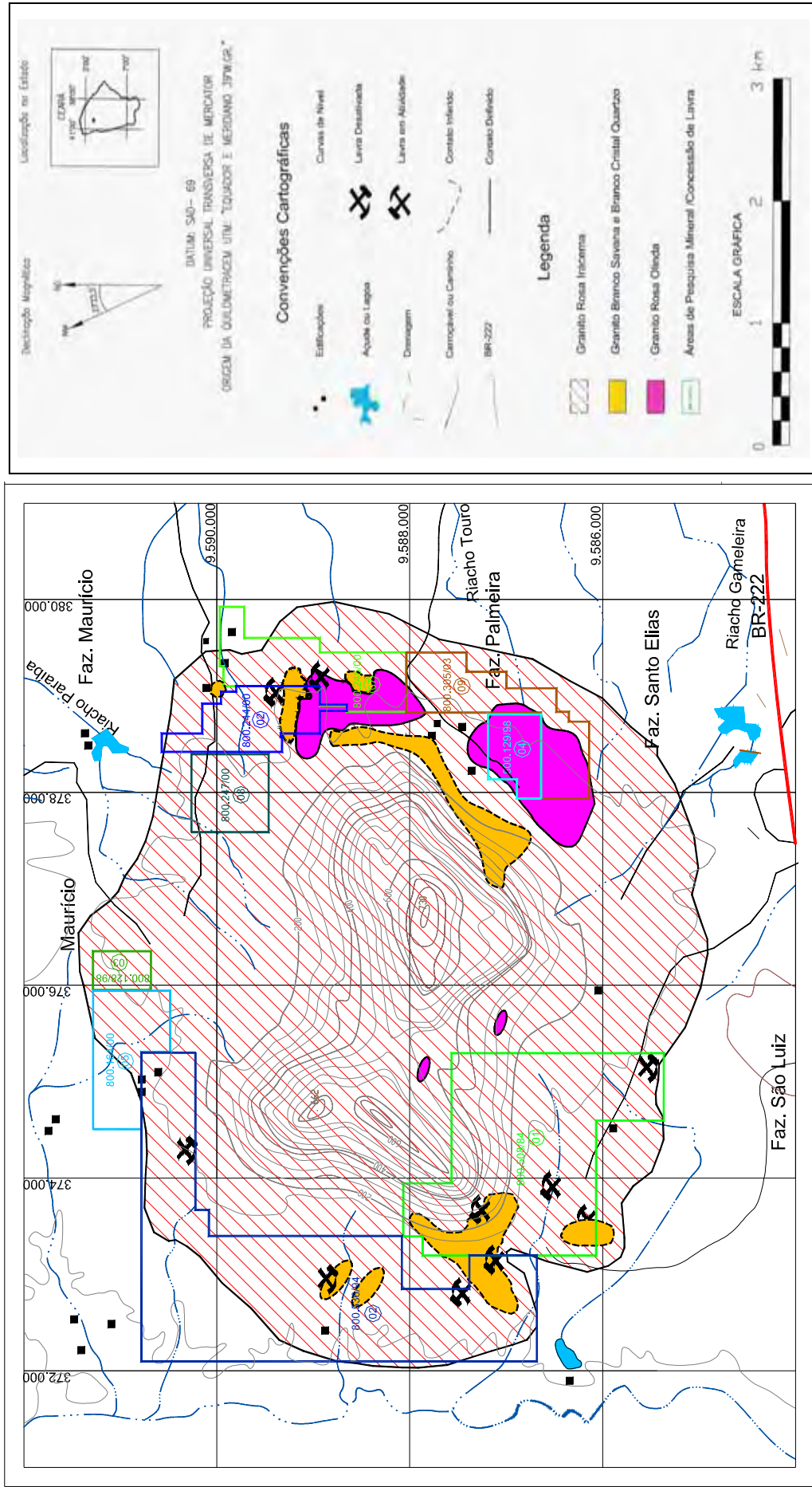


Figura 5.1 - Mapa das Áreas Requeridas e posicionamento das Frentes de Lavra dos Granitos Explorados Comercialmente no Stock Granítico Serra do Barriga.

5.3 PRODUÇÃO DE ROCHAS NO STOCK GRANÍTICO

A produção das rochas ornamentais nas sete frentes de lavra em atividade no maciço Serra do Barriga, pode ser considerada contínua nas áreas localizadas na porção Leste do maciço e sazonal nas áreas da porção Oeste. A extração ocorre de modo intermitente, sendo reiniciada à medida que os blocos em estoque vão sendo comercializados. As empresas que desenvolvem trabalhos de lavra, a posição da lavra em relação ao corpo, os nomes comerciais dos granitos lavrados, bem como a produção R.O.M. (*Run Of Mine*) e comercial anual estão discriminados de forma resumida no quadro 5.2.

Quadro 5.2- Resumo da produção de cada tipo granítico e empresa mineradora.

Empresa Mineradora	Posição no Stock	Nome Comercial	Produção Anual (m ³)	
			R.O.M.	Comercial
IMARF Granitos S/A	SW da Serra	Rosa Iracema	3.400	2.000
IMARF Granitos S/A	SW da Serra	Branco Cristal Quartzo	2.500	1.500
IMARF Granitos S/A	SW da Serra	Branco Savana	3.400	2.000
MULTIGRAN	NE da Serra	Rosa Olinda	1.500	1.000
MULTIGRAN	NE da Serra	Rosa Iracema	4.500	1.800

Fonte: Modificado de Fernandes (2004)

Considerando-se as produções programadas, as reservas prospectadas e os níveis de recuperação obtidos, a vida útil projetada do material Branco Cristal Quartzo e Branco Savana é superior a 1.000 anos, enquanto que o granito Rosa Iracema teria vida útil extremamente alta (> 7.000 anos) e o material denominado Rosa Olinda poderia ser comercializado por um período superior a 1.800 anos. Desta forma as reservas confirmadas, apóiam o desenvolvimento dos projetos mineiros programados, por períodos suficientemente altos, viabilizando o retorno financeiro do empreendimento e a ampliação da produção comercial, sendo possível o incremento dos níveis de recuperação em função do avanço das frentes no maciço, minimizando as altas perdas devido ao fraturamento e conseqüentemente o impacto ambiental.

5.4 INFLUÊNCIA DO FRATURAMENTO NA EXTRAÇÃO

A presença de fraturamentos em pedreiras de rochas ornamentais, nem sempre inviabiliza a extração nestas áreas, contudo em alguns casos pode contribuir para o desmonte de rocha, melhor aproveitamento dos blocos e avanço da lavra, de modo que o método de lavra deve estar sempre adaptado para reduzir custos e otimizar a produção. A distribuição e a geometria das fraturas têm importante significado para efeito de lavra, permitindo seu aproveitamento como superfície de corte dos blocos ou painéis, além de orientar o plano de lavra, determinando a altura das bancadas e as dimensões dos blocos extraídos. A distância entre estas estruturas pode, ainda, favorecer a lavra, tanto no maciço quanto em matacões, visto que o aproveitamento das estruturas reduz significativamente os custos de desmonte.

Nas áreas de lavra existentes pode-se identificar um sistema de fraturamento sub-horizontal (Fotografias 5.1) provavelmente gerado a partir do alívio da pressão litostática e expansão do corpo granítico, permitindo o desenvolvimento de um plano de levante natural da rocha. O mapeamento estrutural destas fraturas através do método geofísico utilizando o GPR e furos de sondagem, apresentou superfícies planares dispostas em cunhas, semelhante ao processo de formação de matacões. O espaçamento das fraturas é variável (Fotografias 5.2), desde poucos centímetros, nas bordas dos matacões e maciços, até dez metros nas suas porções centrais, sendo algumas vezes preenchidas por intrusões aplíticas mais ou menos contínuas.

O desenvolvimento da lavra em matacões, restrito ao material Rosa Olinda, considera exatamente os aspectos relacionados ao fraturamento, uma vez, que os blocos naturalmente isolados com grandes volumes brutos (superior a 150 m³) e com baixo nível de fraturamento interno, favorece um nível de recuperação relativamente alto, próximo de 70%. Por este motivo é possível a divisão do bloco original em pranchas, através do corte por furos ortogonais, paralelos ao plano de melhor corte (Fotografias 5.3), visto que, em função da homogeneidade do material, não existe um plano preferencial de corte para preparação do bloco.

5.5 METODOLOGIA DE EXTRAÇÃO DAS ROCHAS

Os métodos de desmonte dos matacões são bastante rudimentares, utilizam-se cordel detonante ou explosivos (pólvora seca) para o corte das pranchas e massa expansiva e/ou cunhas para o esquadreamento dos blocos (tecnologias cíclicas), o que caracteriza uma baixa produção e uma pequena recuperação de material (no caso de aproveitamento do bloco bruto), em relação ao uso das técnicas de corte contínuo. Entretanto, os métodos ora adotados são em função dos baixos custos de produção, próximo de R\$ 150,00/m³.

A minimização dos custos de lavra está relacionada à facilidade na operacionalização das atividades, dispensa na preparação de pátios de operação, baixo impacto ambiental e no porte dos equipamentos utilizados. Os equipamentos são basicamente: máquina para limpeza da área e movimentação dos blocos, tipo pá carregadeira sobre pneus; unidade de ar comprimido móvel com motor a combustão; perfuratrizes manuais; unidade para elevação dos blocos, tipo guincho acoplado ao equipamento de movimentação e ferramentas manuais.

O volume de estéril a ser removido é praticamente nulo, enquanto que o volume de rejeito a ser remanejado é baixo e com disposição próxima da lavra (Fotografia 5.4A) estando este volume diretamente relacionado com a forma do bloco original e problemas relacionados com alteração superficial, faixas intemperizadas e manchas, que são de difícil controle na lavra de matacões.

5.5.1 METODOLOGIA UTILIZADA NA LAVRA DE MACIÇO

A metodologia empregada na lavra de maciço, com alturas variáveis e fácil acesso a uma possível frente inicial (Fotografia 5.4B), permite planejar o desenvolvimento futuro da jazida a curto, médio e longo prazos, flexibilizando-o de acordo com o avanço das frentes de lavra, considerando, que aumentando a profundidade dos níveis ou bancadas, há uma tendência de minimização das fraturas de alívio, além de aumentar o poder de investigação nas frentes potenciais, permitindo selecionar ainda na lavra, os materiais de melhor qualidade e valor econômico.

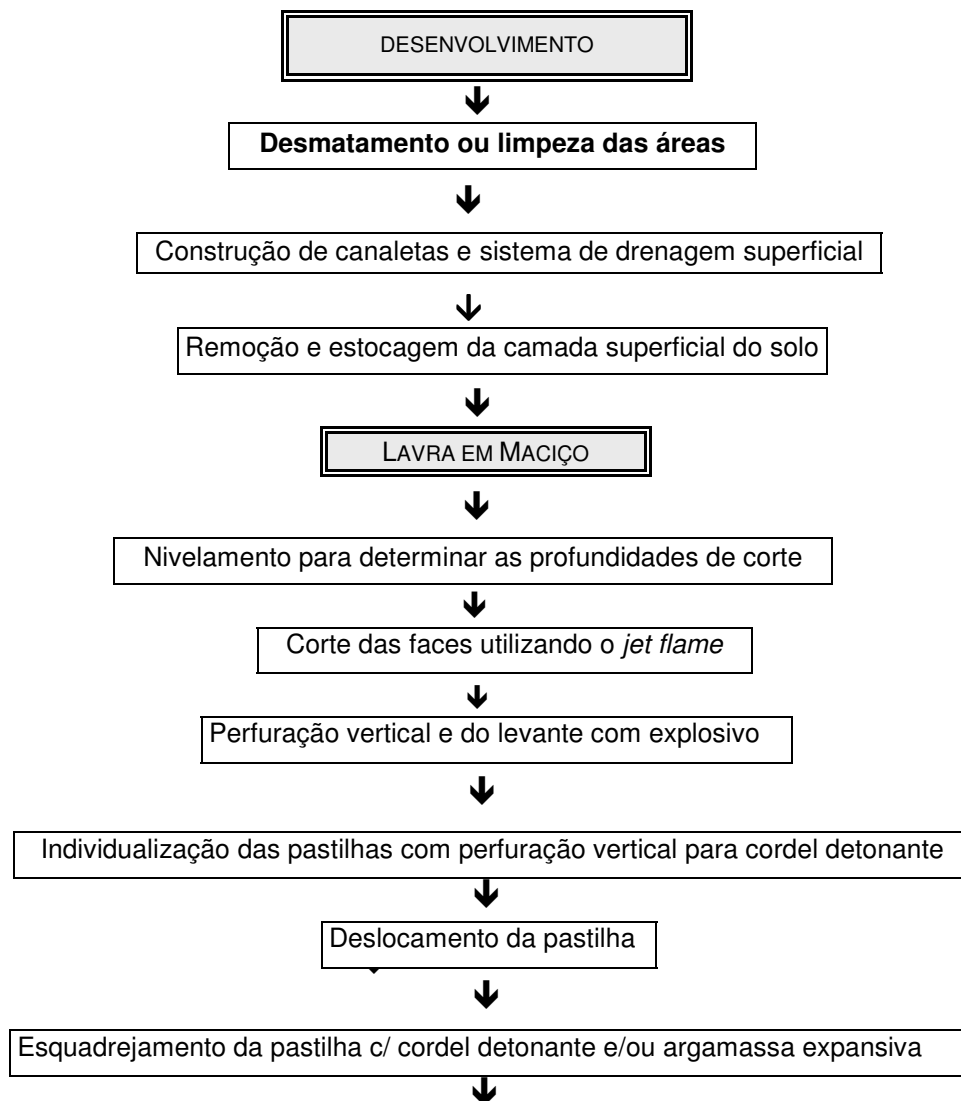
A dificuldade do início da lavra em maciço reside na liberação de faces, uma vez que apenas existe uma face livre. Desta forma inicia-se a abertura da frente inicial na forma de um canal, com largura próxima de 15,0 m, que guiam os avanços da lavra até o final do nível de lavra (Fotografia 5.5A). Aberto o canal inicial torna-se mais fácil a adaptação das frentes de lavra, pois existem mais faces livres geometricamente estabelecidas. Sendo

necessário analisar os pontos de corte e marcá-los topograficamente, pois o arranjo destes fornecerá linhas de superfície que determinarão os planos de corte para a liberação das faces e deslocamento da prancha do maciço.

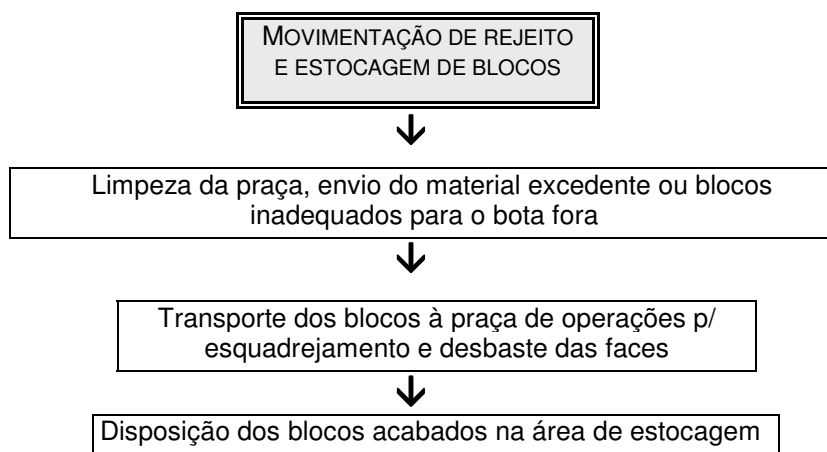
Os níveis de trabalhos basicamente horizontais, em função das fraturas de alívio de tensão sub-horizontais da rocha, visam diminuir a menor relação estéril/minério, maior recuperação da lavra e maximização da relação volume da lavra/blocos gerados, oferecendo, dessa maneira, maior flexibilidade e segurança aos programas de produção.

Os trabalhos de preparação iniciam com o desmatamento, limpeza e terraplanagem do local onde loca-se a praça de operações mineiras, a área de bota-fora, o pátio de estocagem de solo e cobertura vegetal e as servidões necessárias para desenvolvimento das atividades de lavra.

O CICLO DAS OPERAÇÕES DE LAVRA COMPREENDE:



Continuação:



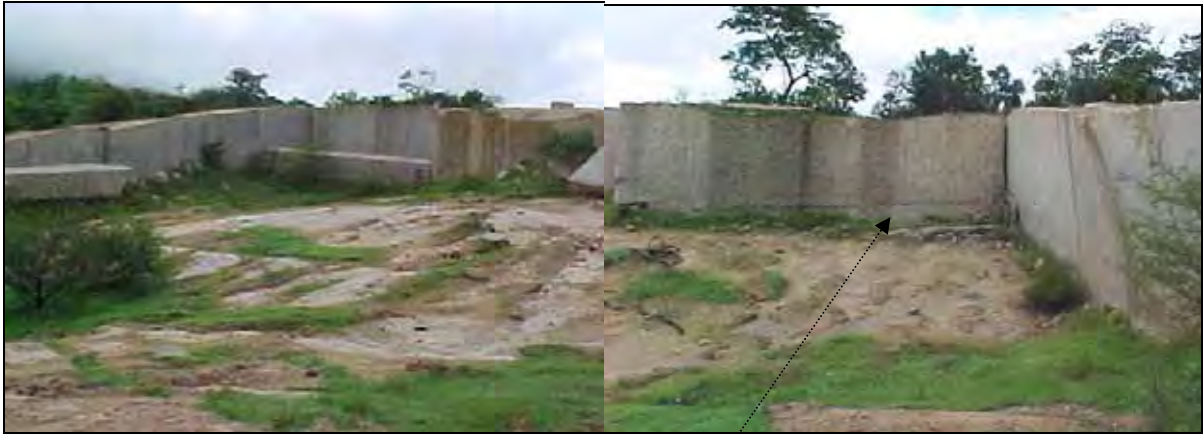
5.5.2 METODOLOGIA EMPREGADA NA LAVRA POR MATAÇÕES

Em relação à lavra de matações os custos de lavra estão entre R\$ 300,00 e 450,00 por metro cúbico comercializado. A maximização dos custos de lavra está relacionada à integração do sistema produtivo, constante limpeza do pátio de operação, incremento do impacto ambiental devido o remanejamento do rejeito ao bota-fora e porte dos equipamentos utilizados.

Os equipamentos necessários consistem de uma máquina para limpeza e movimentação dos blocos, tipo pá carregadeira sobre pneus; uma unidade de ar comprimido móvel com motor a combustão; uma unidade de deslocamento de prancha, tipo macaco hidráulico; uma unidade completa de *jet flame* (alto consumo de combustível); perfuratrizes de bancada e manuais; uma unidade para elevação dos blocos, tipo guincho acoplado ao equipamento de movimentação e ferramentas manuais.

O volume de estéril a ser removido é baixo, enquanto que o volume de rejeito a ser remanejado é alto e com disposição única (Fotografia 5.5B) visando minimizar os impactos ambientais, estando este volume diretamente relacionado com recuperação da lavra e problemas relacionados com alteração superficial, faixas intemperizadas e manchas.

Os valores apresentados para execução da lavra, baseiam-se em dados reais das unidades produtoras, havendo rentabilidade do empreendimento, visto que o valor de mercado atual do material denominado Rosa Olinda é próximo de R\$ 400,00/m³, sendo as chapas comercializadas a aproximadamente R\$ 65,00/m² e os ladrilhos a R\$ 80,00/m². O granito Rosa Iracema possui valor comercial dos blocos na faixa de 550,00 R\$/m³, as chapas a 75 R\$/m² e os ladrilhos a 85 R\$/m², sendo que, os materiais denominados Branco Cristal Quarto e Branco Savana possuem valores similares, sendo os blocos comercializados a R\$ 650,00/m³, as chapas a 85,00 R\$/m² e os ladrilhos a 95,00 R\$/m².



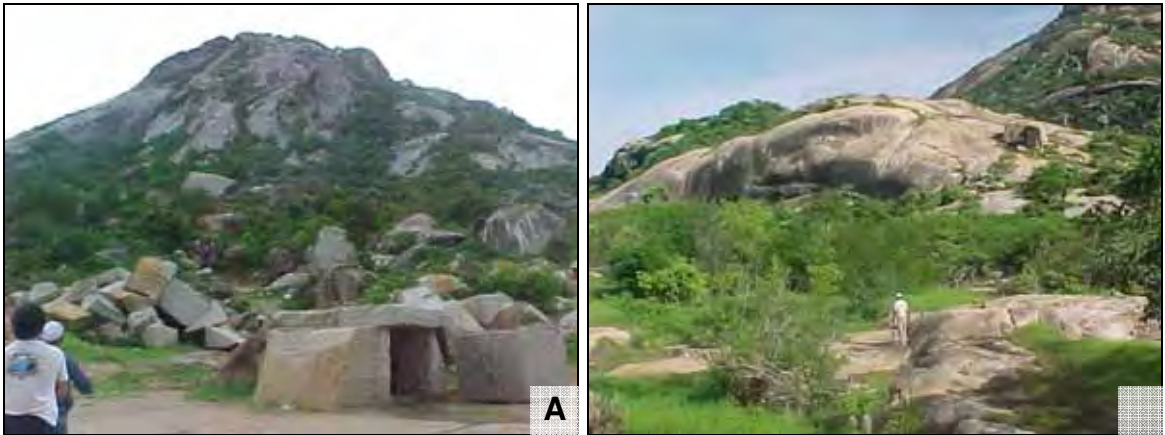
Fotografia 5.1 Áreas de lavra com fraturamento sub-horizontal gerado a partir do alívio da pressão litostática, permitindo o desenvolvimento de um plano de levante natural da rocha.



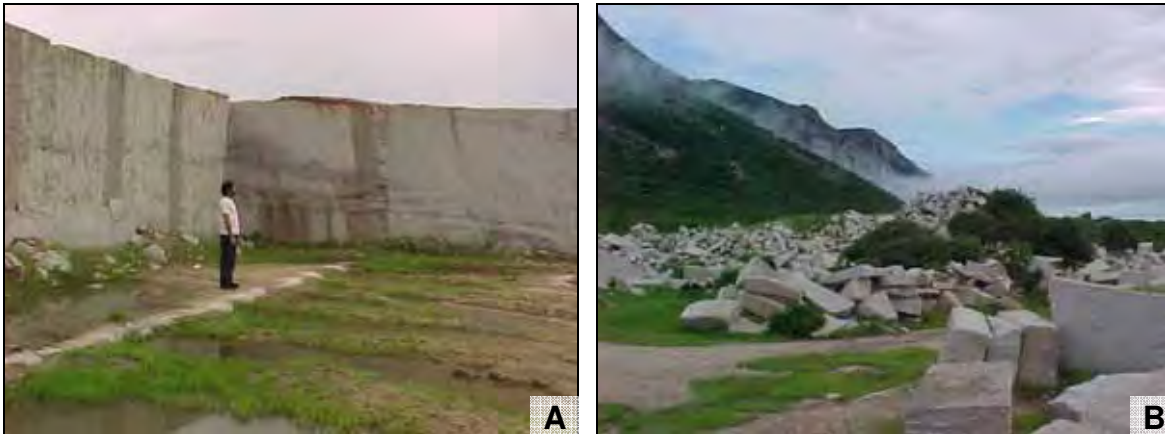
Fotografias 5.2 A e B: Fraturamento com direções ortogonais e espaçamento variável, desde poucos centímetros, nas bordas do maciço, até dez metros nas suas porções mais centrais.



Fotografias 5.3: Desenvolvimento da lavra em matacões com baixo fraturamento que permite a divisão do bloco em pranchas, paralelas ao plano de melhor corte, visto que, em função da homogeneidade do granito, não existe um plano preferencial de corte.



Fotografias 5.4 A: Volume de rejeito remanejado baixo, com disposição próxima da lavra B: Alturas variáveis e fácil acesso a uma possível frente inicial na lavra de maciço.



Fotografias 5.5: A e B: Abertura da frente de lavra iniciada na forma de um canal (A). Volume de rejeito alto a ser remanejado e com disposição única, relacionado com os índices de recuperação da lavra (B).

6.1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo serão apresentadas as análises petrográficas dos quatro tipos graníticos do *Stock* Granítico Serra do Barriga atualmente explorados como rochas ornamentais e de revestimento, comercialmente conhecidos por Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana e Branco Cristal Quartzo cujos aspectos estéticos estão reproduzidos na Prancha 6.1.

Os tipos petrográficos estudados correspondem a variedades de sienogranitos e monzogranitos inequigranulares a megaporfíricos diferenciados entre si tanto pela coloração quanto pelos aspectos composicionais e texturais exibidos. Esta classificação petrográfica foi determinada pelo diagrama modal QAP de Streckeisen, (1976) (Figura 6.1), e corroborada pelo diagrama catiônico R_1 e R_2 para rochas magmáticas (Figura 6.2), que evidenciam nas rochas estudadas, uma suave tendência de sienograníticas à monzograníticas. As principais características petrográficas observadas encontram-se sintetizadas no Quadro 6.1.

Os dados das análises petrográficas serão comparados, em capítulos subseqüentes, com os dados tecnológicos e geoquímicos, visando uma avaliação da influência dos aspectos petrográficos no comportamento físico, físico-mecânico e de alterabilidade química das referidas rochas ornamentais estudadas.

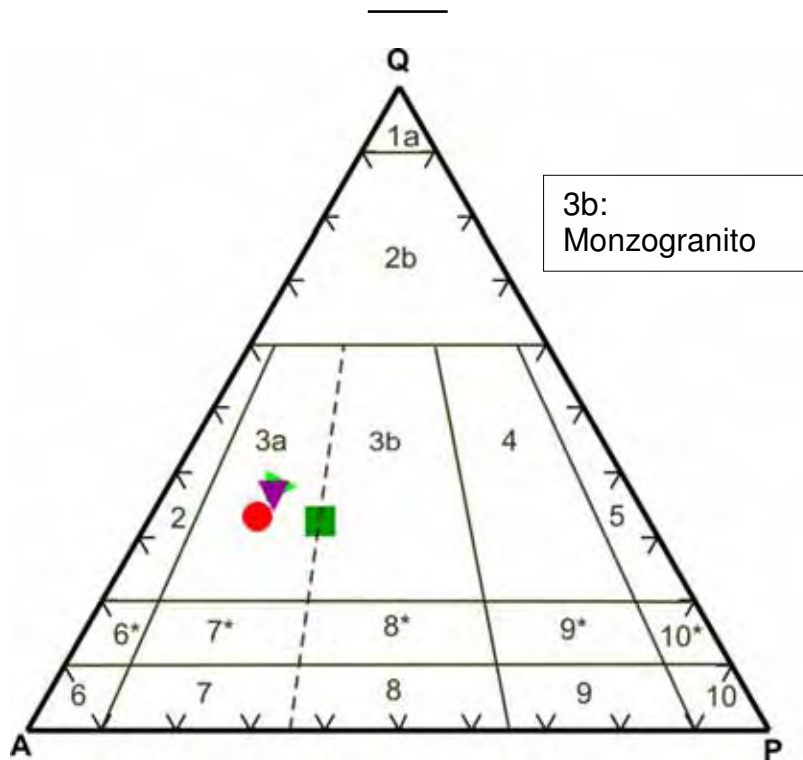


Figura 6.1 - Diagrama modal QAP. Nomeclatura e divisão dos campos segundo Streckeisen (1976).
 Legenda: ● Rosa Iracema, ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ▲ Branco Cristal Quartzo

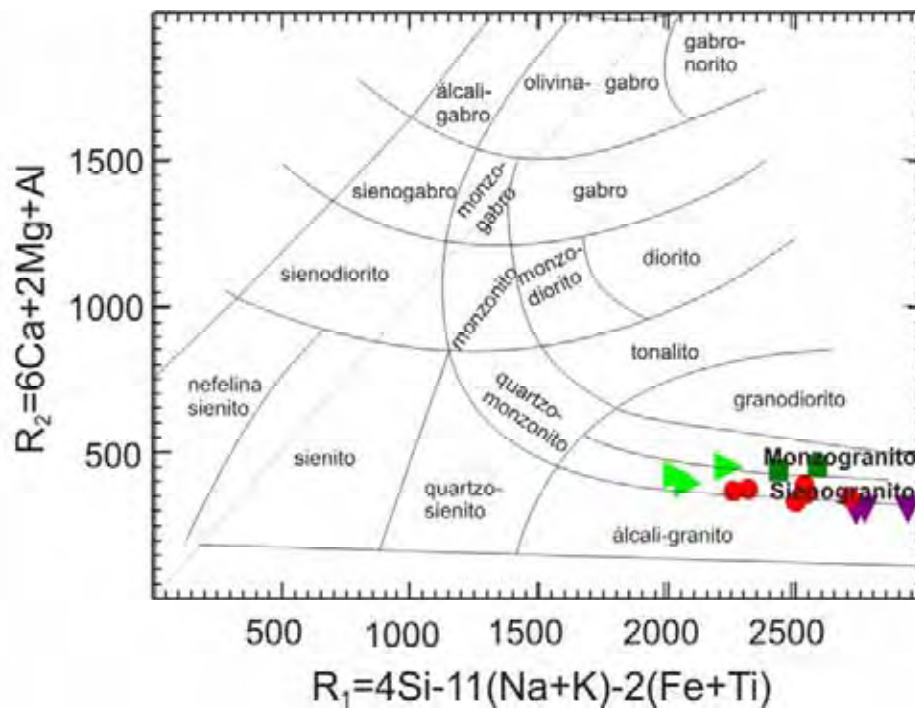
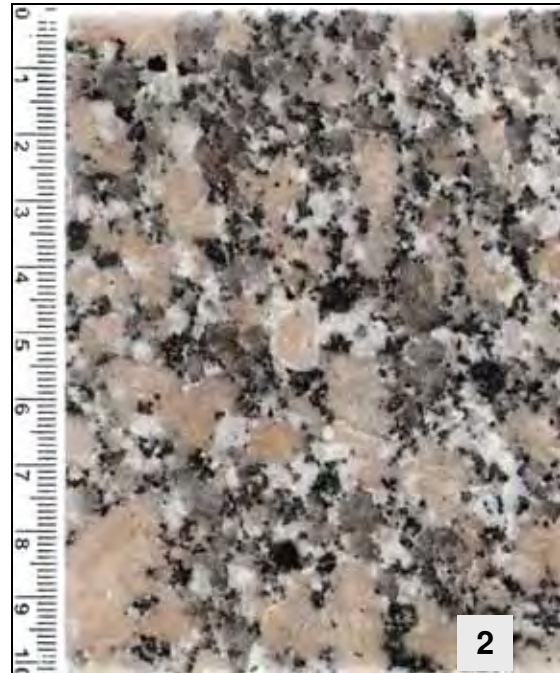
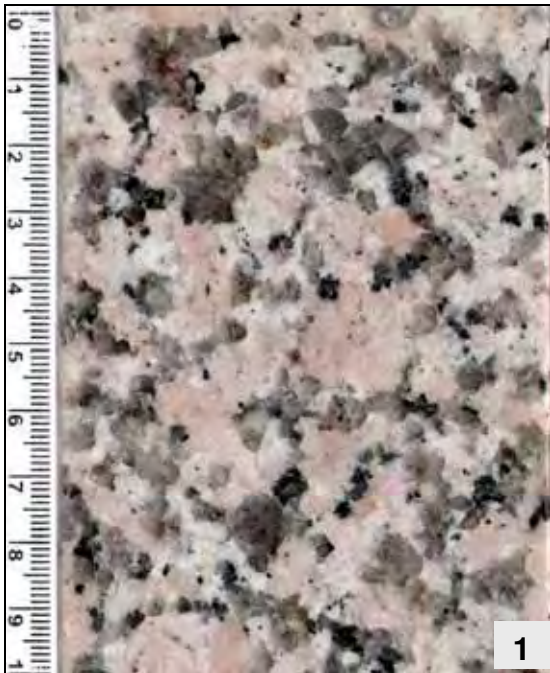


Figura 6.2 - Diagrama $R_1 : R_2$ para a classificação, segundo De la Roche *et al* (1980). Legenda: ● Rosa Iracema, ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ▲ Branco Cristal Quartzo

Quadro 6.1: Síntese das características petrográficas dos quatro tipos graníticos ornamentais do Stock Granítico Serra do Barriga

CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS		ROSA IRACEMA	ROSA OLINDA	BRANCO SAVANA	BRANCO CRISTAL QUARTZO
Coloração		Rosa a Rosa claro	Rosa acinzentado	Branco acinzentado	Branco acinzentado
Estrutura		Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica	Isotrópica
Textura		Inequigranular	Megaporfirítico serial	Inequigranular	Inequigranular
Granulação		Média-Grossa	Média-Grossa (matriz)	Média a Grossa	Média-Grossa
Mineralogia (%)	Quartzo	30,0	28,0	34,0	35,0
	Feldspato potássico	43,0	36,0	43,0	40,0
	Albita	4,5	2,2	2,0	3,0
	Oligoclásio	13,0	19,8	14,0	14,0
	Biotita	6,0	10,0	5,0	4,0
	Hornblenda	0,5	0,5	-	-
	Titanita, apatita, zircão, opacos, allanita	1,0	2,0	0,5	1,0
	Fluorita	Tr		0,5	0,5
Clorita, muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos, óxido/hidr. ferro		2,0	1,5	1,0	2,5
Total minerais máficos (%)		7,5	13,0	7,0	8,0
Granulação (mm)	Varição	0,3 a 40	----	0,3 a 15	0,4 a 30
	Predominância	5 a 15	----	3 a 6	4 a 8
	Matriz	----	0,2 a 7,0	----	----
	Fenocristal	----	20 a 30	----	----
Micro-fissuras	Total/mm ²	0,24	0,22	0,31	0,25
	Intragrão(%)	93	81	91	94
	Intergrão (%)	7	19	9	6
	Comunicabilidade	baixa	baixa	baixa	baixa
Contato (%)	Côncavo/convexo	42	45	45	44,6
	Denteado	34	32	34	34,4
	Plano	24	23	21	21
Alteração Mineral	Feldspato K	Baixo/ Moderado	Baixo	Moderado	Moderado
	Plagioclásio	Moderado.	Baixo	Moderado	Moderado
	Biotita	Moderado/alto	Baixo	Moderado/alto	Moderado/alto
Classificação Petrográfica		Sienogranito inequigranular grosso	Biotita monzogranito megaporfirítico	Sienogranito inequigranular médio-grosso	Sienogranito inequigranular grosso



PRANCHA 6.1 – Fotografias de placas polidas das variedades dos granitos ornamentais do *Stock Granítico Serra do Barriga*. 1- Rosa Iracema; 2- Rosa Olinda; 3 - Branco Savana e 4 - Branco Cristal Quartzo. Escala em centímetros.

6.2 Granito Rosa Iracema - SIENOGRANITO INEQUIGRANULAR GROSSO ROSA

É o tipo granítico de maior volume no stock granítico Serra do Barriga, constitui o arcabouço, perfazendo o corpo granítico como um todo (Figura 4.3). O granito Rosa Iracema corresponde a um sienogranito inequigranular grosso (Figuras 6.1 e 6.2), de coloração variando entre rosa a rosa claro (Prancha 6.1; Fotografia 1), devido à predominância de feldspatos róseos com presença de cristais de plagioclásio esbranquiçados, de aspecto geral intersticial, contendo pontuações (agregados) pretos de biotita aleatoriamente distribuídos na massa quartzo-feldspática da rocha.

Apresenta estrutura isótropa, textura fanerítica inequigranular hipidiomórfica a xenomórfica, com granulação desde submilimétrica a cerca de 40 mm, predominando dimensões entre 5 e 15 mm. O feldspato potássico representa o mineral com as maiores dimensões, sendo o principal responsável pelo aspecto inequigranular exibido pelo granito.

A mineralogia essencial é formada por microclínio, quartzo, plagioclásio (albita e oligoclásio), biotita e mais raramente anfibólio reliquiar. Os minerais acessórios são representados por titanita, allanita, apatita, zircão e opacos, além da presença de fluorita, bem como respectivos produtos de alterações deutéricas dos minerais acima (Quadro 6.1).

Ao nível de afloramento este tipo granítico apresenta características gerais homogêneas, podendo, entretanto, localmente exibir gradações para termos de granulação mais fina, de média a média-grossa, bem como apresentar bolsões pegmatóides. Estes podem exibir contatos tanto gradacionais quanto intrusivos, normalmente difusos, como observado em alguns locais da borda NE do *stock* granítico.

RELAÇÕES DE CONTATO MINERAL

A rocha apresenta um excelente entrelaçamento mineral, cerca de 76% sendo os contatos do tipo côncavo-convexo (42%) e denteado (34%), caracterizado por um imbricamento e/ou intercrescimento entre cristais de feldspato potássico, plagioclásio e quartzo. Os primeiros exibem bordas e contornos geralmente irregulares, o que se traduz num evidente engrenamento mineral. Os contatos do tipo plano, representando cerca de 24% do total da rocha, ocorrem basicamente entre os cristais de quartzo e os de feldspatos (nos planos paralelos à clivagem), bem como em agregados maiores de quartzo microgranulados. Destaca-se, ainda, que as relações de contato entre os agregados de biotita e os demais minerais são do tipo côncavo-convexo a, localmente, denteado, e entre suas lamelas do tipo plano.

MICROFISSURAMENTO

As amostras do granito Rosa Iracema apresentam uma média de microfissuras em torno de $0,24/\text{mm}^2$, caracterizando um baixo grau de microfissuramento. Apesar de ocorrerem planos bem desenvolvidos, tanto sob a forma intergranular quanto intragrãos, mostram baixa intercomunicabilidade e sem orientação preferencial.

Do total das amostras analisadas, 28% das microfissuras são consideradas muito curtas, menores que 1 mm; 65% são curtas, entre 1 a 3 mm; e, 6% apresentam dimensões entre 3 e 6 mm, consideradas médias. Apenas 1% são longas, maiores que 6 mm. As microfissuras intragrãos com preenchimentos atingem em torno de 46%, sendo que as intragrãos sem preenchimentos abrangem 47%. Já as microfissuras intergrãos com preenchimentos representam apenas 7% nas amostras analisadas.

Os planos de fissuras mais proeminentes e longos freqüentemente estão associados aos limites dos cristais e são preenchidos por materiais de acordo com a composição química dos minerais próximos. Ocorrem fissuras preenchidas por sericita e muscovita, quando próximas de feldspato potássico; preenchidas por óxidos e hidróxidos de ferro, quando próximas de biotitas, cloritas e/ou minerais opacos; e ainda, outras microfissuras preenchidas por sílica amorfa.

O quartzo é o mineral com a maior freqüência de microfissuras intragrãos, sem preenchimento e sem direção preferencial. As fissuras são curvas e muito finas e se manifestam sob forma de “fiapos”, lembrando microfraturas conchoidais, predominando dimensões muito curtas e, por vezes, médias. As fissuras mais espessas são preenchidas por sericita ou argilominerais, e são retilíneas. Ocorrem, mais raramente, microfissuras nas albitas, mas sempre associadas e paralelas às respectivas maclas de geminação.

MINERALOGIA

O sienogranito Rosa Iracema é constituído por aproximadamente 43% de microclínio, 30% de quartzo, 17,5% plagioclásio (13% de oligoclásio e 4,5% de albita) e 6% de biotita, além de 0,5% de hornblenda e cerca de 1% representado pelos minerais acessórios titanita, allanita, apatita, zircão e opacos. Como secundários ocorrem clorita, muscovita, sericita, epidoto, carbonatos e óxidos/hidróxidos de ferro perfazendo em torno de 2% do total da rocha (Quadro 6.1).

O **microclínio** com coloração rosa a rosa claro representa os cristais com as maiores dimensões da rocha, podendo atingir cerca de 30 a 40 mm ao longo do seu maior eixo, os quais perfazem cerca de 15% do volume da rocha. Apresentam formas

predominante anédricas, tendendo a subédricas, com bordas e contornos irregulares devido a efeitos de corrosão, bem como de intercrescimentos com cristais de albita e quartzo. São freqüentes microinclusões de biotita, albita branca e de quartzo.

Microscopicamente os cristais de microclínio com maiores dimensões exibem zoneamento marcante (Prancha 6.2; fotomicrografia1), em muitos casos visíveis em amostras de mão através de variações na coloração, rosa nas porções centrais com gradações para rosa claro a esbranquiçado nas bordas. Ainda, em escala microscópica, o zoneamento é evidenciado por microinclusões anelares descontínuas de albitas e biotita. Alguns dos cristais de feldspato potássico encontram-se parcial a totalmente envolvidos por delgados anéis de albita branca.

Em termos gerais mostram-se intensamente pertitizados sob forma de filmes, veios e manchas, mascarando a geminação em grade. O desenvolvimento mais intenso do processo de pertitização conduz, localmente, a uma parcial albitização do feldspato potássico (Prancha 6.2; fotomicrografias 3 e 4). Os cristais de microclínio freqüentemente envolvem pequenos cristais de plagioclásio (Prancha 6.2; fotomicrografias 3 e 4), quartzo e biotita. Destaca-se ainda, que os cristais de feldspato potássico mais desenvolvidos exibem intensidades variáveis de sericitização, bem como transformações parciais para argilominerais (Prancha 6.2; fotomicrografias 1, 2 e 4).

O **plagioclásio**, com dimensões médias menores que a do microclínio, está representado por oligoclásio e albita, ambos de coloração esbranquiçada. O oligoclásio constitui cristais tanto subedrais quanto anedrais, de tamanhos maiores que albita. Sob a forma subedral ocorrem como grãos isolados na massa granítica e quando anédricos, são irregulares, se apresentam intercrescidos com cristais de feldspato potássico ou ainda ocupando posições intersticiais entre os minerais. Sob a forma intersticial apresentam dimensões que variam de 0,6 a 5 mm, sendo que os cristais maiores ocorrem entre 10 a 15 mm. Os cristais isolados subédricos mostram tamanhos entre 1 a 5 mm. As proporções de comprimento e largura são de 2:1. Microscopicamente exibem marcante zoneamento composicional, apresentando núcleos mais cálcicos, de composição oligoclásio-andesítica, intensamente saussuritizados, a albítica nas bordas (Pranchas 6.2 e 6.2a; fotomicrografias 5, 6, 7 e 8). Alguns cristais apresentam inclusões de biotita e/ou de quartzo.

A albita ocorre sob várias formas, como delgados anéis envolvendo alguns cristais de feldspato potássico, intersticialmente ou em pequenos cristais (inferiores a 5 mm) euédricos a subédricos individuais dispersos pela rocha. Nestes casos, apresentam nítida geminação albítica, aspecto límpido e desprovidos de alteração.

O **quartzo** apresenta-se em cristais desde submilimétricos a cerca de 10 mm, formando entretanto agregados que podem atingir até 40 mm. Os cristais individuais constituem desde formas predominantemente anédricas, a até subédricas, e por vezes exibindo formas pseudo-hexagonais. Distribui-se na rocha sob formas variadas, intersticiais, inclusos em diversos minerais, como cristais individuais e constituindo agregados monominerálicos. Apresentam feições de dissolução englobando, parcial ou totalmente, pequenos cristais de biotita e de albita. Envolvem agregados de albita+microclínio+biotita e cristais menores de biotitas e albitas, que ocorrem também como inclusões. São observadas localmente feições mirmequíticas, presentes em algumas interfácies entre cristais de microclínio e de oligoclásio. Os agregados e/ou cristais mais desenvolvidos de quartzo são os que apresentam o maior grau de microfissuramento.

Ocorrem localmente concentrações de quartzo, albita e biotita em faixas descontínuas, grosseiramente isorientadas, entre cristais maiores de feldspato potássico.

A **biotita** ocorre preferencialmente em pequenos agregados lamelares de dimensões desde submilimétricas a cerca de 8 mm dispersos na massa quartzo-feldspática, além de constituir freqüentes inclusões nos feldspatos e quartzo. Os agregados apresentam formas variadas podendo ser alongados, irregulares, freqüentemente com contornos irregulares. Microscopicamente as lamelas mostram-se subédricas a irregulares, podendo ser esqueletais, devido a forte corrosão de suas bordas, ou mesmo arredondadas. Os agregados de biotita ocorrem comumente associados com opacos, apatita, titanita, zircão e allanita. Quando estes dois últimos ocorrem como inclusões, provocam efeitos de metamictização nas lamelas de biotita (Prancha 6.2a; fotomicrografias 9, 10 e 11). Mais raramente ocorre intercrescida com anfibólio e inclusões de apatitas, monazitas e opacos. As biotitas exibem forte pleocroísmo que varia de amarelo pálido a marrom escuro, sendo modificado por efeitos de cloritização tornando-se amarelo esverdeado claro até verde intenso de acordo com a intensidade de alteração (Prancha 6.2; fotomicrografias 9, 10 e 11).

A **hornblenda** é rara e ocorre em pequenos cristais com forte pleocroísmo variando de amarelo pálido até verde escuro. Constitui cristais anédricos com bordas intensamente corroídos, intercrescidos com biotita e associados com esfeno. Por determinação ótica e através de microsonda eletrônica (Capítulo 7 – Geoquímica do Granito Serra do Barriga), é classificada como hornblenda ferro-edenita, pertencente ao grupo dos anfibólios cálcicos.

Os demais minerais **acessórios** estão representados pela allanita prismática, zonada, atingindo até 2,5 mm ao longo do maior eixo, com efeitos de metamictização (Prancha 6.2; fotomicrografias 9 e 10); titanita (ou esfeno) prismática com até 2,0 mm,

ocorre tanto como cristais isolados, quanto frequentemente inclusas em biotita e/ou clorita; apatita euédrica, submilimétrica, inclusa na biotita; zircão prismático com alta birrefringência e elevado relevo e, mais raramente, monazita.

A **fluorita** ocorre na proporção de mineral traço, observada exclusivamente de modo intersticial distribuída entre os limites dos cristais, provavelmente como produto de dissolução na transformação da biotita para clorita.

Os produtos de alteração mineral são variados e representados pela a clorita, sericita, muscovita, epidoto, carbonatos, argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro, detalhados abaixo.

TRANSFORMAÇÕES MINERAIS

A transformação mineral apresenta diversos graus de intensidade de acordo com as reações e os elementos disponíveis no sistema da rocha. Praticamente todas as amostras analisadas apresentam cristais de feldspatos (tanto feldspato potássico como plagioclásio) parcialmente alterados para agregados microcristalinos representados por argilominerais, sericita, entre outros produtos, afetando cerca de 30 a 60% de suas áreas.

A sericitização dos feldspatos manifesta-se de forma bastante variável, tanto no tocante a sua intensidade quanto em termos da distribuição na rocha. Assim, ocorrem porções da rocha onde cerca de 40% dos cristais encontram-se afetados e outras áreas onde menos de 5% dos cristais encontram-se sericitizados. Em ambos os casos, a sericitização é incipiente, raramente atingindo mais que 30% das áreas dos cristais de feldspato potássico e de plagioclásio. Estes últimos também podem sofrer saussuritização, em diferentes intensidades, inclusive com a geração de carbonatos (Prancha 6.2; fotomicrografias 6, 7 e 8).

Quando comparado aos outros minerais, o plagioclásio apresenta o maior grau de alteração, cuja sericitização chega a desenvolver lamelas de muscovita no núcleo dos cristais (Prancha 6.2; fotomicrografias 6 e 8). Aproximadamente 80 a 90% dos cristais mostram sinais de transformações para sericita.

A cloritização pode afetar até cerca de 30% das lamelas de biotita, com intensidade moderada, atingindo entre 30% e 60% das áreas dos cristais.,mostrando efeitos de substituição nas bordas, nos planos de clivagens ou totalmente transformada em clorita (Prancha 6.2a; fotomicrografias 9 e 10). A biotita ocorre associada com titanita, opacos e às vezes com allanita (Prancha 6.2a; fotomicrografias 9 e 10). A metamictização atinge alguns cristais de biotita, em média 20% de modo bastante incipiente. A presença de

óxido/hidróxidos de ferro disseminados nos planos de clivagem da biotita ocorre proporcional a intensidade de transformação da biotita (Prancha 6.2a; fotomicrografia 9).

Em termos gerais, a alteração mineral se pronuncia basicamente sobre cristais de oligoclásio e de feldspato potássico. Nos cristais de oligoclásio concentra-se nas suas porções centrais, sob formas de finas lamelas de sericita (Prancha 6.2; fotomicrografias 6 e 7), de agregados de argilominerais e/ou mais raramente pela disseminação de pontuações de óxidos de ferro. A presença de óxidos de ferro nos cristais de feldspato potássico geralmente está próxima aos agregados máficos e se distribui em forma de “manchas” sobre maclas de microclínio e sobre pertitas. A geração de sericita e de argilominerais é comum também sobre o núcleo de cristais zonados, tanto de plagioclásio como de feldspato potássico (Prancha 6.2; fotomicrografias 1, 2, 5, 6 e 7). As lamelas de mica branca (sericita e muscovita) são tanto mais desenvolvidas quanto mais próximas aos cristais de biotita e/ou de biotita cloritizada (Prancha 6.2; fotomicrografia 7).

A saussuritização no plagioclásio tem como conseqüência a liberação do Ca e a formação de carbonatos no núcleo destes cristais (Prancha 6.2; fotomicrografias 6 e 8).

A alteração do anfibólio ocorre de modo localizado, gerando aspecto corroído e alterado para biotita. A metamictização nos cristais de biotita ocorre de modo localizado, mas freqüente devido à ação das inclusões de zircão. Nos cristais de allanita este tipo de alteração é freqüente e intensa, gerando aspecto corroído nestes cristais (Prancha 6.2a; fotomicrografias 9 e 10).



Fotomicrografia 1 - Feldspato potássico exibindo linhas de crescimento marcadas por argilominerais e óxidos de ferro . Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 2 - Microclínio com inclusão de plagioclásio precoce saussuritizado. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 3 - Feldspato potássico com pertitas (em forma de manchas) e bordas albitizadas, com alterações para sericita e muscovita. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 4 - Feldspato potássico com pertitas alteradas, englobando plagioclásio precoce e com inclusão de albita tardia (neoformada). No canto inferior direito mostra alterações para óxidos de ferro e argilominerais. Nicóis cruzados.

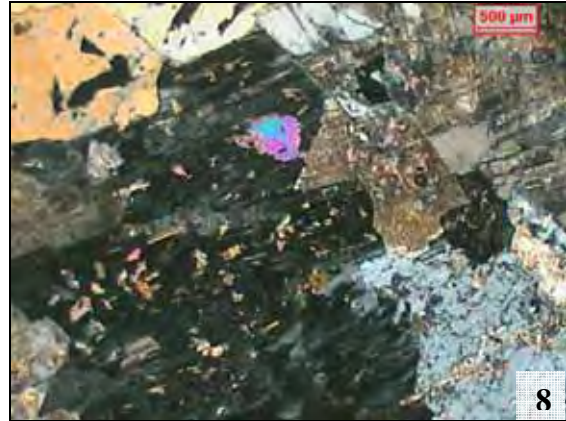


Fotomicrografia 5 - Plagioclásio zonado com borda albitica, e com núcleo contendo lamelas de mica branca, argilominerais e óxidos de ferro como produtos de alteração no núcleo. Nicóis cruzados.



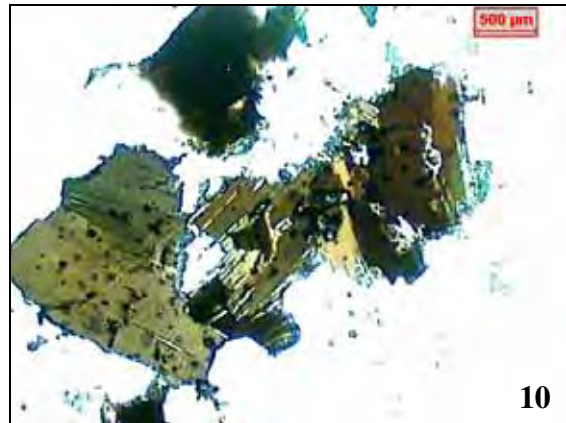
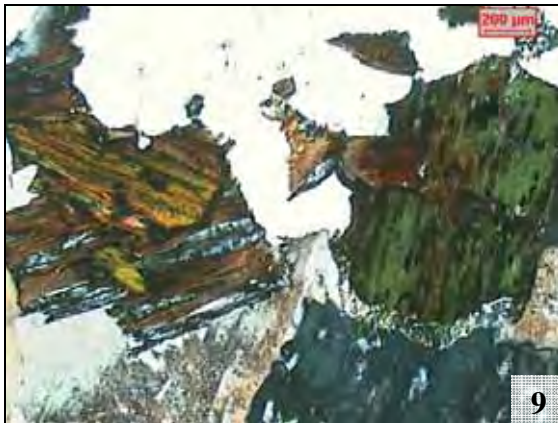
Fotomicrografia 6 - Plagioclásio alterado para carbonatos e finas lamelas de mica branca. Apresenta bordas límpidas devido a recristalização. Nicóis cruzados.

PRANCHA 6.2 – Fotomicrografias do Granito Rosa Iracema.



Fotomicrografia 7 - Plagioclásio zonado com borda albítica e núcleo mais cálcico e fortemente saussuritizado. Parte esquerda superior cristal de biotita parcialmente alterado. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 8 - Cristais de plagioclásio com alterações para carbonatos, finas lamelas de muscovita e argilo-minerais, além da presença de óxidos de ferro. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 9 - Agregado de cristais de biotita com bordas corroídas parcial a totalmente cloritizadas, contendo inclusões de allanita, zircões e opacos e franjas de mica branca na borda inferior (textura simplectítica). Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 10 - Agregado de cristais de biotita apresentando bordas corroídas, parcialmente cloritizados e com inclusões de zircão, allanita e de opacos disseminados. Nicóis paralelos.



Fotomicrografia 11 - Biotita com bordas corroídos e inclusões de zircão, epidoto (no centro) e opacos disseminados. Nicóis cruzados.

PRANCHA 6.2a (continuação)– Fotomicrografias do Granito Rosa Iracema.

6.3 GRANITO ROSA OLINDA - BIOTITA MONZOGRANITO PORFIRÍTICO

O tipo granítico Rosa Olinda ocorre restrito à porção leste do stock Serra do Barriga. Diferencia-se visivelmente dos demais fácies estudados pela sua textura porfírica e pela proporção maior de minerais máficos. Corresponde a um biotita monzogranito porfírico (Figuras 6.1 e 6.2) serial de matriz inequigranular de coloração rosa acinzentado (Prancha 6.1; fotografia 2). O tom rosa é atribuído aos fenocristais de feldspato potássico, enquanto que a tonalidade cinza é devida à concentração de máficos que, comparativamente, é maior que nos demais tipos.

Apresenta estrutura isótropa, e textura porfírica com fenocristais subédricos a anédricos de feldspato potássico, plagioclásio e quartzo de tamanhos seriais, em matriz hipidiomórfica inequigranular, média, de composição quartzo-feldspática contendo pequenos agregados de biotita. Cerca de 30% da rocha é composta por fenocristais, sendo que destes, 15% são feldspatos potássicos, que variam entre 20 a 30 mm no seu maior eixo, 10% são de agregados de quartzo com tamanhos entre 8 a 20 mm e 5% de fenocristais de plagioclásio com dimensões entre 8 a 15 mm. Os cristais da matriz apresentam dimensões que variam de submilimétricos até 7 mm, com predominância de 2 a 3 mm.

Os megacristais de feldspato potássico são prismáticos com bordas irregulares, o quartzo ocorre com feições intersticiais e o plagioclásio é anédrico com bordas irregulares, porém cerca de um quarto destes, são cristais subédricos com formas prismáticas. Microscopicamente é possível perceber estruturas na forma de "faixas" de quartzo, plagioclásio e biotitas submilimétricos alternadas com quartzo e plagioclásio de tamanhos maiores, seguidas por "faixas" de fenocristais com inclusões de biotita.

A mineralogia essencial é dada por feldspato potássico (microclínio), quartzo, plagioclásio (albita e oligoclásio), biotita e mais raramente anfibólio reliquiar. Os minerais acessórios são representados por titanita, allanita, apatita, zircão e opacos, além da presença de fluorita, bem como respectivos produtos de alterações deutéricas dos minerais acima (Quadro 6.1).

Em afloramento este tipo granítico apresenta variação de coloração com os fenocristais de feldspatos alcalinos variando de rosa para a cor rosa clara, porém em volume bastante restrito e de forma localizada.

RELAÇÃO DE CONTATOS MINERAIS

A rocha apresenta um excelente entrelaçamento mineral, com cerca de 77%, sendo contatos do tipo côncavo-convexo e denteado, caracterizado por um imbricamento e/ou intercrescimento entre cristais de feldspato potássico, plagioclásio e quartzo (Prancha 6.3; fotomicrografia 1). Os primeiros exibem bordas e contornos geralmente irregulares, o que se traduz num evidente engrenamento mineral. Os contatos do tipo plano ocorrem basicamente entre os cristais de quartzo e os de feldspatos, bem como em agregados maiores de quartzo microgranulados. Destaca-se, ainda, que as relações de contato entre os agregados de biotita e os demais minerais são do tipo côncavo-convexos a, localmente, denteados, e entre suas lamelas são do tipo plano.

O tipo de contato predominante entre os cristais é o do tipo côncavo-convexo, com média de 45%, e geralmente associado aos minerais de quartzo. O contato do tipo denteado atinge em torno de 32% dos granitos Rosa Olinda, característico nos agregados de biotita, nos plagioclásios e cristais de microclínio com contornos de aspectos gerais de corrosão. Também ocorre o contato do tipo plano representando cerca de 23% do total da rocha. O contato entre os fenocristais de feldspato potássico e plagioclásio é do tipo denteado, resultante de seus contornos irregulares, tipicamente corroídos. Entre cristais de quartzo é côncavo-convexo, porém estes com feldspatos apresentam contatos côncavos/denteados. A maioria dos contatos planos ocorre entre plagioclásios e também em albitas inclusas no feldspato potássico. A biotita apresenta contatos denteados e côncavo-convexos (com quartzo) e plano ao longo da clivagem basal.

MICROFISSURAMENTO

O granito Rosa Olinda apresenta média de microfissuras de $0,22/\text{mm}^2$, o que permite classificá-lo como uma rocha com baixo grau de microfissuramento. Apesar da presença de planos bem desenvolvidos, mostram baixa intercomunicabilidade, sem orientação preferencial. Predominam microfissuras muito curtas e curtas, a maioria são curvas e sem preenchimentos de produtos minerais secundários.

Do total das amostras analisadas, 11% das microfissuras são consideradas muito curtas, menores que 1 mm, 74 % são curtas, entre 1 a 3 mm e 12 % apresentam extensões entre 3 e 6 mm, consideradas médias. Apenas 3% são longas, maiores que 6 mm. Em torno de 75% são microfissuras intragrãos sem preenchimento, 6% estão preenchidas, cerca de 16% são intergrãos com preenchimento e apenas 3% correspondem a microfissuras intergrãos sem preenchimento.

Os planos de fissuras mais proeminentes e longos freqüentemente estão associados aos limites dos cristais e são preenchidos por materiais de acordo com a composição química dos minerais próximos. No caso do microclínio, as microfissuras do tipo intergrão, são isorientadas, e mostram-se preenchidas por sericita e muscovita e impregnadas por óxidos e hidróxidos.

O quartzo é o mineral com a maior freqüência de microfissuras intragrãos, sem direções preferenciais, preenchidas por sericita, muscovita e quartzo amorfo. O plagioclásio corresponde ao mineral com a menor intensidade de microfissuras, as quais, quando presentes, se manifestam associadas e paralelas às maclas de geminação.

MINERALOGIA

O biotita monzogranito porfirítico Rosa Olinda é composto em média por 36% de feldspato potássico (5,4% de ortoclásio e 30,6% de microclínio); 22% de plagioclásio (2,2% de albita e 19,8% de oligoclásio); 28% de quartzo, 10% de biotita, hornblenda em torno de 0,5% e cerca de 2% pelos acessórios titanita, allanita, apatita e zircão. Como secundários ocorrem clorita, muscovita, sericita, epidoto, carbonatos e óxidos/hidróxidos de ferro, os quais perfazem em torno de 1,5% do total da rocha (Quadro 6.1).

O feldspato potássico está representado por ortoclásio e microclínio e ocorre tanto como fenocristais quanto na matriz. Na matriz, os cristais de microclínio apresentam, proporcionalmente, dimensões menores que as do ortoclásio, predominantemente entre 0,2 a 1,2 mm. O ortoclásio varia de 1,5 a 6 mm, porém o intervalo mais freqüente é de 2 a 3 mm. Os cristais de microclínio da matriz são na sua maioria anédricos e encontram-se alterados para argilominerais, freqüentemente exibindo intercrescimentos entre si e englobando cristais menores de quartzo, albita e biotita.

Os fenocristais de microclínio apresentam formas predominantemente prismáticas, exibem típica geminação em grade e marcante presença de pertitas tipos filmes, veios e manchas. Apresentam freqüentes inclusões de minúsculos cristais de plagioclásio com núcleos fortemente saussuritizados. Também são comuns os fenocristais com formato oval, extremidades irregulares, limites mal definidos e denteados, demonstrando reações de dissolução ou recristalização. Quando subédricos, são prismáticos e com linhas de crescimento. Os fenocristais apresentam inclusões dispersas de albita, quartzo e mica branca. São comuns pertitas alteradas sobre a macla xadrez do microclínio, alguns cristais de microclínio apresentam macla polissintética nas pertitas, com sobreposição de lamelas de mica branca. A grande maioria dos cristais de feldspato potássico apresenta, sob nicóis

paralelos, manchas amarronadas devido a efeitos de argilização acompanhada por pigmentação por óxidos e hidróxidos de ferro.

O **plagioclásio** está representado por minerais de albita e de oligoclásio, com dimensões médias menores que o microclínio. O oligoclásio constitui cristais tanto subedrais quanto anedrais, de tamanhos maiores que albita. Sob a forma subedral ocorrem como grãos isolados na massa granítica e quando anédricos, são irregulares, se apresentam intercrescidos com cristais de feldspato potássico ou ainda ocupando posições intersticiais entre os minerais. Apresentam dimensões que variam em dois intervalos, de submilimétricas até 2 mm, e sob forma de fenocristais que variam de 8 a 15 mm. Os cristais subédricos são prismáticos, com proporção de comprimento e largura de 2:1 e geminação polissintética bem definida.

Os cristais de albita exibem bordas corroídas e irregulares e estão distribuídos aleatoriamente, intercrescidos com biotita e quartzo submilimétrico (Prancha 6.3; fotomicrografia 1). Ocorrem também cristais com macla polissintética deslocada. Alguns cristais de plagioclásio mostram internamente quartzo como exsolução em forma de gota. Ocorrem cristais de albita submilimétricos (0,2 mm) inclusos em microclínio. A grande maioria apresenta formas prismáticas alongadas sem microfissuras. Em torno de 60 a 70% dos cristais de plagioclásio estão alterados, para mica branca e argilominerais no núcleo. Alguns cristais de plagioclásio exibem zoneamento composicional, apresentando núcleos mais cálcicos, de composição oligoclásio-andesítica, intensamente saussuritizados, a albitica nas bordas e ocorrem com ou sem alteração no núcleo (muscovita e sericita).

O **quartzo** ocorre predominantemente na matriz, onde aparece como cristais dispersos com tamanhos variando, desde submilimétricos a 1,5 mm, e formando agregados de cristais que atingem até 20 mm. Os cristais individuais constituem desde formas predominantemente anédricas até subédricas e, por vezes, exibindo formas pseudo-hexagonais. Ocorre em formas muito irregulares, amebóides, com tamanhos bastante variados. Distribui-se na rocha sob formas variadas, intersticial, inclusos em diversos minerais, como cristais individuais e constituindo agregados monominerálicos. Apresentam feições de dissolução englobando biotita, albita e feldspato potássico, parcial ou totalmente.

Na qualidade de megacristais, ocorrem em proporções bastante inferiores às do microclínio e com dimensões menores, variando entre 1,5 e 2,0 cm. Nestes casos formam cristais com contornos mais ou menos regulares e com inclusões de minúsculas lamelas de biotita, marcados por certo grau de microfissuramento intragrão.

A **biotita** ocorre preferencialmente em pequenos agregados lamelares de dimensões desde submilimétricas até de 10 mm dispersos na massa quartzo-feldspática

(Prancha 6.3; fotomicrografia 1), além de constituir freqüentes inclusões nos feldspatos e quartzo. Os agregados apresentam formas variadas podendo ser alongados, irregulares, freqüentemente com bordas corroídas. Microscopicamente as lamelas mostram-se subédricas a anédricas, podendo ser esqueletais ou mesmo arredondadas. Os agregados de biotita ocorrem intercrescidos com quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, allanita, fluorita intersticial (Prancha 6.3; fotomicrografias 2 e 3) e titanita (Prancha 6.3; fotomicrografia 4). Mais raramente a biotita ocorre intercrescida com cristais de anfibólio (Prancha 6.3, fotomicrografias 5 e 6) monazita, epidoto e opacos. Aparecem também inclusões de zircão, rutilo e apatita nas lamelas de biotita.

Quando não alterada, as cores de pleocroísmo da biotita variam de marrom a caramelo, sendo modificado por efeitos de cloritização tornando-se amarelo esverdeado claro até verde intenso de acordo com a intensidade das transformações. A maioria dos cristais encontra-se de parcial a totalmente cloritizados, com freqüentes presenças de opacos disseminados, exibindo bordas corroídas, formas esqueletais (Prancha 6.3; fotomicrografias 2, 3 e 4) e birrefringência anômala. São comuns cristais de biotitas de coloração marrom intercaladas por faixas verdes (Prancha 6.3; fotomicrografia 3), dadas por transformações parciais da biotita para clorita.

A **hornblenda** constitui em média 0,5% dos minerais do granito Rosa Olinda e ocorre em cristais de até 1 mm. Constitui cristais anédricos com bordas intensamente corroídas, intercrescidos com biotita e associados com esfeno. São cristais alterados com inclusões de opacos, quartzo e transformado para biotita (Prancha 6.3; fotomicrografias 5 e 6). Por determinação ótica e através de microssonda eletrônica (Capítulo 7), é classificada como hornblenda ferro-edenita, pertencente ao grupo dos anfibólios cálcicos.

Os demais minerais **acessórios** estão representados por (i) allanita prismática, zonada, tamanho médio de 1 mm, com efeitos de metamictização (Prancha 6.3; fotomicrografias 7, 8 e 9), e ocorre também como inclusões zircão, apatita e opacos; (ii) titanita (ou esfeno) prismática com até 2,0 mm, ocorre tanto como cristais isolados quanto preferencialmente inclusos em biotita e/ou clorita (Prancha 6.3; fotomicrografias 2 e 4); (iii) apatita e (iv) zircão euédricos, submilimétricos, inclusos na biotita; mais raramente, (v) monazita. Os minerais acessórios, incluindo anfibólio e fluorita totalizam em torno de 2 %.

A **fluorita** ocorre na proporção de mineral traço, observada exclusivamente de modo intersticial, com características incolores ou com tons levemente lilases, encontra-se, comumente associada à biotita alterada, com opacos e óxidos/hidróxidos de ferro. Ocorre nas interfácies minerais, provavelmente como produto de dissolução na transformação da biotita para clorita (Prancha 6.3; fotomicrografias 2 e 3).

Os produtos de alteração mineral são variados e representam 1,5 % na rocha. São formados por clorita, sericita, muscovita, epidoto, carbonatos, argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro, detalhados abaixo.

TRANSFORMAÇÕES MINERAIS

A transformação mineral apresenta diversos graus de intensidade de acordo com as reações e os elementos disponíveis no sistema da rocha. Praticamente todas as amostras analisadas apresentam cristais de feldspatos (tanto feldspato potássico como plagioclásio) parcialmente alterados para agregados microcristalinos representados por argilominerais, sericita, óxidos e hidróxidos de ferro, entre outros produtos, afetando cerca de 30 a 60% de suas áreas.

A alteração para minerais de argila é comum, pois a presença de óxido de ferro na forma de hematita pulverulenta causa aspecto turvo aos feldspatos. Em torno de 40% dos feldspatos (plagioclásio e feldspato potássico) estão sericitizados em grau incipiente (em menos de 30% das áreas dos cristais estão afetados).

A sericitização dos feldspatos manifesta-se de forma bastante variável, tanto no tocante a sua intensidade quanto em termos da distribuição na rocha. Assim, ocorrem porções da rocha onde cerca de 40% dos cristais encontram-se afetados e outras áreas onde menos de 5% dos cristais encontram-se sericitizados. Em ambos os casos as alterações de sericitização são incipientes, raramente atingindo mais que 30% das áreas dos cristais de feldspato potássico e de plagioclásio. Estes últimos também podem sofrer saussuritização, em diferentes intensidades, inclusive com a geração de carbonatos.

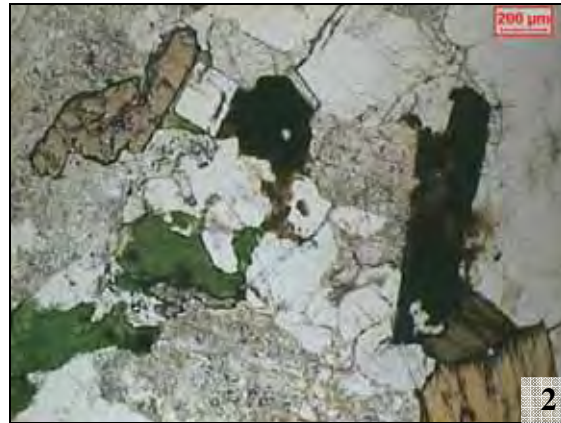
A alteração sobre o núcleo de cristais de plagioclásio é representada pela sericita/muscovita distribuídas em finas palhetas ao longo dos planos de clivagem (Prancha 6.3; fotomicrografia 1), por argilominerais, que ocorrem como mancha marrom e, mais raramente, por epidoto e carbonato, formando saussuritização em pontos localizados. A presença de carbonato (calcita) preenchendo espaços vazios e microfissuras aparece de modo bastante localizado.

A alteração sobre o feldspato potássico mostra em torno de 8% de sericitização, argilominerais e óxidos de ferro sob forma de “manchas” sobre maclas de microclínio e pertitas (Prancha 6.3; fotomicrografia 4). Cristais de albita inclusos no microclínio também apresentam alterações com lamelas de mica branca. O microclínio pertítico é encontrado em megacristais com evidente borda de reação e/ou zoneamento composicional, em grande

parte dos cristais. Alteração ocorre sobre fenocristais e cristais inclusos nestes, sobre pertitas e sobre linhas de crescimento formando “manchas marrons”.

Neste fácies petrográfica a cloritização afetou em torno de 30% das biotitas, com grau moderado (entre 30 a 60% da área dos cristais). Grande parte dos cristais de biotita encontram-se de parcial a totalmente transformados para clorita (Prancha 6.3, fotomicrografias 2 e 4) e muscovita com a presença de opacos secundários disseminados. A birrefringência bastante variável das biotitas, de marrom escuro a descolorida (semelhante à da mica branca) demonstra a desestabilização deste mineral.

A presença da associação biotita, muscovita, clorita e fluorita neo-formada está presente em todas as amostras deste fácies granítico (Prancha 6.3; fotomicrografias 2 e 3), assim como a intensa alteração dos feldspatos para minerais de argila, sugerindo para este fácies condições de reações em baixas temperaturas ou de reequilíbrio nestas condições. Porém as transformações de anfibólio para biotita representam condições de mais alta temperatura associadas às reações tardi a pós magmáticas anteriores.



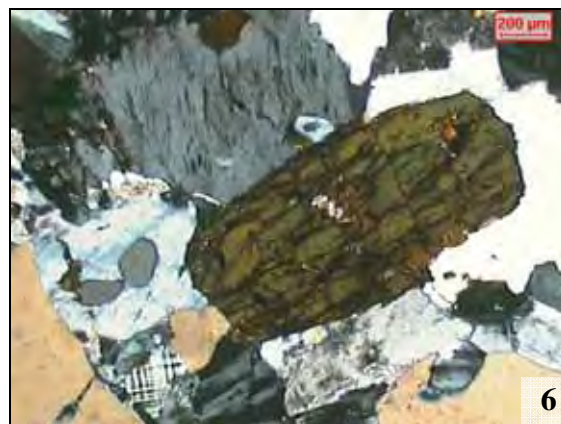
Fotomicrografia 1 - Aspecto geral da matriz quartzo-feldspática com biotita cloritizada (porção superior direita). As lamelas de mica branca estão mais desenvolvidas nos feldspatos próximos aos cristais de biotita. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 2 - Concentração de cristais de titanita, clorita, allanita e apatita associados à biotita e fluorita intersticial (porção central). Feldspatos parcialmente transformados para sericita. Nicóis //.



Fotomicrografia 3 - Agregado de biotita associada com allanita metamicta e fluorita intersticial (porção central inferior). Canto esquerdo biotita alterada para clorita com faixas marrom e verde. Nicóis //.

Fotomicrografia 4 - Titanita anédrica intercrescida com clorita formada pela substituição da biotita, e cristais de feldspatos com presença de argilominerais e de óxidos/hidróxidos de Fe. Nicóis paralelos.



Fotomicrografia 5 - Cristal de anfíbólio subédrico apresentando transformações para biotita entre as clivagens, nas regiões centrais e bordas. Nicóis paralelos.

Fotomicrografia 6 -- Anfíbólio reliquiar parcialmente substituído por biotita. Nicóis cruzados.

PRANCHA 6.3 – Fotomicrografias do granito Rosa Olinda.



Fotomicrografia 7 - Cristal de allanita euédrica metamictizada, circundada por apatita microfissurada com planos dispostos em direções perpendiculares e preenchidas por opacos disseminados e óxidos de ferro. Porção superior e esquerda da seção com cristais de plagioclásio argilizados e com presença de óxidos/hidróxidos de ferro. Nicóis paralelos.

Fotomicrografia 8 - Cristais de allanita metamictizados associados com clorita e apatita. Nicóis paralelos.



Fotomicrografia 9 - Biotita associada a cristal de allanita subédrico com núcleo metamictizado e com pequenos prismas de apatitas euédricas. Nicóis descruzados.

PRANCHA 6.3a (continuação) – Fotomicrografias do granito Rosa Olinda.

6.4 GRANITO BRANCO SAVANA - SIENOGANITO INEQUIGRANULAR MÉDIO A GROSSO

Este tipo granítico está distribuído nas porções leste, sudeste e sudoeste do *stock* granítico Serra do Barriga, limitado pelo granito Rosa Iracema (Figura 4.3). São rochas com estrutura homogênea, sem diques, veios, enclaves ou fraturas. Ocorre principalmente sob a forma de matacões com estrutura isótropa e dimensões que variam de 3 a 15 m de altura por 2 a 5m de diâmetro, distribuídos nas bordas sudeste e sudoeste do maciço.

O granito Branco Savana corresponde a um Sienogranito Inequigranular médio a grosso (Figura 6.1 e 6.2), de coloração branco acinzentada (Foto 3; Prancha 6.1), pela presença de feldspato alcalino e plagioclásio de coloração branca, quartzo cinza e biotitas aleatoriamente dispersas na massa quartzo-feldspática da rocha. Apresenta estrutura isótropa, textura fanerítica inequigranular hipidiomórfica a xenomórfica, com granulação desde submilimétrica a cerca de 15 mm, predominando dimensões entre 3 a 6 mm. O feldspato potássico representa o mineral com as maiores dimensões, sendo o principal responsável pelo aspecto inequigranular exibido pelo granito.

A mineralogia essencial é dada por feldspato potássico (microclínio), quartzo, plagioclásio (albita e oligoclásio), biotita, clorita e muscovita secundária. Os minerais acessórios são representados por apatita, zircão, fluorita e opacos, além da presença de produtos de alterações deutéricas dos minerais acima (Quadro 6.1).

Em afloramento este tipo granítico apresenta características gerais homogêneas, exibindo granulação média a média-grossa, podendo localmente apresentar gradações para termos pegmatóides. Estes podem exibir contatos tanto gradacionais quanto intrusivos, normalmente difusos.

RELAÇÕES DE CONTATO MINERAL

A rocha apresenta um excelente entrelaçamento mineral, com cerca de 79% dos contatos do tipo côncavo-convexo e serrilhado, caracterizado por um imbricamento e/ou intercrescimento entre cristais de feldspato potássico, plagioclásio e quartzo. Os primeiros exibem bordas e contornos geralmente irregulares, o que se traduz num evidente engrenamento mineral. Os contatos do tipo plano, representando cerca de 21% do total da rocha, ocorrem basicamente entre os cristais de quartzo e os de feldspato, bem como em agregados maiores de quartzo microgranulados. Destaca-se, ainda, que as relações de contato entre os agregados de biotita e os demais minerais são do tipo côncavo-convexo a, localmente, denteado, e entre suas lamelas do tipo plano.

De modo geral, os contatos dos cristais apresentam-se bastante imbricados. Os contatos denteados ocorrem entre cristais de quartzo, plagioclásio e biotita com bordas corroídas. O contato do tipo côncavo-convexo é bastante comum entre cristais de quartzo intersticial e feldspato potássico com intercrescimento de albita. O contato plano é comum no plagioclásio tardio.

MICROFISSURAMENTO

As microfissuras no tipo granítico Branco Savana apresentam a média geral de $0,31/\text{mm}^2$, considerado ainda, um grau de microfissuramento baixo ($< 0.40/\text{mm}^2$). São microfissuras sem direções preferenciais, sob a forma intragranular e intergranular, sendo as últimas com comunicabilidade quando projetadas entre os contatos dos cristais.

Da totalidade das microfissuras, 20 % são consideradas muito curtas, menores que 1 mm, 70% são curtas, entre 1 e 3 mm, 10% apresentam tamanho médio, entre 3 e 6 mm. As fraturas maiores que 6 mm não atingiram 0,5 % da média. Em torno de 91% microfissuras estão no interior dos cristais, porém 53% estão sem preenchimento e 38% são preenchidas. As microfissuras que cruzam outros cristais (intergranular) atingem em torno de 9%.

As microfissuras são preenchidas por materiais de acordo com a composição química dos minerais próximos. Ocorrem fissuras preenchidas por sericita e muscovita, quando próximas de feldspato potássico; carbonato, quando próximas de plagioclásio, preenchidas por muscovita, óxidos e hidróxidos de ferro, quando próximas de biotitas, cloritas e/ou minerais opacos; e ainda, outras microfissuras preenchidas por sílica amorfa.

A maior frequência de microfissuras intragrãos, sem direção preferencial e com baixa comunicabilidade ocorre no quartzo. São microfissuras curtas, irregulares e descontínuas, algumas são preenchidas por argilominerais e óxido de ferro. As fissuras mais evidentes prolongam-se entre os contatos dos minerais aumentando o grau de intercomunicabilidade. Sobre cristais maiores de quartzo ocorrem microfissuras paralelas, descontínuas, muito finas e com mica branca.

MINERALOGIA

O granito Branco Savana é formado por aproximadamente 43% de microclínio, 34% de quartzo, plagioclásio (14% de oligoclásio e 2% de albita) e 5% de biotita, e cerca de 0,5% representado pelos minerais acessórios titanita, apatita, zircão e opacos. A fluorita abrange em torno de 0,5%. Como secundários ocorrem clorita, muscovita, sericita, epidoto, carbonatos e óxidos/hidróxidos de ferro perfazendo em torno de 1% do total da rocha (Quadro 6.1).

O **microclínio** com coloração branca representa os cristais com as maiores dimensões da rocha, predomina entre 4 a 6 mm, podendo atingir até cerca de 15 mm ao longo do seu maior eixo. Os cristais maiores (acima de 10 mm) atingem cerca de 10% do volume da rocha. Apresentam formas predominante anédricas, tendendo a subédricas, com bordas e contornos irregulares devido a efeitos de corrosão, bem como de intercrescimentos com albita (Prancha 6.4, fotomicrografias 1 e 2) e quartzo. São freqüentes microinclusões de biotita, albita branca e de quartzo.

Em termos gerais mostram-se intensamente pertitizados sob forma de filmes, veios e manchas (Prancha 6.4, fotomicrografias 1 e 2), mascarando a geminação cruzada (Prancha 6.4, fotomicrografia 3). O desenvolvimento mais intenso do processo de pertitização conduz, localmente, a uma parcial albitização do feldspato potássico. Destaca-se ainda, que os cristais de feldspato potássico mais desenvolvidos exibem intensidades variáveis de sericitização, por vezes marcadas nas linhas de zoneamento, ou como transformações parciais para argilominerais (Prancha 6.4, fotomicrografia 3 e 4).

O **plagioclásio** ocorre com dimensões médias menores que o microclínio, está representado por oligoclásio e albita, ambos de coloração esbranquiçada. O oligoclásio constitui cristais tanto subedrais quanto anedrais, de tamanhos maiores que a albita. Sob a forma subédrica são prismáticos e ocorrem isolados na massa granítica e quando anédricos são irregulares, intercrescidos com cristais de feldspato potássico ou ainda ocupam posições intersticiais entre os minerais (Prancha 6.4, fotomicrografias 4 e 5). Sob a forma intersticial apresentam dimensões que variam de 0,6 a 5 mm, sendo que os cristais maiores ocorrem entre 10 a 20 mm. Os cristais isolados subédricos mostram tamanhos entre 1 a 5 mm. As proporções de comprimento e largura são de 2:1. Microscopicamente exibem marcante zoneamento composicional, apresentando núcleos mais cálcicos, de composição oligoclásio-andesítica, intensamente saussuritizados, a albítica nas bordas (Prancha 6.4, fotomicrografias 4 e 6).

O **quartzo** ocorre tanto como cristais isolados desde submilimétricos até 5 mm, como formando agregados anédricos que podem atingir até 15 mm, exibindo feições de

dissolução. Os cristais individuais constituem desde formas predominantemente anédricas até euédricas com formas pseudo hexagonais. Distribui-se na rocha sob formas variadas, intersticial, inclusos em diversos minerais, como cristais individuais e constituindo agregados monominerálicos. Apresentam feições de dissolução englobando biotita, albita, parcial ou totalmente. Envolvem agregados de albita+microclínio+biotita e cristais menores de biotitas e albitas, que ocorrem também como inclusões. Os agregados e/ou cristais mais desenvolvidos de quartzo são os que apresentam o maior grau de microfissuramento.

A **biotita** ocorre preferencialmente como inclusões nos feldspatos e quartzo em tamanhos desde submilimétricos até de 3 mm, ocorre também como pequenos agregados lamelares de dimensões desde submilimétricas a cerca de 6 mm dispersos na massa quartzo-feldspática. Os agregados apresentam formas variadas podendo ser alongados, irregulares, freqüentemente com bordas corroídas apresenta cristais isolados menores de 0,5 mm, até agregados de 4 mm. Microscopicamente as lamelas mostram-se subédricas a irregulares, podendo ser esqueletais ou mesmo arredondadas. Os agregados de biotita ocorrem comumente associados com opacos, apatita, esfeno, fluorita e/ou zircão. Quando este último ocorre como inclusões, provoca efeito de metamictização nas lamelas de biotita. As biotitas exibem forte pleocroísmo que varia de amarelo pálido a marrom escuro, sendo modificado por efeitos de cloritização tornando-se amarelo esverdeado claro até verde intenso de acordo com a intensidade de alteração (Prancha 6.4a, fotomicrografia 7 e 8).

Os demais minerais **acessórios** estão representados pela titanita (ou esfeno) prismática com até 2,0 mm, que ocorre tanto como cristais isolados quanto preferencialmente inclusas em biotita e/ou clorita; apatita euédrica, submilimétrica, inclusa na biotita e zircão prismático com alta birrefringência e elevado relevo.

A **fluorita** ocorre associada à biotita, observada exclusivamente de modo intersticial distribuída entre os limites dos cristais, provavelmente como produto de dissolução na transformação da biotita para clorita (Prancha 6.4a, fotomicrografias 9 e 10).

Os produtos de alteração mineral são variados e representados pela clorita, sericita, muscovita, epidoto, carbonatos, argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro, detalhados abaixo.

TRANSFORMAÇÕES MINERAIS

A transformação mineral no granito Branco Savana apresenta diversos graus de intensidade de acordo com as reações e os elementos disponíveis no sistema da rocha. Praticamente todas as amostras analisadas apresentam cristais de feldspatos (tanto

feldspato potássico como plagioclásio) parcialmente alterados para agregados microcristalinos representados por argilominerais, sericita, entre outros produtos, afetando cerca de 30 a 60% de suas áreas. (Prancha 6.4, fotomicrografias 3, 4, 5 e 6)

Sobre o núcleo dos cristais de plagioclásio são comuns lamelas alongadas de muscovita, que atingem em torno de 40% da área do cristal (Prancha 6.4, fotomicrografias 6 e 12). As alterações de mica branca ocorrem preferencialmente sobre cristais de plagioclásio, sendo que as mais finas (sericitas) abrangem 25% dos cristais, com grau incipiente, ou seja, menos de 30% de suas áreas estão sericitizadas.

A alteração para argilo minerais sobre cristais de feldspato potássico e de plagioclásio acentua-se, sobretudo nas pertitas e inclusões de albita (Prancha 6.4, fotomicrografias 3 e 4). Atinge entre 30 a 60% das áreas dos cristais, caracterizando alteração de grau moderado. O aspecto de “sujo” provocado pela concentração de material argiloso e/ou óxido de ferro também ocorre nos cristais maiores de plagioclásio (ortoclásio). Localmente existem cristais totalmente substituídos por uma “massa criptocristalina” de sericita com lamelas de muscovita (Prancha 6.4, fotomicrografias 5). A maioria dos feldspatos (potássicos e plagioclásio) exhibe zoneamento com sombras de crescimento definidas através de argilo minerais (Prancha 6.4, fotomicrografia 4).

As duas principais formas de alteração da biotita ocorrem através da cloritização e da mectamictização (inclusões de zircões). Em torno de 60% dos cristais de biotita estão cloritizados, atingindo entre 30% a 60% das áreas dos cristais (Prancha 6.4a, fotomicrografias 7 e 8), enquanto que 50% dos cristais de biotita foram mectamictizados, com 30 a 60% de suas áreas afetadas.

A alteração da biotita evidencia-se tanto pela sua cor, apresentando faixas alternadas de cores marrom e verde (Prancha 6.4a, fotomicrografia 7) quanto pela sua forma corroída (Prancha 6.4a, fotomicrografias 8 e 9) e pela birrefringência mais alta (semelhante à mica branca). São comuns cristais de biotita mectamictizados e intercrescidos com fluorita anédrica intersticial (Prancha 6.4a, fotomicrografias 9 e 10).

Ocorrem albitas com inclusões de biotita, mica branca, quartzo, fluorita e opacos. O ferro que é liberado nas reações de alteração da biotita para mica branca, aloja-se na estrutura dos cristais de feldspatos potássicos e albitas como óxido de ferro e imprime aspecto “sujo” sobre os mesmos (Prancha 6.4a, fotomicrografias 11 e 12).

Um evento de “albitização” formou franjas de albitas nas bordas do microclínio, albitizando pertitas (Prancha 6.4, fotomicrografias 1 e 2).



Fotomicrografia 1 – Feldspato potássico com pertitas em forma de manchas albitizadas e intercrescimento de albita intersticial nas bordas. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 2 – Feldspato potássico pertítico apresentando feições de intercrescimento de “franjas” de albita invadindo o feldspato. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 3 - Cristais de microclínio com geminação xadrez (porção superior) e com pertitas em forma de manchas albitizadas e bordas irregulares (canto inferior direito). Nicóis cruzados.

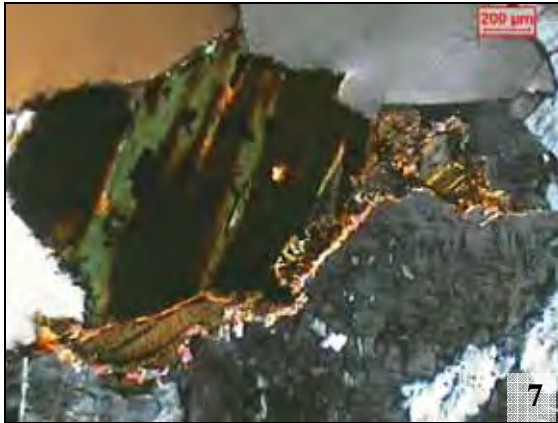
Fotomicrografia 4 - Feldspatos zonados: à direita microclínio com linhas de crescimento marcadas por minerais de alteração e, à esquerda, plagioclásio com núcleo sericitizado. Nicóis cruzados.



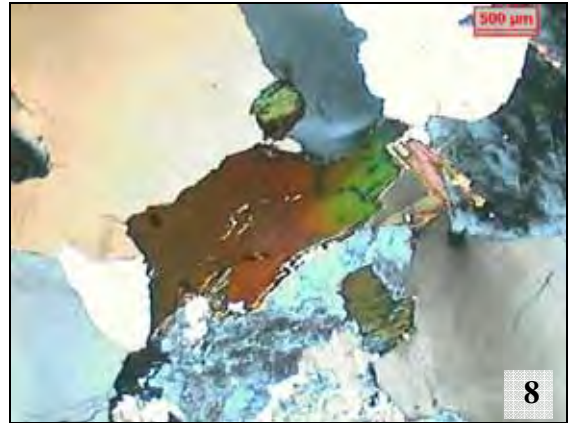
Fotomicrografia 5 - Plagioclásio com intensa substituição para mica branca no núcleo. A presença da biotita intensifica a alteração para mica branca nos cristais no seu entorno. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 6 - Plagioclásio zonado com parte de sua área alterada para argilominerais e lamelas de mica branca de variados tamanhos. Microclínio com pertitas alteradas para mica branca e biotita cloritizada. Nicóis cruzados.

PRANCHA 6.4 – Fotomicrografias do Granito Branco Savana.



Fotomicrografia 7 - Biotita parcialmente transformada para clorita e opacos (faixas marrom e verde) e biotita com bordas corroídas e com franjas de mica branca. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 8 – Biotita parcialmente transformada para clorita e mica branca. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 9 - Biotita cloritizada com bordas corroídas associada com fluorita intersticial bem desenvolvida. Nicóis paralelos.



Fotomicrografia 10 - Mesma imagem porém com nicóis cruzados, observar os limites da fluorita através da isotropia do cristal. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 11 - Detalhe da fotomicrografia (6), acima; notar a presença de argilominerais e de minerais opacos intercalados às lamelas de mica branca. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 12 – Plagioclásio com mica branca e biotita transformada para muscovita. Nicóis cruzados.

PRANCHA 6.4 a (continuação).– Fotomicrografias do Granito Branco Savana.

6.5 GRANITO BRANCO CRISTAL QUARTZO - SIENOGRANITO INEQUIGRANULAR GROSSO

Representa o tipo petrográfico com o menor volume conhecido dentre os quatro granitóides, ocorre conjuntamente com o tipo Branco Savana não sendo possível separá-los cartograficamente, conforme descrito no Capítulo 4. Em afloramento o granito Branco Cristal Quartzo apresenta estrutura e textura homogêneas, porém exibe localmente gradações para termos de granulação média a média-grossa. Os contatos são gradacionais, normalmente difusos, e sempre associados com o tipo granítico Branco Savana, podendo representar uma variação faciológica deste

O granito Branco Cristal Quartzo corresponde a um sienogranito inequigranular médio a grosso (Figura 6.1 e 6.2), de coloração variando entre branca a branca acinzentada (Prancha 6.1, Fotografia 4) devido à predominância de feldspatos brancos com cristais de quartzo acinzentados, de aspecto intersticial, contendo agregados pretos de biotita aleatoriamente distribuídos na massa quartzo-feldspática da rocha.

Apresenta estrutura isotrópica, textura fanerítica inequigranular hipidiomórfica a xenomórfica, com granulação desde submilimétrica a cerca de 30 mm, predominando dimensões entre 4 a 8 mm. O feldspato potássico representa o mineral com as maiores dimensões, sendo o principal responsável pelo aspecto inequigranular exibido pelo granito.

A mineralogia essencial deste granito é formada por feldspato potássico (microclínio), quartzo, plagioclásio (albita e oligoclásio) e biotita. Os minerais acessórios são representados por titanita, apatita, zircão e opacos, além da presença de fluorita, bem como respectivos produtos de alterações deutéricas dos minerais acima (Quadro 6.1).

RELAÇÕES DE CONTATO MINERAL

A rocha apresenta um excelente entrelaçamento mineral, com cerca de 79% dos contatos do tipo côncavo-convexo e serrilhado (45 e 34%, respectivamente), caracterizado por um imbricamento e/ou intercrescimento entre cristais de feldspato potássico, plagioclásio e quartzo. Os primeiros exibem bordas e contornos geralmente irregulares, o que se traduz num evidente engrenamento mineral. Os contatos do tipo plano, representando cerca de 21% do total da rocha, ocorrem basicamente entre os cristais de quartzo e os de plagioclásio, bem como em agregados maiores de quartzo microgranulados.

Destaca-se, ainda, que as relações de contato entre os agregados de biotita e os demais minerais são do tipo côncavo-convexo a, localmente, denteado, e entre suas lamelas do tipo plano. Os agregados de quartzo apresentam predominantemente contatos do tipo côncavo-convexos, enquanto que os cristais de feldspato potássico, albita e biotita, com bordas corroídas ou fraturadas, aparecem sempre com contatos engrenados.

MICROFISSURAMENTO

As amostras do granito Branco Cristal Quartzo apresentam em média cerca de 0,25 microfissuras/mm², o que ainda é considerada como baixa intensidade (até < 0,40/mm²). Apesar de ocorrerem planos bem desenvolvidos, tanto sob a forma intergranular quanto intragrãos, mostram baixa intercomunicabilidade e sem orientação preferencial.

Do total das amostras analisadas, 58% das microfissuras são consideradas muito curtas, menores que 1 mm; 35% são curtas, entre 1 a 3 mm; e, 6% apresentam extensões entre 3 e 6 mm, consideradas médias. Apenas 1% são longas, maiores que 6 mm. Do total de microfissuras observadas, as intragrãos com preenchimentos atingem em torno de 37%, sendo que as intragrãos sem preenchimentos abrangem 57%. Já as microfissuras intergrãos, num total de 6% das microfissuras identificadas nas amostras do referido granito, as sem preenchimentos representam 4% e as com preenchimento apenas 2% das amostras analisadas.

As microfraturas são preenchidas por materiais de acordo com a composição química dos minerais próximos. Ocorrem fissuras preenchidas por sericita, muscovita e algum epidoto, quando próximas de feldspato potássico e plagioclásio; preenchidas por clorita, óxidos e hidróxidos de ferro, quando próximas de biotitas cloritizadas e/ou de minerais opacos; e, ainda, microfissuras preenchidas por quartzo quando próximas à este.

O quartzo é o mineral com a maior frequência de microfissuras intragrãos, são irregulares, geralmente preenchidas por quartzo, mas sem direção preferencial. As fissuras mais espessas que se prolongam pelos contatos dos cristais de biotita alterada são preenchidas por óxido/hidróxido de ferro. Ocorrem, mais raramente, microfissuras nas albitas, perpendiculares às respectivas maclas de geminação, preenchidas por muscovita e fluorita. Grande parte dos cristais maiores de microclínio perfitico ocorre microfissurado.

MINERALOGIA

O sienogranito Branco Cristal Quartzo é formado por aproximadamente 40% de microclínio, 35% de quartzo, 17% de plagioclásio (14% de oligoclásio e 3% de albita) e 4% de biotita e cerca de 1% pelos minerais acessórios titanita, allanita, apatita, zircão e opacos. A fluorita ocorre em 0,5%. Como secundários ocorrem clorita, muscovita, sericita, epidoto, carbonatos e óxidos/hidróxidos de ferro perfazendo em torno de 2,5% do total da rocha (Quadro 6.1). De modo geral são minerais seriais, com tamanhos desde submilimétricos a 30 mm, sendo freqüentes porções localizadas onde predominam cristais menores de 5 mm com agregados de grãos submilimétricos, assim como porções de granulação mais grosseira com cristais maiores que 8 mm.

O **microclínio** representa os cristais com as maiores dimensões da rocha, podendo atingir até cerca de 30 mm ao longo do seu maior eixo, os quais perfazem cerca de 10% do volume da rocha. Apresentam formas predominante anédricas, tendendo a subédricas, com bordas e contornos irregulares devido a efeitos de corrosão, bem como de intercrescimentos com cristais de albita e quartzo. São freqüentes microinclusões de biotita, albita branca e de quartzo (Prancha 6.5; fotomicrografias 1 e 2).

Em termos gerais mostram-se intensamente pertitzados sob forma de filmes, veios e manchas, mascarando a geminação em grade. O desenvolvimento mais intenso do processo de pertitização conduz, localmente, a uma parcial albitização do feldspato potássico (Prancha 6.5; fotomicrografias 3 e 4). Os cristais de microclínio freqüentemente envolvem pequenos cristais de plagioclásio, quartzo e biotita, sendo que os cristais com as maiores dimensões englobam cristais de albita nas bordas (Prancha 6.5; fotomicrografia 4). Destaca-se ainda, que os cristais de feldspato potássico mais desenvolvidos exibem intensidades variáveis de sericitização, bem como transformações parciais para argilominerais.

O **plagioclásio** está representado por oligoclásio e albita, ambos de coloração esbranquiçada, e no geral apresenta dimensões médias menores que as do microclínio. O oligoclásio constitui cristais tanto subedrais quanto anedrais, de tamanhos maiores que os exibidos pela albita. Sob a forma subedral ocorrem como cristais prismáticos, límpidos, isolados na massa granítica, e quando anédricos, são irregulares, e se apresentam intercrescidos com cristais de feldspato potássico ou ainda ocupando posições intersticiais entre os minerais. Sob a forma intersticial apresentam dimensões que variam de 0,5 a 3 mm, sendo que os cristais maiores ocorrem entre 10 a 15 mm, já alterados e com inclusões bem desenvolvidas (Prancha 6.5; fotomicrografia 5 e 6). Os cristais subédricos mostram tamanhos entre 1 a 5 mm, com predomínio de 2 mm. As proporções de comprimento e

largura são de 2:1. Microscopicamente exibem zoneamento composicional, apresentando núcleos contendo lamelas de muscovita (Prancha 6.5; fotomicrografia 3), quartzo, fluorita e biotita. Alguns cristais apresentam inclusões de biotita e/ou de quartzo.

A **albita** ocorre sob várias formas, podendo constituir delgados anéis envolvendo alguns cristais de feldspato potássico, intersticialmente ou em pequenos cristais (inferiores a 5 mm) euédricos a subédricos individuais dispersos pela rocha (Prancha 6.5; fotomicrografia 4). Nestes casos, apresentam nítida geminação albítica, tamanhos em torno de 5 mm, aspecto límpido e desprovidos de alteração, indicando provável recristalização tardi- a pós magmática.

O **quartzo** apresenta-se de forma muito similar à observada nos tipos graníticos anteriormente descritos. Constitui cristais com dimensões desde submilimétricas a cerca de 10 mm, formando, com certa freqüência, agregados que podem atingir até 20 mm. Os cristais individuais apresentam formas predominantemente anédricas, podendo, entretanto, ser suédricos, e por vezes exibindo formas pseudo-hexagonais. Distribui-se na rocha sob formas variadas, intersticial, inclusos em diversos minerais, como cristais individuais e constituindo agregados monominerálicos. Apresentam feições de dissolução englobando biotita e albita, parcial ou totalmente. Envolve agregados de albita+microclínio+biotita e cristais menores de biotita e albita, que ocorrem também como inclusões. São freqüentes inclusões de zircão. Localmente, ocorrem em franjas mirmequíticas nas interfácies entre cristais de feldspato potássico e plagioclásio.

A **biotita** ocorre preferencialmente em pequenos agregados lamelares de dimensões desde submilimétricas a cerca de 5 mm dispersos na massa quartzo-feldspática, além de constituir freqüentes inclusões nos feldspatos e quartzo. Os agregados apresentam formas variadas podendo ser alongados, irregulares, freqüentemente com bordas corroídas. Microscopicamente as lamelas se apresentam sob formas subédricas a irregulares, podendo ser esqueletais ou mesmo arredondadas, e freqüentemente transformadas para clorita e mesmo para muscovita (Prancha 6.5; fotomicrografia 7 e 8). Os agregados de biotita ocorrem comumente associados com opacos, zircão, localmente epidoto (Prancha 6.5; fotomicrografias 9 e 10) e muscovita (Prancha 6.5; fotomicrografia 11).

As biotitas exibem forte pleocroísmo que varia de amarelo pálido a marrom escuro, sendo modificado por efeitos de cloritização tornando-se amarelo esverdeado claro até verde intenso, de acordo com a intensidade de alteração. (Prancha 6.5; fotomicrografias 11 e 12). De um modo geral a biotita ocorre intensamente desestabilizada, com cristais pseudomórficos, transformados para clorita (Prancha 6.5; fotomicrografias 13). São comuns nestes casos intercrescimentos de esfero e fluorita. Alguns estágios de alteração mostram

biotitas com uma textura simplectítica de “franja” de muscovita nos bordas (Prancha 6.5; fotomicrografia 7 e 11).

Os minerais **acessórios** estão representados pela titanita (ou esfeno) prismática com até 2,0 mm, a qual ocorre tanto como cristais isolados quanto preferencialmente inclusos em biotita e/ou clorita; apatita euédrica, submilimétrica, inclusa na biotita; zircão prismático com alta birrefringência e elevado relevo, inclusos no quartzo e na biotita; e, mais raramente, monazita.

A **fluorita** é anédrica, podendo atingir até cerca de 2,5 mm, observada exclusivamente de modo intersticial distribuída entre os limites dos cristais, provavelmente como produto de dissolução na transformação da biotita para clorita (Prancha 6.5; fotomicrografia 14).

Os produtos de alteração mineral perfazem em torno de 2 a 3% da rocha, sendo que os mais comuns são representados pela clorita, sericita, muscovita, epidoto, carbonatos, argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro, detalhados abaixo.

TRANSFORMAÇÕES MINERAIS

A transformação mineral apresenta grau de intensidade relativamente maior neste tipo granítico, mas ocorre de acordo com os elementos disponíveis no sistema da rocha. De modo geral todas as amostras analisadas mostram cristais de feldspatos (tanto feldspato potássico como plagioclásio) parcial ou totalmente alterados para agregados microcristalinos representados por argilominerais, sericita, óxido ou hidróxido de ferro, podendo afetar até cerca de 30 a 60% de suas áreas. Quando pigmentados por óxidos e hidróxidos de ferro na forma de hematita pulverulenta, os feldspatos apresentam um aspecto turvo (Prancha 6.5; fotomicrografias 1, 2, 5, 6, 12 e 13).

A sericitização revela-se de forma bastante variável, tanto em intensidade quanto em termos da distribuição na rocha. Portanto, ocorrem porções da rocha onde cerca de 40% dos cristais encontram-se afetados e outras áreas onde menos de 5% dos cristais estão sericitizados, no entanto esta alteração raramente atinge mais que 30% das áreas dos cristais de feldspato potássico e de plagioclásio.

Comparativamente o plagioclásio apresenta o maior grau de alteração, cuja sericitização chega a desenvolver lamelas de muscovita ao longo das maclas, no núcleo e até nas pertitas no feldspato potássico (Prancha 6.5b; fotomicrografias 15 e 16). Aproximadamente 90% destes cristais estão sericitizados. As lamelas de mica branca (sericita e muscovita) são tanto mais desenvolvidas quanto mais próximas aos cristais de

biotita e/ou de biotita cloritizados (Prancha 6.5; fotomicrografias 5 e 6). Cristais pertitzados exibem esparsas inclusões de albita, de quartzo, de biotita e de mica branca com bordas corroídas (Prancha 6.5; fotomicrografias 1, 2, 3 e 4).

A alteração sobre biotitas manifesta-se através da muscovitização, cloritização e metamictização. A muscovitização gera biotitas intercrescidas com muscovita em variadas formas (Prancha 6.5a; fotomicrografias 7, 8 e 11) e frequentemente aparecem associadas com zircão (Prancha 6.5; fotomicrografias 5, 9, e 12), titanita e, mais raramente, com epidoto (Prancha 6.5a; fotomicrografia 10) e rutilo. Biotitas próximas ou inclusas no plagioclásio frequentemente estão substituídas para muscovita e/ou clorita (Prancha 6.5; fotomicrografias 5a, 7, 11 e 12). A cloritização pode atingir até cerca de 40% dos cristais de biotita, atingindo mais de 60% das áreas dos cristais, tanto em forma de faixas alternadas, quanto substituindo totalmente o cristal (Prancha 6.5b; fotomicrografia 13). Esta alteração gera aspectos de corrosão e alguns intercrescimentos com fluorita (Prancha 6.5b; fotomicrografias 14 e 15). A metamictização atinge em média 20% dos cristais de biotita, de modo localizado mas freqüente, devido à ação radioativa das inclusões de zircão (Prancha 6.5; fotomicrografias 5, 9 e 12).

A intensidade de óxidos/hidróxidos de ferro disseminados nos planos de clivagem da biotita é diretamente proporcional à intensidade de transformação da biotita (Prancha 6.5; fotomicrografia 11). A associação biotita, muscovita, clorita e fluorita neo-formada ocorre em todas as amostras deste tipo granítico. Provavelmente algum evento de precipitação tardia permitiu a cristalização da fluorita.

Os produtos das transformações minerais somam cerca de 2,5% do total deste tipo granítico, sendo que destes, em torno de 60% são muscovita e 40% argilominerais e óxido de ferro.



Fotomicrografia 1 - Microclínio pertitzado englobando microclínio precoce. Os cristais estão afetados por alterações de argilominerais e óxidos e hidróxidos de ferro. Nicóis cruzados.



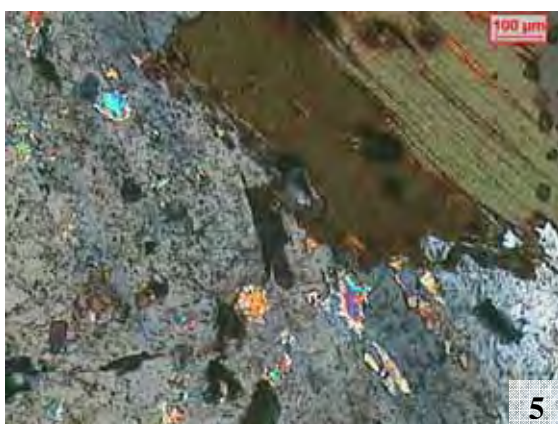
Fotomicrografia 2 - Microclínio pertitzado e plagioclásio com alterações de argilominerais e óxido de ferro. Bordas do microclínio envoltas por pequenos cristais de plagioclásio. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 3 – Microclínio com pertitas albitizadas e cristal de plagioclásio zonado com núcleos alterados para argilominerais e mica branca. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 4– Microclínio intercrescido com plagioclásio, pequenos cristais de plagioclásio nas bordas do microclínio. Nicóis cruzados.

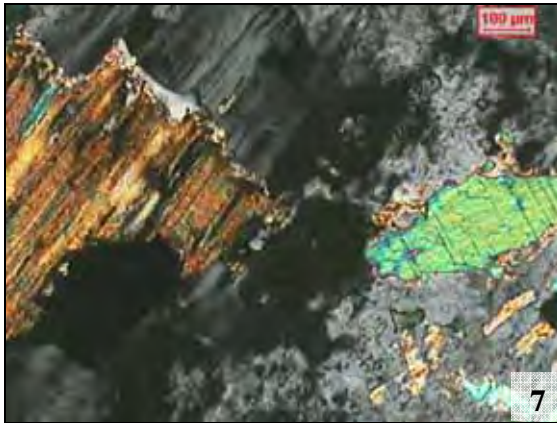


Fotomicrografia 5 – Plagioclásio com lamelas de mica branca envolvendo biotita cloritizada com inclusões de zircão e bordas corroídas. Nicóis cruzados.



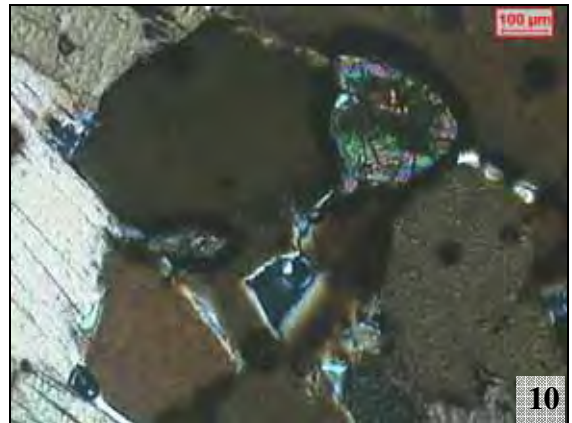
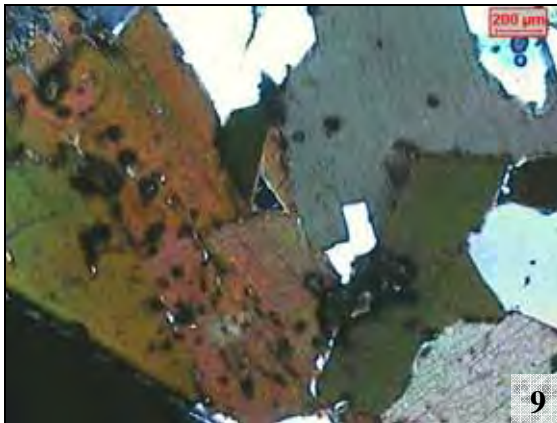
Fotomicrografia 6 – Plagioclásio com lamelas de mica branca bem desenvolvidas e biotita. Nicóis cruzados.

PRANCHA 6.5 - Fotomicrografias do granito Branco Cristal Quartzo



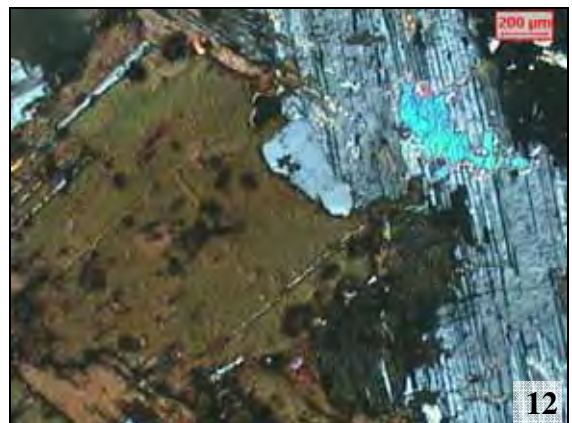
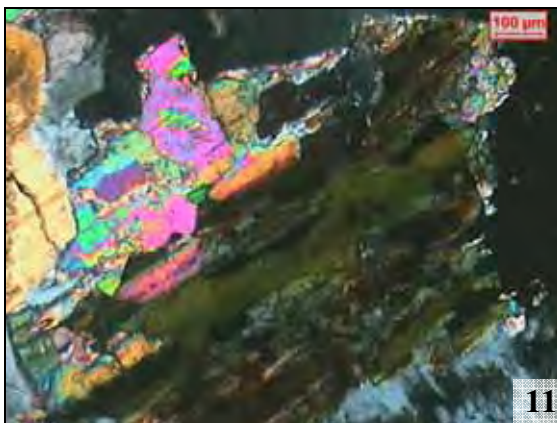
Fotomicrografia 7 – Biotita parcialmente alterada com finas franjas de mica branca nas bordas. À esquerda cristal de muscovita e lamelas de mica branca inclusos no feldspato. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 8 – Biotita parcialmente alterada (birrefringência de mica branca) com bordas de mica branca. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 9 - Biotita metamictizada por inclusões de zircão. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 10 - Agregado de biotita com inclusões de zircão e epidoto. Nicóis cruzados.



Fotomicrografia 11 – Biotita cloritizada e intercrescida com muscovita e opacos. Bordas superiores com franja de mica branca. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 12 – Biotita parcialmente cloritizada e com bordas corroídos, contendo inclusões de zircões produzindo efeitos de metamictização. No canto superior esquerdo muscovita na albita. Nicóis cruzados.

PRANCHA 6.5 a (Continuação)- Fotomicrografias do granito Branco Cristal Quartzo



Fotomicrografia 13 – Biotita praticamente intacta com discreta presença de opacos disseminados distribuídos ao longo de seus planos de clivagens. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 14 – Cristais de biotita parcialmente cloritizados (com bordas corroídas) e associados com fluorita intersticial e opacos disseminados. Cristais de feldspatos com efeitos de argilização. Nicóis paralelos.



Fotomicrografia 15 – Cristal de microclínio pertitzado, parcialmente argilizado e com lamelas de muscovita. Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 16– Microclínio com pertitas alteradas para sericita e mica branca. Nicóis cruzados.

PRANCHA 6.5b (Continuação) - Fotomicrografias do granito Branco Cristal Quartzzo

6.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises petrográficas dos granitos da Serra do Barriga permitiram delinear algumas considerações importantes no entendimento da conformação dos granitos encontrados hoje.

GRANITO ROSA IRACEMA

Os processos de formação de bordas albíticas nos cristais de feldspato potássico ocorreram simultaneamente a um processo de albitização nas texturas de exsolução (mostrado pelas maclas polissintéticas nas pertitas). A biotita com “franjas” de mica branca também demonstra reações pós magmáticas.

Este tipo granítico exhibe textura inequigranular com quartzo intersticial (envolvendo agregados de biotita e plagioclásio), anfibólios alterados para biotita e para clorita. É comum a seqüência: feldspato potássico perítico, plagioclásio com mica branca. Ocorrem biotitas com zircão e monazita, assim como biotitas alteradas para muscovita. Os cristais de microclínio apresentam aspecto “sujo” devido a forte presença de argilominerias com pigmentação de óxidos/hidróxidos de ferro. Neste granito a biotita apresenta-se com aspecto esquelético, bordas corroídas, provavelmente por efeito de reações pós magmáticas.

GRANITO ROSA OLINDA

A rocha mostra dois estágios de crescimento do plagioclásio. Um precoce e um segundo estágio tardio, como um evento pós magmático rico em fluidos albíticos, cobrindo bordas de feldspato potássico e de microclínio, evidenciando maclas de albita sobre pertitas e formando albitas límpidas dentro dos cristais de feldspato potássico.

O aspecto “sujo” sobre cristais de plagioclásio e de feldspato potássico está associado à presença de óxidos de ferro (hematita), epidoto, inclusões de carbonato, sericita e argilo minerais. A forte ocorrência de óxido de ferro indica que as reações pós magmáticas se deram em ambientes oxidantes. A presença de allanita associada à biotita alterada ocorre provavelmente devido às reações pós magmáticas envolvendo o consumo de óxidos de ferro, provenientes da alteração da biotita.

A alta freqüência de zoneamento no plagioclásio demonstra que este mineral resfriou mais rápido que a temperatura de homogeneização durante a cristalização do líquido magmático.

Neste fácies a biotita altera para clorita e muscovita. E ocorre maior freqüência de biotita alterada para clorita com allanita. A clorita ocorre alterada para muscovita, indicando dois estágios de alteração: um de substituição de biotita para clorita e um mais tardio, alterando a biotita para muscovita. Ocorre allanita mectamicta, clorita e esfeno.

GRANITO BRANCO SAVANA

Este tipo granítico apresenta maior freqüência de argilo minerais que de muscovita. O quartzo também apresenta aspecto intersticial. As pertitas ocorrem em forma de manchas e veios. As reações de oxidação que geram hematita pulverulenta nos feldspatos não são tão evidentes neste granito como ocorrem nos granitos rosas (Rosa Olinda e Rosa Iracema).

GRANITO BRANCO CRISTAL QUARTZO

As alterações registradas sobre feldspato potássico são compostas basicamente por muscovita e sericita. As alterações que resultam em carbonatos provavelmente resultam de fluidos ricos em Ca, provenientes de reações que liberaram este elemento.

Este granito mostra relativamente menores proporções de biotita. Apresentam pequenos cristais de zircão arredondados e de minerais opacos. A grande maioria dos cristais de biotita está substituída para clorita.

CAPÍTULO 7. CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

Os estudos geoquímicos são embasados em análises químicas de rocha total e química mineral efetuadas apenas nas variedades graníticas do *stock* granítico Serra do Barriga exploradas como rochas ornamentais e de revestimento, comercialmente denominadas de Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana e Branco Cristal Quartzo.

Os estudos litogeoquímicos objetivam complementar os estudos geológicos e petrográficos efetuados no sentido de fornecer uma melhor caracterização genética e evolutiva dos magmas geradores dos referidos granitos.

A química mineral, envolvendo feldspatos, biotitas, anfibólios, cloritas e muscovitas presentes nas variedades graníticas exploradas comercialmente, teve como principais finalidades a de classificar quimicamente os referidos grupos minerais e de rastrear possíveis mudanças químicas minerais ocorridas em condições sub-sólidas e/ou pós-magmáticas.

7.1 LITOGEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL

Os estudos litogeoquímicos dos quatro tipos de granitos explorados comercialmente para fins ornamentais e para revestimento no *stock* Serra do Barriga, no município de Sobral – CE, foram embasados na análise química em rocha total de elementos maiores, menores, traços de 15 amostras representativas, sendo que para 10 delas foram determinados também os ETR. Assim, para os elementos maiores, menores e traços foram analisadas 6 amostras do granito Rosa Iracema, 2 do granito Rosa Olinda, 4 do granito Branco Savana e 3 do granito Branco Cristal Quartzo (Quadro 7.1). As análises de Elementos Terras Raras foram efetuadas em 3 amostras do granito Rosa Iracema, 2 do Granito Rosa Olinda, 2 do Branco Savana e 3 do granito Branco Cristal Quartzo (Quadro 7.3).

As análises químicas de elementos maiores e menores foram feitas no Laboratório de geoquímica do Departamento de Petrologia e Metalogenia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP; e uma segunda etapa de análises de elementos maiores, menores e ETR no Laboratório de Análises Minerais Lakefield Geosol, segundo métodos analíticos especificados no Capítulo 2 – Materiais e Métodos de Pesquisa.

Os dados químicos obtidos foram tratados sob forma de % em peso para os óxidos e em ppm para os elementos traços, incluindo ETR (Quadros 7.1 e 7.3), bem como em termos de proporções moleculares, catiônicas e normativas CIPW. Os dados normativos estão representados no Quadro 7.2.

Visando a adequada utilização e interpretação destas informações, os referidos dados químicos foram tratados graficamente e apresentados em diagramas de variação binários e/ou ternários, diagramas classificatórios e diagramas discriminantes.

Os resultados litogeoquímicos associados às análises petrográficas e de química mineral, fornecem, no conjunto, embasamento para avaliação da natureza magmática e evolutiva das variedades faciológicas enfocadas no presente estudo. Também fornecem subsídios para a avaliação do comportamento exibido por esses granitos ornamentais em termos dos efeitos dos testes de alterabilidade a que foram submetidos.

Quadro 7.1 - Resultados das análises químicas de elementos maiores (%), menores (%) e traços (ppm) de granitos ornamentais do Stock Granítico Serra do Barriga, Sobral-CE. Legenda: RI - Rosa Iracema; RO - Rosa Olinda; BS - Branco Savana; BCQ - Branco Cristal Quartzito . * Limites de detecção em 10 para Hf, Ta, W, U e V; em 5 para Sn e em 2 para Co. (-) não determinado. P.F. Perda ao Fogo.

Amostra	RI-05A	RI-05B	RI-11A	RI-11B	RI-11C	RI-13C	RO-31B	RO-31C	BS-12A	BS-12B	BS-30A	BS-30B	BCQ-13ABCQ-13BBCQ-12C	71,8	71,8	71,5
SiO ₂	75,8	76,2	74	74,9	73,9	74,7	72,3	72,5	77,3	76,7	77,5	77,7	71,8	71,8	71,8	71,5
Al ₂ O ₃	13	12,9	13,9	13,6	13,6	13,4	13,3	13,9	12,2	12,1	12,1	11,5	14,2	14,2	14,8	14,6
TiO ₂	0,07	0,06	0,11	0,09	0,1	0,05	0,31	0,24	0,05	0,05	0,08	0,05	0,23	0,23	0,22	0,08
Fe ₂ O ₃	1,11	0,66	1,49	1,2	0,74	1	1,5	1,2	1,19	0,55	1,23	0,71	2,15	2,15	1,8	1,4
FeO	-	0,42	-	0,28	0,71	0,57	1,4	1,1	-	0,56	-	0,42	-	-	0,42	0,42
MnO	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
MgO	0,02	0,39	0,04	0,35	0,4	0,32	0,61	0,38	0,01	0,31	0	0,27	0,2	0,45	0,45	0,3
CaO	0,67	0,64	0,88	0,84	0,91	0,76	1,5	1,4	0,66	0,58	0,68	0,64	1,34	1,34	1,4	0,9
Na ₂ O	3,27	2,9	3,78	3,1	3,3	3,7	2,9	3,3	3,72	3,1	3,7	3,1	3,63	3,63	3,1	3,5
K ₂ O	5,8	5,6	5,5	5,5	5	4,6	4,8	4,9	4,6	4,5	4,5	4,2	6	6	5,9	6
P ₂ O ₅	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,096	0,07	0,01	0,01	0,01	0,013	0,07	0,07	0,065	0,01
P, F,	0,30	0,30	0,34	0,46	0,41	0,38	0,39	0,31	0,26	0,48	0,30	0,37	0,43	0,43	0,36	0,49
TOTAL	100,16	100,10	100,13	101,35	99,11	99,52	99,16	99,34	100,06	98,96	100,08	99,06	100,13	100,13	100,35	99,24
Ba	14	376	855	321	182	15	522	418	9	*	383	854	279	*	*	113
Sr	14	90	159	87	72	25	168	147	16	17	68	209	63	63	20	43
Ga	-	27	-	34	35	39	28	34	-	35	-	30	-	-	35	38
Hf	-	*	-	*	*	*	59	*	-	*	-	179	-	-	77	*
Nb	15	7	9	*	12	14	12	11	12	14	7	7	8	11	11	17
Rb	340	322	227	366	299	403	247	236	324	400	256	275	281	463	463	475
Th	-	55	-	68	34	70	60	34	-	115	-	54	-	114	114	34
W	-	25	-	*	*	15	*	*	-	25	-	29	-	36	*	*
U	-	*	-	*	*	*	*	*	-	19	-	*	-	23	*	*
Y	117	35	29	51	61	231	44	43	82	*6	27	37	37	161	161	*9
V	-	*	-	17	14	14	24	17	-	*	-	*	-	*	*	*
Zr	114	153	168	164	163	158	244	252	133	174	*9	2*	126	154	154	133
Cr	214	113	195	119	146	94	131	88	269	139	211	115	203	136	136	*8
Ni	4	3	4	3	7	9	-	5	3	5	4	3	5	4	4	5

Quadro 7.2- Resultados das análises químicas de rocha total dos quatro tipos graníticos calculados em valores normativos - CIPW.

Amostra	RI-05A	RI-05B	RI-11A	RI-11B	RI-11C	RI-13C	RO-31B	RO-31C	BS-12A	BS-12B	BS-30A	BS-30B	BCQ-13A	BCQ-13B	BCQ-12C
Q	33,24	35,98	28,96	29,48	33,23	33,72	33,19	31,16	36,86	40,15	37,62	42,43	25,18	27,7	26,17
C	0,17	0,91	0,10	-	1,12	0,97	0,81	0,76	-	1,10	-	0,71	-	0,89	0,72
Or	33,41	33,19	32,90	38,11	29,96	27,44	28,75	29,27	27,26	27,03	26,56	25,17	35,66	34,9	35,94
Ab	27,68	24,56	32,01	25,97	28,26	31,54	24,82	28,16	31,50	26,60	31,34	26,55	30,77	26,2	29,96
An	3,21	3,12	4,26	3,91	4,52	3,75	6,97	6,60	3,0	2,86	3,09	3,14	4,72	6,57	4,46
Hy	0,05	1,14	0,10	0,81	1,60	1,00	2,47	1,67	-	1,23	-	0,82	0,76	1,13	0,76
HyEn	0,05	0,98	0,10	-	1,01	0,81	1,54	0,96	-	0,79	-	0,68	0,76	1,13	0,76
HyFs	-	-	-	-	0,59	0,19	0,92	0,71	-	0,54	-	0,14	-	-	-
OI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OIFo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OIFa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mt	0,03	0,96	-7	0,70	1,09	1,46	2,20	1,76	0,07	0,81	-3	1,04	1,27	0,81	1,27
Him	1,09	-	1,45	0,71	-	-	-	-	1,15	-	1,21	-	0,54	1,24	0,54
Il	-	0,11	-	0,17	0,19	0,10	0,60	0,46	-	0,10	-	0,10	0,15	0,42	0,15
Ap	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,21	0,15	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,14	0,02
C_I	0,08	2,21	0,17	1,81	2,88	2,56	5,26	3,89	0,12	2,23	0,03	1,96	2,18	2,36	2,18
D_I	95,33	93,73	93,87	93,56	91,45	92,70	86,75	88,59	95,63	93,79	95,52	94,15	92,07	88,81	92,07

7.1.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1.1.1 DIAGRAMAS DE HARKER

ELEMENTOS MAIORES E MENORES

Os dados químicos correspondentes aos elementos maiores dos quatro fácies graníticas estudados estão representados nos diagramas de Harker, conforme Figura 7.1. Os diagramas de MnO e de P₂O₅ foram excluídos por seus valores estarem abaixo dos limites de detecção dos equipamentos.

Os referidos diagramas mostram de imediato que os quatro tipos graníticos estudados resultam de magmas bastante evoluídos, com teores de sílica que variam entre os extremos 71,5 e 77,7%. Também revelam que os granitos estudados se diferenciam entre si, caracterizados por distintos teores de sílica, com a discriminação de quatro grupos representados pelos conjuntos dos granitos Branco Cristal Quartzo, com os menores teores de sílica, dos granitos Branco Savana, mais enriquecidos em sílica, e com os conjuntos dos granitos Rosa Iracema e Rosa Olinda ocupando posições intermediárias.

Os diagramas de Harker contidos nas Figuras 7.1A, B, C, D e G mostram boas correlações negativas para os óxidos Al₂O₃, TiO₃, CaO, FeO+Fe₂O₃ e MgO no conjunto para os quatro tipos graníticos. Esta tendência mostra-se coerente com a evolução magmática natural indicando que os granitos ornamentais do *stock* Serra do Barriga à medida que se enriquecem em sílica vão se empobrecendo em Al, Ti, Ca e Fe. O teor pouco mais elevado de ferro, bem como de magnésio, para o tipo granítico do Rosa Olinda mostra coerência com a maior porcentagem de minerais máficos exibido por este granito em relação aos demais.

Já os diagramas das Figuras 7.1E, F, G e H mostram grande dispersão para óxidos K₂O, Na₂O e MnO, a princípio com comportamentos pouco representativos devido ao grande espalhamento destes óxidos entre os diferentes conjuntos graníticos. Entretanto, no conjunto de amostras do granito Branco Savana verifica-se que com o aumento do teor de SiO₂ ocorre certo empobrecimento do K₂O e, por outro lado, um incremento no teor de Na₂O (Figuras 7.1E e F). Este fato poderia indicar a existência de um hidrotermalismo (auto-metassomatismo) sódico ocorrido na fase final de cristalização do magma (ou condições sub-magmáticas), o que, entretanto, exigiria estudos complementares para sua verificação.

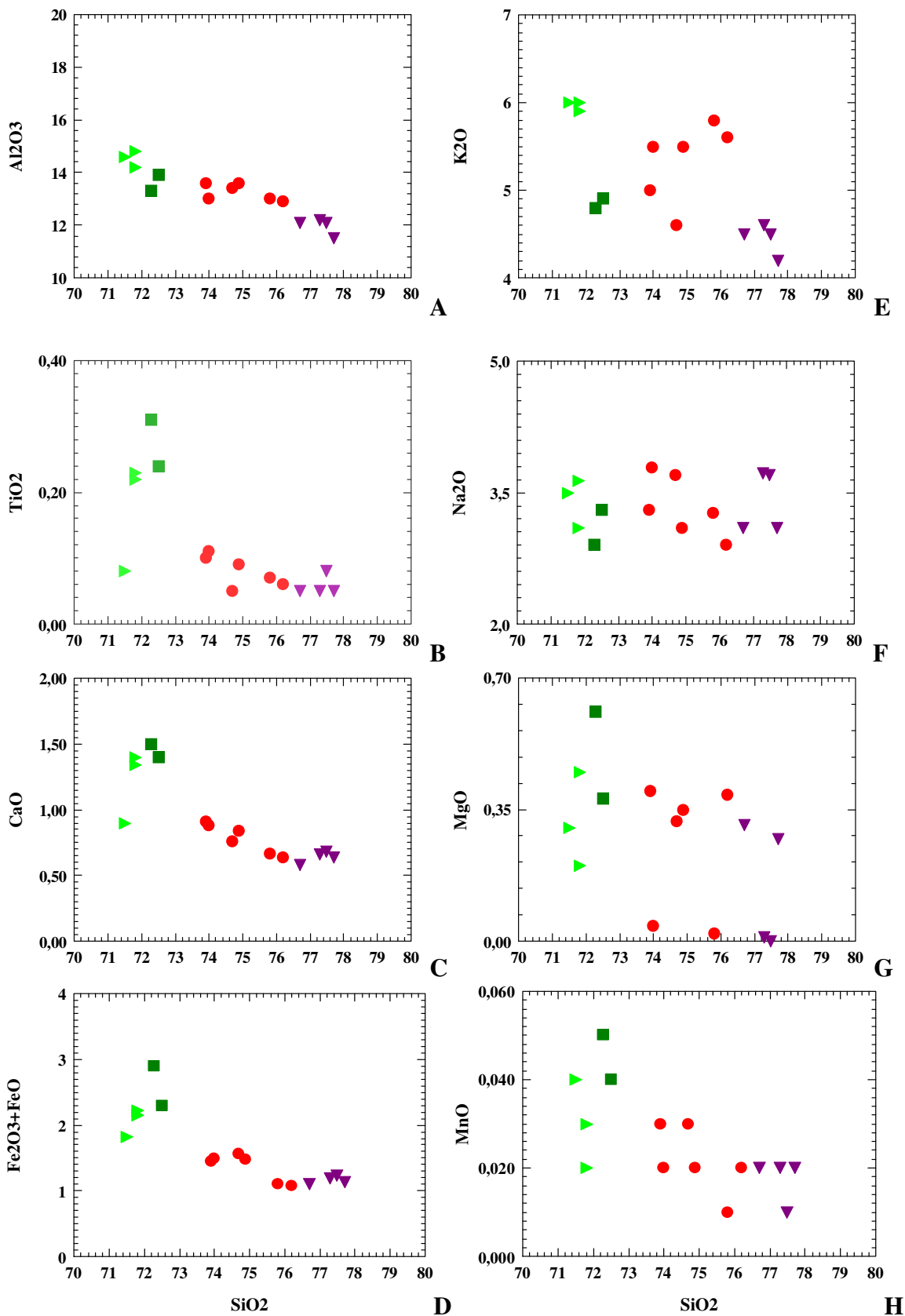


Figura 7.1 - Diagramas de variação de Harker para elementos maiores dos quatro fácies do granito Serra do Barriga. Simbologia: ● Rosa Iracema, ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ► Branco Cristal Quartz.

Os diagramas da Figura 7.1 mostram, ainda, o freqüente desalinhamento exibido pelas duas amostras do granito Rosa Olinda em relação à tendência evolutiva dos demais conjuntos graníticos, sugerindo que este tipo petrográfico represente um pulso magmático distinto ou mesmo tenha outra fonte de origem. Ademais, dentre os conjuntos graníticos estudados, o granito Rosa Olinda é o único que apresenta textura megaporfirítica hiatal, além de mais enriquecido em minerais máficos, o que reforça sua natureza genética e/ou evolutiva distinta.

ELEMENTOS TRAÇOS

Os dados das concentrações dos elementos traços obtidos para os quatro tipos de granitos ornamentais estudados estão listados no Quadro 7.1, sendo que os elementos Rb, Sr, Ba, Zr, Y, Nb, Ni e Ga encontram-se representados em diagramas de variação químico de Harker na Figura 7.2.

O exame dos diagramas de variação da Figura 7.2 revela uma forte dispersão dos referidos elementos traços, não evidenciando qualquer correlação mais proeminente de suas concentrações com a evolução do teor de sílica. Esta dispersão pode refletir o elevado grau evolutivo dos magmas geradores dos granitos estudados.

Entretanto destaca-se os elevados teores de Rb, na média entre 250 e 450ppm, e os extremamente baixos de Sr, entre 14 e 209ppm (com apenas uma amostra acima de 200ppm), valores este típicos para granitos altamente evoluídos. O mesmo raciocínio pode ser aplicado com relação ao Zr que, com exceção das duas amostras do granito Rosa Olinda com cerca de 244ppm e 252ppm, respectivamente, os demais tipos petrográficos apresentam teores extremamente baixos (entre 2 e 168ppm), o que inclusive evidencia sua natureza cálcio-alcálica. Também os elementos Ba, Y, Nb e Ni, pelas suas baixíssimas concentrações em todas as variedades graníticas estudadas corroboram com o caráter altamente evoluído dos referidos magmas geradores dos granitos.

O elevado grau evolutivo destas rochas, conforme expresso pelos elementos maiores e traços acima comentados (Figuras 7.1 e 7.2), é compatível com a mineralogia apresentada por estes granitos (Quadro 6.1; capítulo de Caracterização Petrográfica), os quais são constituídos essencialmente por quartzo, feldspato potássico, albita e oligoclásio e com teores de minerais máficos variando de 0,5 a 2,0%.

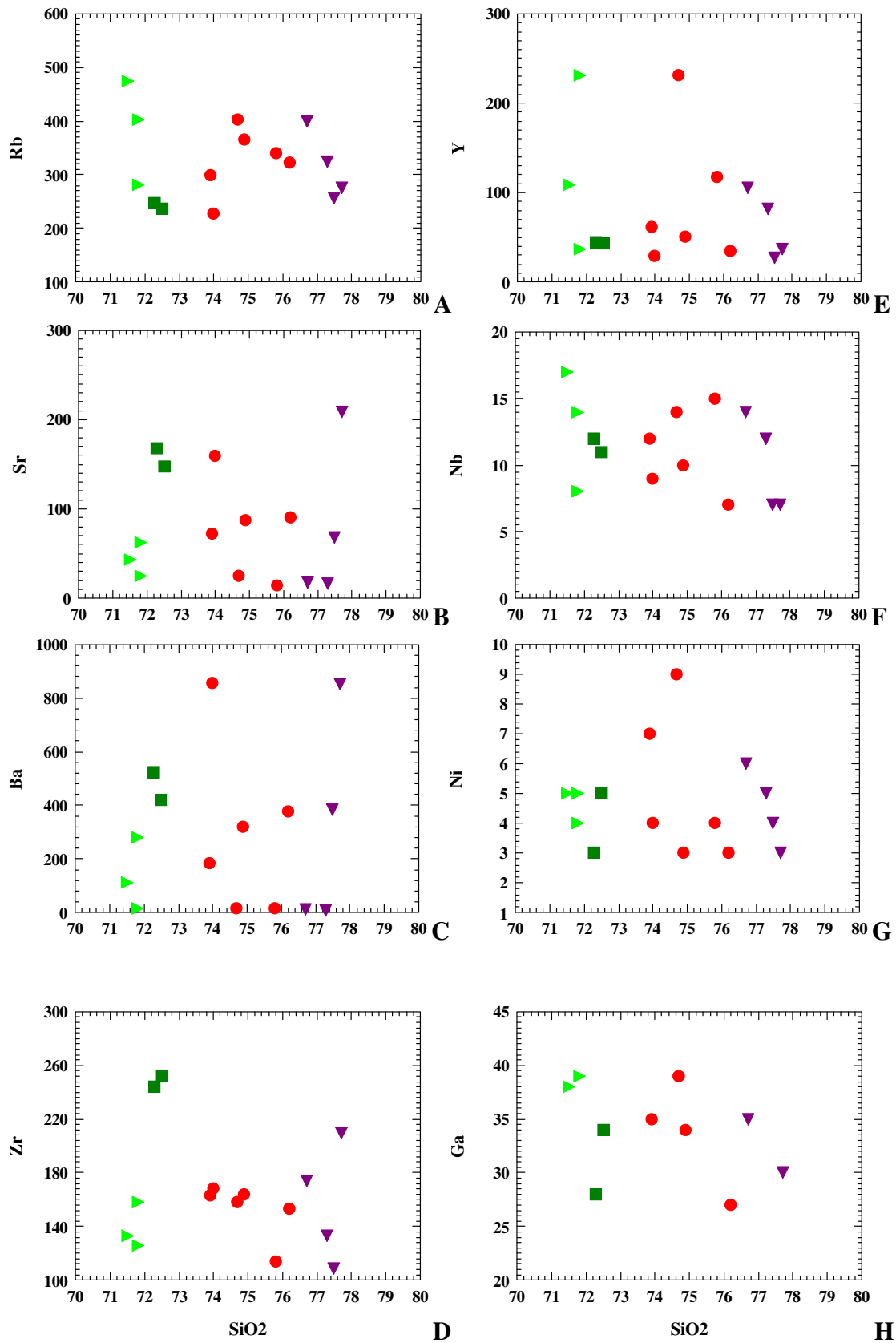


Figura 7.2 - Diagramas de variação de Harker para elementos traços dos quatro fácies do granito Serra do Barriga. Simbologia: ● Rosa Iracema, ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ► Branco Cristal Quartz.

7.1.1.2 - RELAÇÃO ENTRE DIAGRAMA DE SHAND E MODA

O diagrama de Shand (Figura 7.3A) mostra uma leve tendência evolutiva das amostras dos granitos estudados de metaluminoso para peraluminoso, sendo que a maioria apresenta-se posicionada no campo peraluminoso. Esta tendência dos granitos é também expressa pelo diagrama triangular da Figura 7.3B de Bonim (1982), situando todas as amostras analisadas no campo peraluminoso (Mattos, *et al.* 2003b).

Entretanto estes granitos não apresentam minerais aluminosos tais como muscovita primária ou granada em sua moda, sugerindo que correspondam a granitos originados a partir de magmas cálcio-alcálicos (metaluminosos) fortemente diferenciados. Esta hipótese é reforçada, pelo menos para os granitos Rosa Iracema e Rosa Olinda, pela presença de restos de minúsculos cristais de hornblenda parcial a totalmente transformadas para biotita.

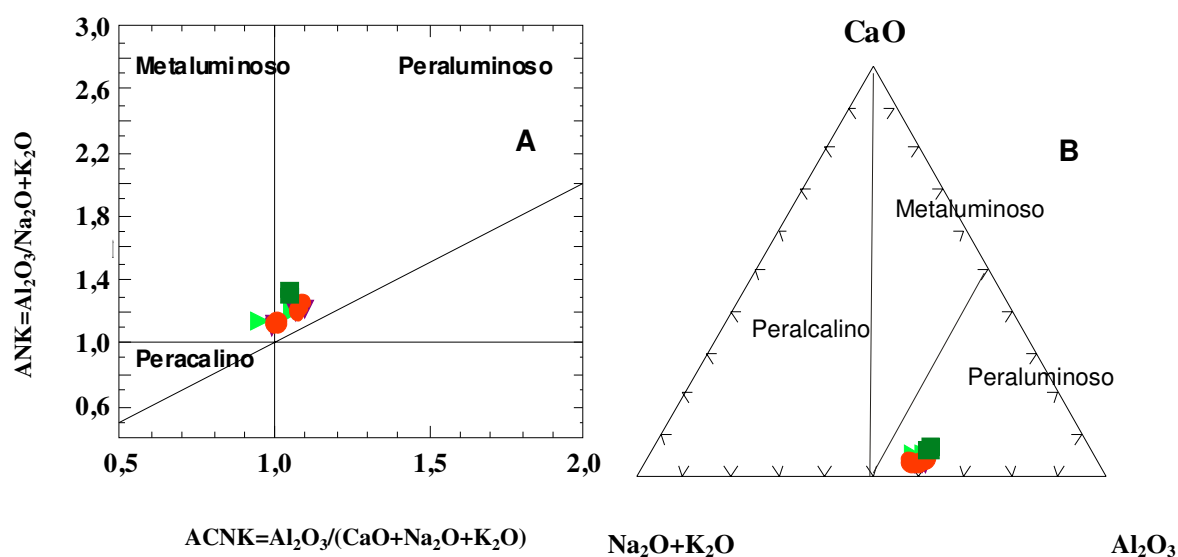


Figura 7.3 - Diagramas de alumina-saturação dos fácies graníticas da Serra do Barriga. (A) de SHAND, onde a linha diagonal representa o limite inferior do campo das rochas graníticas; (B) diagrama triangular $Na_2O+K_2O:Al_2O_3:CaO$ de Bonim (1982). Simbologia: ● Rosa Iracema, ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ► Branco Cristal Quartzo.

7.1.1.3 CARACTERIZAÇÃO SERIAL

A caracterização serial dos granitos ornamentais estudados foram efetuadas através dos diagramas discriminantes representados na Figura 7.4.

O diagrama álcalis *versus* sílica da Figura 7.4A permite classificar as rochas graníticas estudadas como pertencentes à série magmática subalcalina, sendo que dentro desta série Irvine & Baragar (1971) através de uma linha subdividem as rochas entre cálcio alcalinas e toleíticas. Os granitos estudados posicionam-se dentro da série cálcio-alcalina, sendo que a soma dos teores de álcalis apresenta valores praticamente constantes com o incremento de quartzo.

Já os diagramas ternários AFM representado na Figura 7.4B e $\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}:\text{CaO}$ da Figura 7.4D mostram que os granitos estudados apresentam classificação nitidamente cálcio-alcalina. A análise do respectivo diagrama AFM de Irvine & Baragar (1971) revela que os granitos se posicionam bastante próximos ao vértice dos álcalis, indicando rochas geradas por magmas altamente diferenciados, sendo que o diagrama ternário $\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}:\text{CaO}$ revela discreto alinhamento das amostras paralelamente à aresta dos álcalis, o que pode ser interpretado como representando uma pequena variação na relação $\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}$ das amostras do granito Rosa Iracema.

A relação SiO_2 *versus* K_2O expressa pela Figura 7.4C situam os granitos no campo cálcio-alcalino de alto potássio. Destaca-se que no conjunto os granitos exibem certa tendência negativa no teor de K_2O com o aumento do teor crescente de SiO_2 , o que poderia indicar enriquecimento de sódio na fase final de cristalização destas rochas.

Em síntese, os diagramas discriminantes acima analisados permitem classificar os granitos estudados como pertencentes à série cálcio-alcalina de alto potássio, e cristalizados a partir de magmas altamente evoluídos.

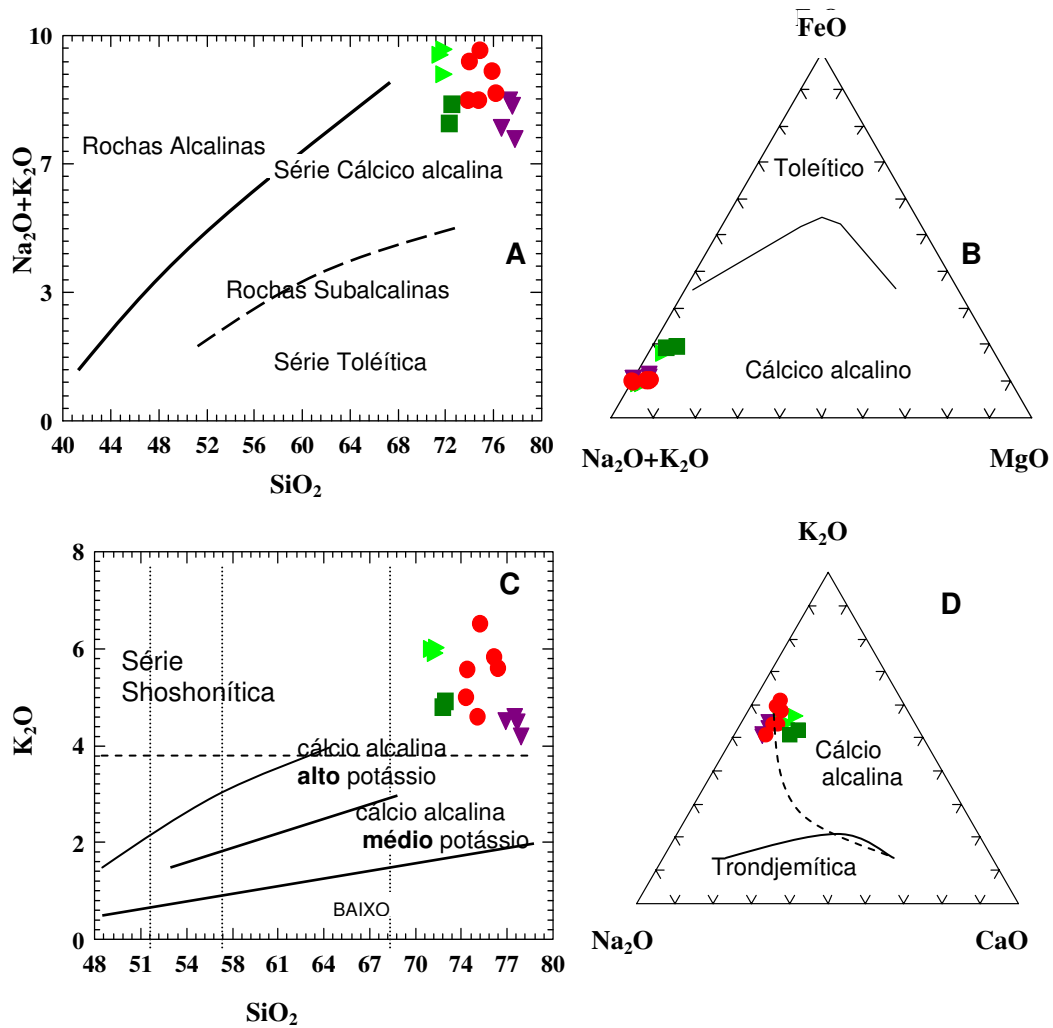


Figura 7.4 – Diagramas discriminantes para os granitos do *stock* Serra do Barriga. **A**: TAS Álcalis vs. SiO_2 ; **B**: AFM de Irvine & Baragar (1971); **C**: SiO_2 vs. K_2O de Taylor (1985) e **D** $\text{Na}_2\text{O}:\text{K}_2\text{O}:\text{CaO}$ de Barker & Arth (1976). Simbologia: ● Rosa Iracema, ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ► Branco Cristal Quartzo

7.1.1.4 - ELEMENTOS TERRAS RARAS

Os resultados das análises dos teores de Elementos Terras Raras dos granitos ornamentais estão listados no Quadro 7.3 e representados nos diagramas da Figura 7.5.

Quadro 7.3 - Elementos Terras Raras - ETR (em ppm) de rochas graníticas ornamentais do *Stock Serra do Barriga*, CE. (RI - Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS - Branco Savana e BCQ - Branco Cristal Quartzó)

Amostra	RI-05B	RI-11B	RI-11C	RO-31B	RO-31C	BS-12B	BS-30B	BCQ-12C	BCQ-13B	BCQ-13C
Ce	28,9	50,8	21,7	90,8	33,4	26,2	54,6	23,7	16,7	6,2
Dy	1,6	2	0,1	3	0,1	4	2	0,1	1,5	0,1
Er	0,71	0,73	0,05	1,3	0,05	2	0,67	0,05	0,5	0,05
Eu	0,52	0,58	0,05	0,89	0,05	0,16	0,86	0,05	0,06	0,05
Gd	2,2	3	0,2	5,2	0,2	3,9	3,1	0,2	2	0,2
Ho	0,31	0,31	0,05	0,58	0,05	0,8	0,35	0,05	0,21	0,05
La	12,7	22,8	13	46,8	21,3	8,9	28,6	13,1	6,6	3,2
Lu	0,1	0,13	0,03	0,13	0,03	0,27	0,1	0,03	0,06	0,03
Nd	12	18,7	4,2	35,3	6,3	10,7	20	5	6,2	0,86
Sm	3,1	4,2	0,1	6,8	0,1	3,7	4,1	0,1	2,1	0,1
Yb	0,58	0,67	0,05	0,91	0,05	1,8	0,6	0,05	0,42	0,05

A concentração de elementos menores representada nos aranhogramas normalizados pelo Condrito de Taylor & McLennan (1985), conforme Figuras 7.5 A e B, revelaram um enriquecimento em Th e U principalmente nos fácies de coloração branca, atingindo 3.965,5. Para os fácies de coloração rosa, estes mesmos elementos chegaram ao máximo a 2.344,8 (figuras 7.5 A). Pode-se atribuir tal enriquecimento à forte presença de allanita, e parcialmente à de apatita e monazita, principalmente nos granitos dos fácies brancos. Por outro lado, ocorre um empobrecimento em P e Ti nos tipos graníticos brancos, provavelmente devido às transformações de titanita e monazita (Mattos, *et al.* 2003b).

A distribuição de Elementos Terras Raras normalizados também pelo Condrito de Taylor & McLennan (1985), conforme representado nas Figuras 7.5 C e D, exibiu um forte grau de fracionamento $(LaYb)_N$ e menor anomalia de Eu nos granitos de coloração rosa como pode ser observado no quadro 7.4 e na Figura 7.5C. Nos tipos graníticos de coloração branca ocorre uma forte anomalia de Eu (Eu/Eu^*) e um grau de fracionamento levemente mais suave, como exibido no quadro 7.3 e na Figura 7.5 D. Esperava-se um fracionamento mais elevado no fácies branco por serem granitos relativamente mais diferenciados.

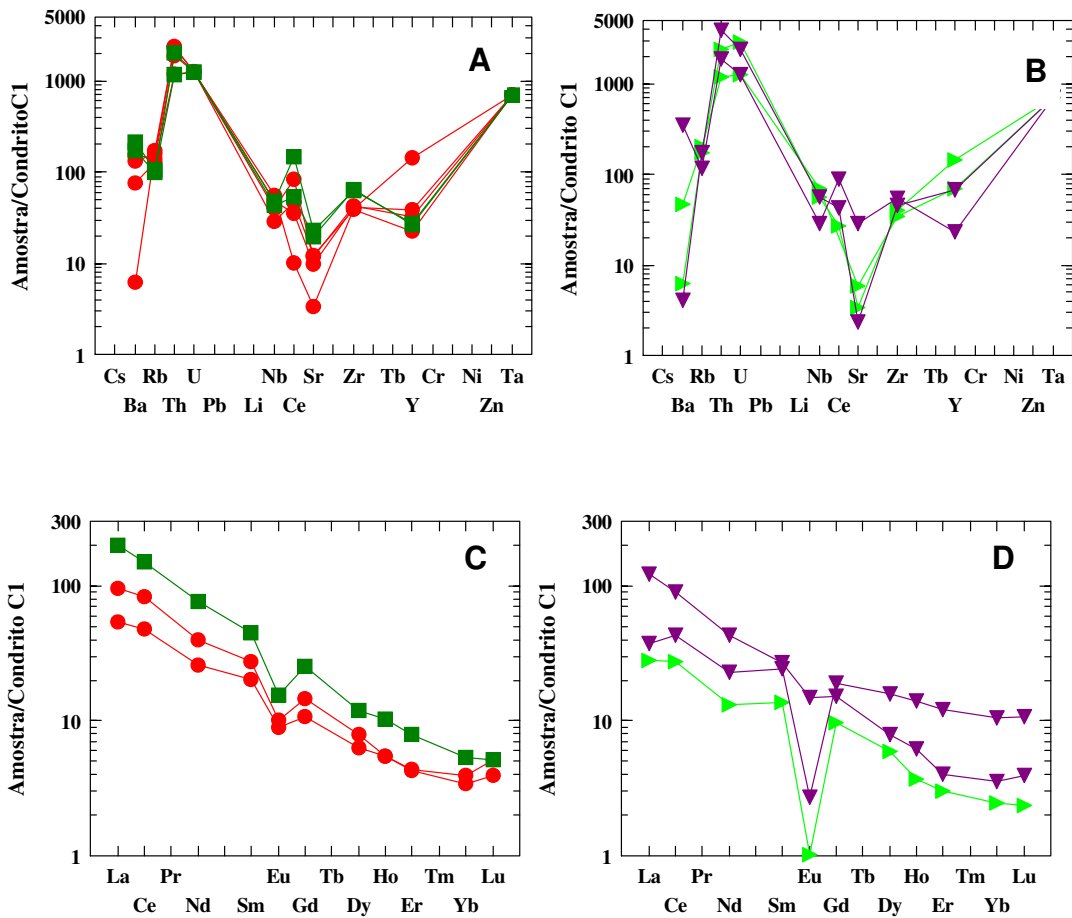


Figura 7.5 - Aranhogramas para os granitos Rosa Iracema e Rosa Olinda (A); e granitos Branco Savana e Branco Cristal Quartzo (B); Padrões de elementos terras raras para os granitos Rosa Iracema e Rosa Olinda (C) e Padrões de elementos terras raras para os granitos Branco Savana e Branco Cristal Quartzo(D). Granitos ornamentais do stock Serra do Barriga. Simbologia: ● Rosa Iracema, ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ► Branco Cristal Quartzo.

Quadro 7.4 – Apresentação do grau de fracionamento de Elementos Terras Raras (ETR), Elementos Terras Raras Leves (ETRL) e Elementos Terras Raras Pesados (ETRP), além de valores de Anomalia de Eu (Eu/Eu^*) para os quatro tipos graníticos do stock Serra do Barriga.

Amostra	Fracionamento dos ETR (La/Yb) _N	Fracionamento dos ETRL (La/Sm) _N	Fracionamento dos ETRP (Gd/Yb) _N	Anomalia de Eu (Eu/Eu^*)
Rosa Iracema	23,11	3,42	3,63	0,48
Rosa Olinda	34,75	4,33	4,63	0,44
Branco Savana	3,34	1,51	1,76	0,13
Branco Cristal Quartzo	10,60	1,98	3,87	0,09

7.1.1.5 AMBIENTE GEOTECTÔNICO

A determinação do ambiente geotectônico foi efetuada com base nas relações Y+Nb vs. Rb e Y vs. Nb (Figuras 7.6A, B) e no diagrama R_1 vs. R_2 (Figura 7.7). Analisando conjuntamente os dois primeiros diagramas, o da Figura 7.6B situa as amostras estudadas alinhadas entre os campos dos granitos orogênicos e sin-colisionais/arco vulcânico e o da Figura 7.6A como representando granitos pós-colisionais (Mattos, *et al.* 2003b). Já no diagrama R_1 vs. R_2 (Figura 7.7) as amostras se situam nas interfícies dos campos 6 e 7, correspondentes à granitos sin- e pós-colisionais.

A integração das informações fornecidas pelos diagramas de ambientes tectônicos acima analisados com informações e dados globais obtidas para estes granitos apresentadas nos Capítulos 4 e 6 (O stock Granítico Serra do Barriga e Caracterização Petrográfica, respectivamente), tais como contexto geológico que o mesmo se insere, geometria da intrusão e suas relações de contatos com as rochas encaixantes, aspectos composicionais, texturais e estruturais de suas faciologias, bem como uma idade U/Pb em monazita de 522 Ma. obtida no presente trabalho, permitem enquadrar o referido corpo granítico como gerado em ambiente orogênico pós-colisional.

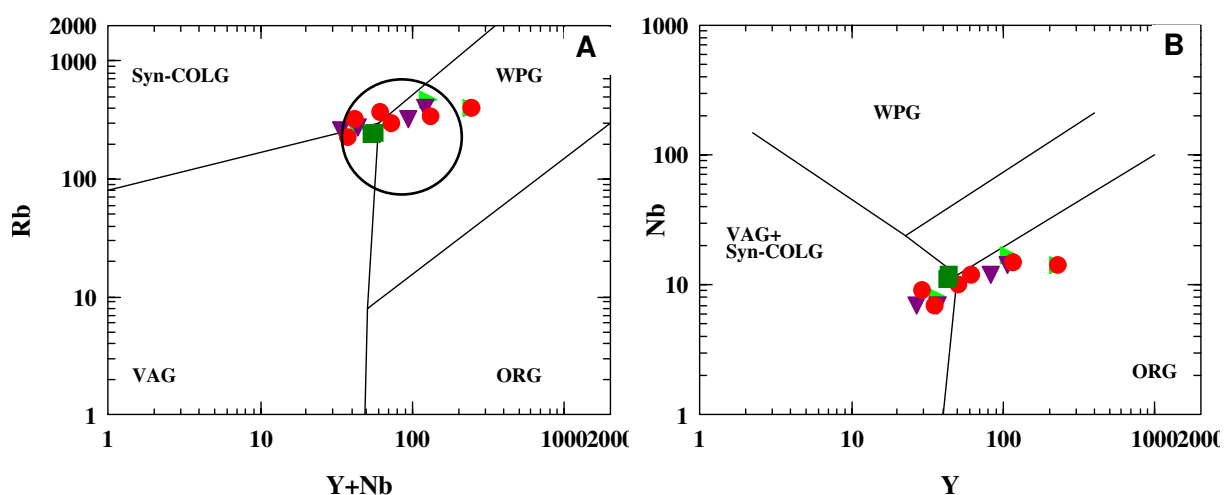


Figura 7.6 - Diagramas discriminatórios de ambiente tectônico (A) Y+Nb vs. Rb (ppm) e (B) Y vs. Nb (ppm) de Pearce et al. (1984); Simbologia: ● Rosa Iracema, ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ► Branco Cristal Quartzo.

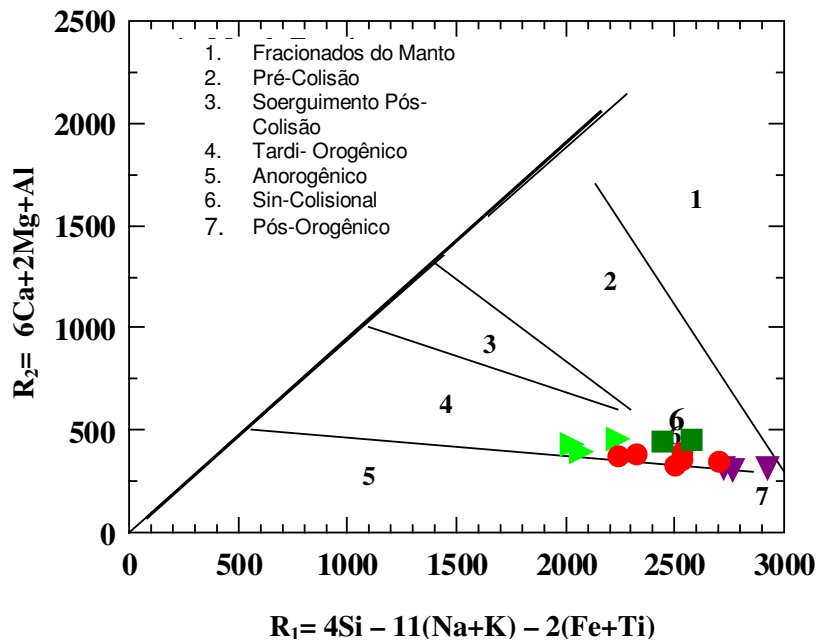


Figura 7.7 - Diagrama catiônico $R_1 - R_2$ de Batchelor & Bowden (1985). Amostras graníticas do *stock* Serra do Barriga. Simbologia: ● Rosa Iracema, ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ► Branco Cristal Quartzo.

7.2 QUÍMICA MINERAL

7.2.1 INTRODUÇÃO

Os dados tratados neste capítulo foram obtidos através de análises químicas minerais por microsonda eletrônica em cada um dos tipos graníticos do corpo da Serra do Barriga, conforme segue: Sienogranito inequigranular grosso (Rosa Iracema); Biotita monzogranito megaporfírico (Rosa Olinda); Sienogranito inequigranular médio-grosso (Branco Savana) e Sienogranito inequigranular grosso (Branco Cristal Quartzo). As análises foram efetuadas nos seguintes minerais: feldspato potássico, plagioclásio, biotita, clorita, muscovita e anfibólio.

Os cálculos das fórmulas químicas obedeceram aos parâmetros a seguir: biotitas – base de 24 oxigênios (Deer *et al.*, 1966); muscovita – com 22 oxigênios; cloritas – com 36 oxigênios; anfibólios – com 15 cátions e 23 oxigênios (Robinson *et al.*, 1981); e feldspatos – base de 8 oxigênios (Deer *et al.*, 1966).

Para os minerais constituintes de cada tipo granítico analisado, está relacionada a concentração química dos elementos formadores, com seus respectivos valores mínimos e máximos. Foram selecionados alguns diagramas visando enquadrar e determinar a classificação dos minerais acima citados. As tabelas com as análises químicas de cada mineral analisado estão nos anexos de 1 a 6.

7.2.2 SIENOGRANITO INEQUIGRANULAR GROSSO - ROSA IRACEMA

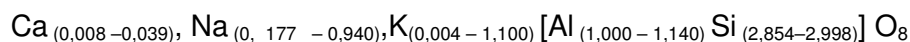
FELDSPATOS

Os feldspatos no sienogranito inequigranular grosso (Rosa Iracema), em geral apresentam alterações para minerais de argila, micas brancas ou epidoto. Tais alterações sugerem a ocorrência de eventos hidrotermais e/ou tardi-magmáticos, visto que em ambiências ricas em alumínio, sericita e muscovita podem ser geradas às expensas de plagioclásios e feldspato potássico.

Considerando os termos extremos da solução sólida Ab-An-Or, os feldspatos alcalinos possuem albita variando entre 4,1 até 8,9 (Ab_{4,1 – 8,9}) e Ortoclásio entre 91,1 até 95,8 (Or_{91,1 – 95,8}) cuja fórmula estrutural na base de 32 oxigênios, correspondendo a:



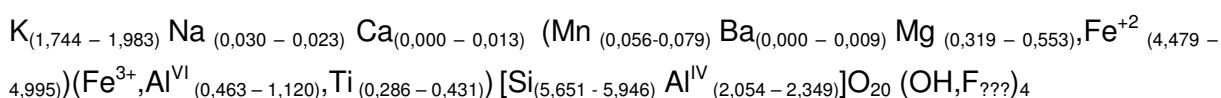
Os plagioclásios exibem proporção de Albita entre 71,5 a 96,3 (Ab_{71,5 – 96,3}) e Anortita de 0,8 até 15,8 (An_{0,8 – 15,8}), posicionando os plagioclásios entre os termos albita – oligoclásio, com a seguinte composição:



Os plagioclásios, portanto variam entre albita e oligoclásio, enquanto os feldspatos potássico, em sua grande maioria estão representados pelo ortoclásio. (figura 7.8A).

BIOTITAS

As biotitas no sienogranito inequigranular grosso (Rosa Iracema) apresentam fórmula química com as seguintes proporções:



As biotitas analisadas têm razões Fe/(Fe+Mg) que variam entre 0,80 e 0,93, situando-as no campo da annita conforme o diagrama de classificação Al^{VI} versus Fe/(Fe+Mg), na solução flogopita-annita-eastonita-siderofilita (figura 7.9).

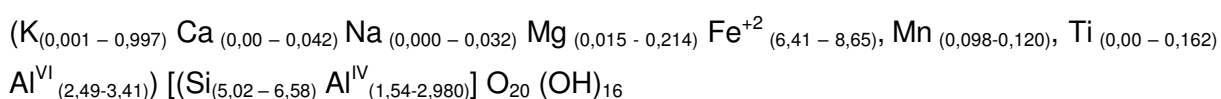
Nas biotitas com hábito lamelar ocorre evidente transformação deste mineral para clorita, como uma pseudomorfose: o pleocroísmo típico de biotita passa a ser substituído por um pleocroísmo de cor verde escuro a amarelado, contudo a forma e a estrutura original da biotita apresentam-se conservadas. A transformação da biotita para muscovita está evidenciada também pela alteração do pleocroísmo de tonalidades marrons para incolor ou amarelo pálido.

Em resposta aos processos de transformação e reequilíbrio são formadas também lamelas de muscovita, argilominerais e, mais comumente, clorita.

CLORITAS

Nos granitos da Serra do Barriga as cloritas, são produto da transformação das biotitas e apresentam-se como minerais semelhantes às estas no que diz respeito a sua forma, contudo, possuem pleocroísmo verde.

No sienogranito inequigranular grosso (Rosa Iracema) as cloritas possuem fórmula química dada por:

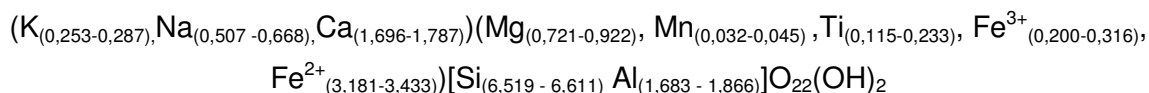


Quando lançados no diagrama classificatório de Fe^{total} versus Si, as cloritas posicionam-se no campo da Dafinita, comportamento esse válido para o sienogranito inequigranular grosso (Rosa Iracema) como para os outros termos faciológicos do corpo (figura 7.10 B).

ANFIBÓLIOS

Os cristais de anfibólio apresentam cor verde escura e foram identificados através de propriedades óticas como hornblendas, exibem pleocroísmo verde acastanhado e são encontrados em pequenas quantidades. Foram analisados anfibólios apenas no fácies sienogranito inequigranular grosso (Rosa Iracema).

A fórmula química determinada corresponde a:



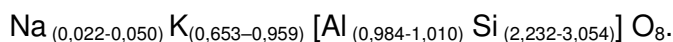
Estes anfibólios, através do diagrama de $Mg/Mg+Fe^{2+}$ contra Si, são classificados como hornblenda ferroedenita (Figura 7.11). A hornblenda típica das rochas das séries cálcio-alcálicas tem uma relação Mg: Fe^{2+} de 1:1, e teor de alumínio próximo a 1,5 Al, por unidade formular (Deer *et al.*, 1966). Para o granito Rosa Iracema a proporção de Mg: Fe^{2+} é de aproximadamente 1:3, representando variações de ferroedenita com elevado teor de Fe^{2+} e a quantidade de alumínio é relativamente maior, atingindo até 1,9 Al por unidade formular.

7.2.3 MONZOGRANITO MEGAPORFIRÍTICO - ROSA OLINDA

O fácies monzogranito megaporfirítico (Rosa Olinda) mostra grande semelhança mineralógica com o sienogranito inequigranular grosso (Rosa Iracema), indicada pela composição modal em ambos os fácies graníticos. Assim, seu comportamento químico apresenta-se coerente com a análise petrográfica, confirmando a composição química de seus minerais constituintes, com exceção em alguns casos onde ocorrem reações de alteração e substituição dos minerais.

FELDSPATOS

Os feldspatos alcalinos, nos termos extremos da solução sólida Ab-An-Or, apresentam $Ab_{(2,2-6,5)} Or_{(93,5-97,8)}$, correspondendo a seguinte fórmula estrutural:



Os plagioclásios por sua vez exibem $Ab_{(95,1-98,3)} An_{(1,0-4,1)}$, e composição química como:



Conforme os valores mostrados acima, os plagioclásios são essencialmente albita e feldspato potássico, que em sua maioria estão representados pelo ortoclásio (Figura 7.8A).

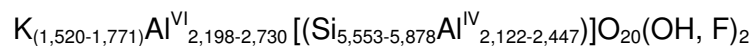
CLORITAS

As cloritas analisadas do monzogranito megaporfírico (Rosa Olinda), conforme previamente ressaltado, são originadas pelo produto da transformação das biotitas primárias, as quais apresentam pleocroísmo verde escuro. A seguinte fórmula química foi determinada:

$(\text{Mg}_{(1,220-1,831)}, \text{Fe}^{+2}_{(7,587-7,767)}, \text{Mn}_{(0,141-0,214)}, \text{Al}^{\text{VI}}_{(2,524-2,843)}) [(\text{Si}_{(5,305 - 5,462)} \text{Al}^{\text{IV}}_{(2,538-2,713)})] \text{O}_{20} (\text{OH})_{16}$
esta composição situa as cloritas analisadas entre os termos dafinita e ripidolita (figura 7.10A).

MUSCOVITAS

As muscovitas analisadas no monzogranito megaporfírico (Rosa Olinda) são secundárias, provenientes de alterações dos feldspatos alcalinos e das biotitas, e forneceram a seguinte fórmula química:



Ocorre uma ligeira diferença entre a composição das muscovitas no monzogranito megaporfírico (Rosa Olinda) devido ao tipo de substituição. As muscovitas que substituem os feldspatos potássicos são mais ricas em K e Al e menos ricas em Fe, quando comparadas com as muscovitas oriundas da substituição das biotitas, conforme observado no diagrama da figura 7.12.

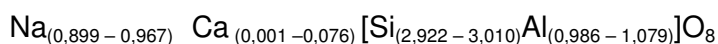
7.2.4 SIENOGRANITO INEQUIGRANULAR MÉDIO-GROSSO (BRANCO SAVANA)

FELDSPATOS

A composição química obtida para os feldspatos alcalinos do sienogranito inequigranular médio-grosso (Branco Savana), registram os termos $Ab_{(0,7-31,1)} Or_{(68,7-99,3)}$, com a seguinte fórmula química:



Os plagioclásios têm proporções $Ab_{(91,4-98,7)} An_{(0,0-7,9)}$, considerando os termos extremos da solução sólida Ab-An-Or. A composição química corresponde a:



Assim, de forma similar ao sienogranito inequigranular grosso (Rosa Iracema), os plagioclásios variam de albita até oligoclásio, enquanto os feldspatos alcalinos, em sua grande maioria estão representados pelo ortoclásio (figura 7.8B).

Os plagioclásios possuem maior susceptibilidade aos processos de albitização de suas bordas, quando em contato com cristais de microclínio, associados a mirmequitas e cristais intergranulares de feldspato potássico.

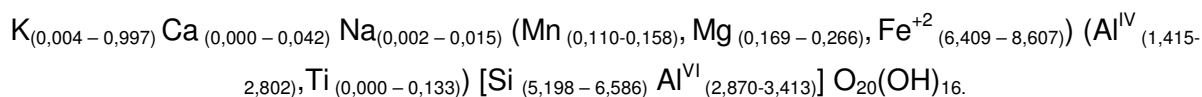
BIOTITAS

As biotitas pertencentes ao sienogranito inequigranular médio-grosso (Branco Savana), apresentam as razões $Fe/[Fe+Mg]$, entre 0,82 a 0,90, as quais estão enquadradas na classificação flogopita-annita-eastonita-siderofilita como annita, com uma leve tendência ao campo da siderofilita, pelo seu maior teor de Al^{IV} (2,35) (figura 7.9).

O forte pleocroísmo, de avermelhado à marrom escuro, pode estar relacionado com a presença do Fe e/ou Ti na composição. O pleocroísmo é modificado pela alteração deste mineral (biotita) para clorita, tornando-se esverdeado ou verde escuro em lamelas totalmente substituídas.

CLORITAS

Formadas a partir das biotitas primárias, as cloritas exibem evidentes efeitos de transformação mineral nas bordas e nos planos de clivagens das biotitas. Estas cloritas demonstram uma certa variação em sua classificação, dispostas entre os termos dafnita e burnsvigita (Figura 7.10 B). Recorrem na seguinte composição:



7.2.5 SIENOGRANITO INEQUIGRANULAR GROSSO (BRANCO CRISTAL QUARTZO)

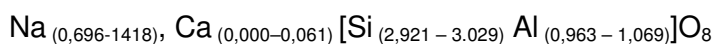
FELDSPATOS

Os feldspatos do sienogranito inequigranular grosso (Branco Cristal Quartzo), tal qual como nos litotipos anteriormente descritos, geralmente estão alterados para minerais de argila e micas. Nos tipos cálcicos a perda do elemento Ca favorece a formação de feldspatos.

Os feldspatos potássicos apresentam $Ab_{(4,20)} Or_{(95,98)}$, correspondendo a fórmula estrutural:



Os plagioclásios possuem relação $Ab_{(95,1 - 98,3)}$ e $An_{(1,0 - 4,1)}$, cuja composição química é dada por:



Conforme os valores acima ressaltados, os plagioclásios são essencialmente albiticos e os feldspatos potássicos, em sua totalidade, estão representados pelo ortoclásio (Figura 7.8 B).

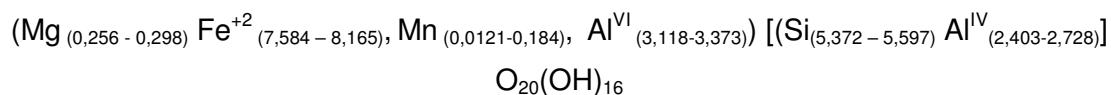
BIOTITAS

As biotitas comportam-se quimicamente de forma semelhante ao sienogranito inequigranular médio-grosso (Branco Savana) e ao sienogranito inequigranular grosso (Rosa Iracema) apresentando as razões $Fe/[Fe+Mg]$, em torno de 0,96, segundo a classificação flogopita-annita-eastonita-siderofilita, encontram-se no campo da annita, pelo seu teor de Al^{IV} (figura 7.9).

CLORITAS

A clorita assim como em todos os outros tipos graníticos estudados, provém da transformação das biotitas.

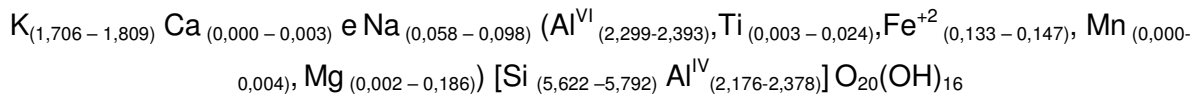
No sienogranito inequigranular grosso (Branco Cristal Quartzo) as cloritas são classificadas como Dafinita (figura 7.10B) e possuem fórmula química dada por:



MUSCOVITA

A muscovita ou mica branca está presente no corpo granítico da Serra do Barriga, principalmente nos tipos sienogranito inequigranular médio-grosso (Branco Savana) e sienogranito inequigranular grosso (Branco Cristal Quartzo) como mineral secundário, formado a partir da substituição das biotitas primárias instáveis e da alteração dos feldspatos, através de reações tardi a pós-magmáticas ou hidrotermais.

As muscovitas apresentam a seguinte fórmula química:



As pequenas quantidades detectadas nestas muscovitas dos elementos Ti, Fe⁺², Mn, Mg, Ca e Na, provavelmente refletem a transformação deste mineral vindo de biotita, visto que na fórmula química de muscovitas normalmente estes elementos são ausentes.

CLASSIFICAÇÃO DOS FELDSPATOS

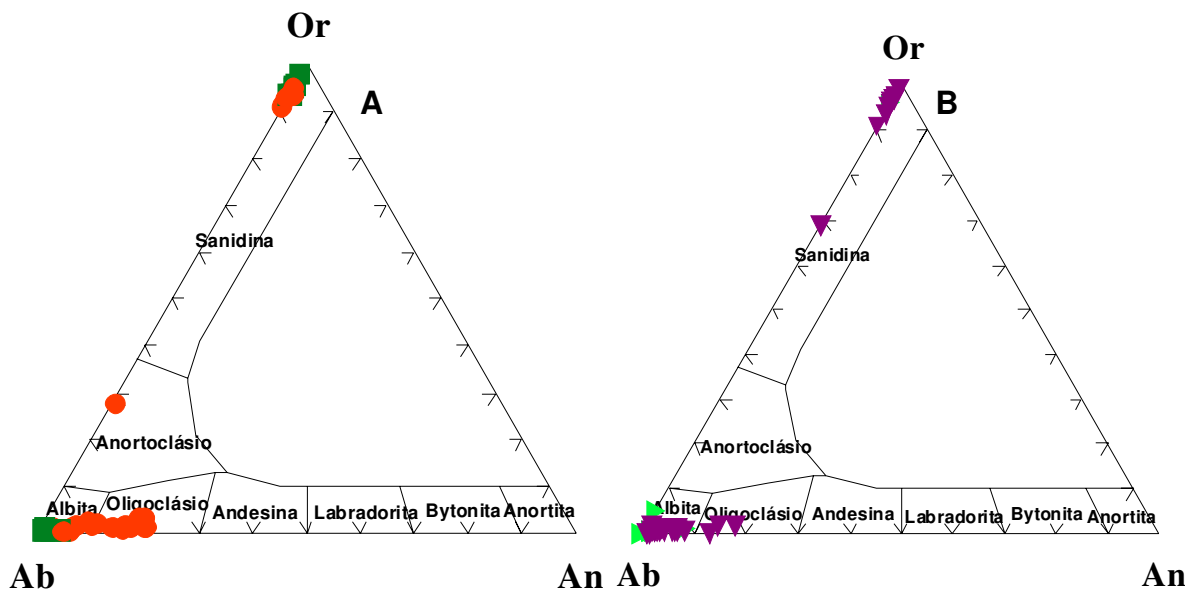


Figura 7.8 A e B - Diagrama ternário mostrando a composição dos plagioclásios e feldspatos alcalinos. Os plagioclásios são do tipo albita (Ab₇₁₋₉₆) enquanto os feldspatos alcalinos correspondem ao ortoclásio (Or₉₁₋₉₈). Observar a variação da composição dos plagioclásios dos tipos Rosas **A** (Iracema e Olinda) e Brancos **B** (Savana e Cristal Quartzo), entre albita e oligoclásio, sugerindo uma maior quantidade de cálcio nos plagioclásios destes granitos. Legenda: ● Rosa Iracema, ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ► Branco Cristal Quartzo.

CLASSIFICAÇÃO DAS BIOTITAS

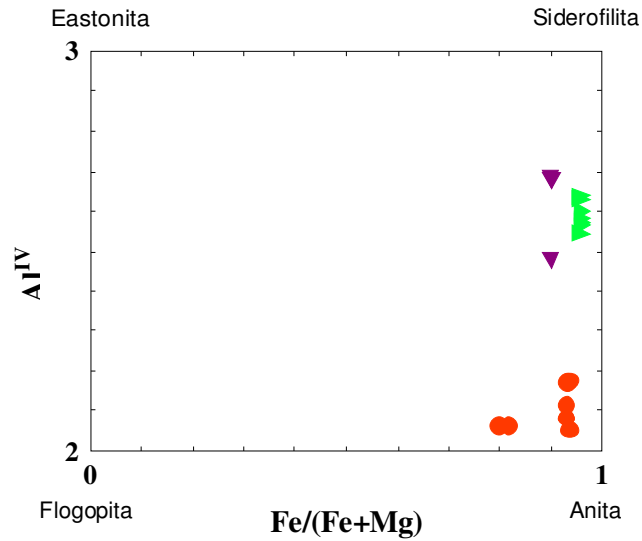


Figura 7.9 - Diagrama de classificação das biotitas do Granito Rosa Iracema, Branco Cristal Quartzo e Branco Savana correspondendo a Annita na solução flogopita-annita-eastonita -siderofilita, com Fe/(Fe+Mg) variando entre 0,80 e 0,96. (Deer *et al.*, 1966). Legenda: ● Rosa Iracema, ▼ Branco Savana e ▲ Branco Cristal Quartzo.

CLASSIFICAÇÃO DAS CLORITAS

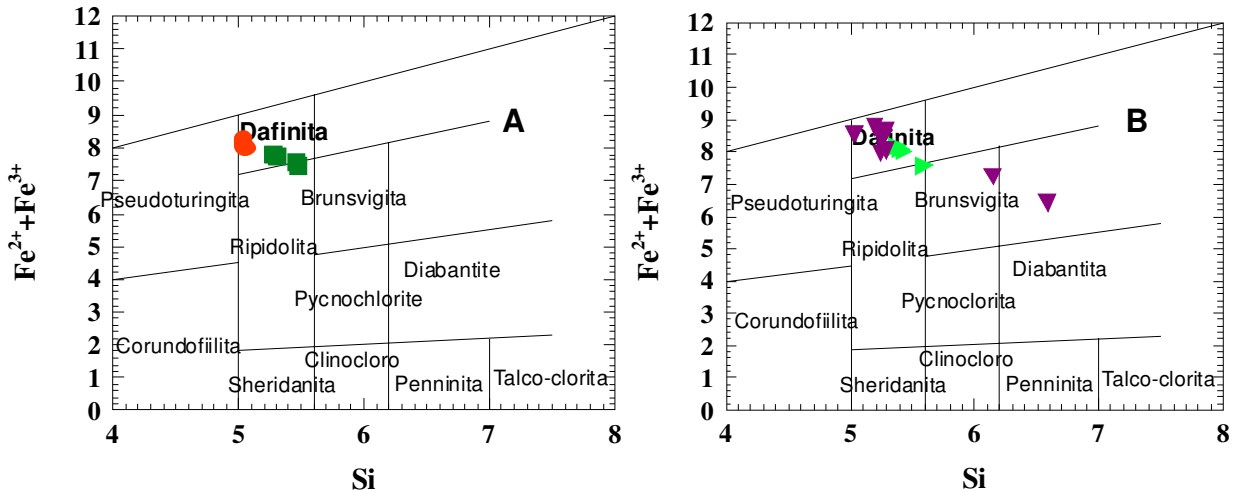


Figura 7.10 A e B - Diagrama de classificação das cloritas. Nos quatro tipos graníticos a clorita corresponde a Dafinita, com algumas exceções no granito Branco Savana, com Fe total variando entre 6,41 e 8,65. (Deer *et al.*, 1966). Legenda: ● Rosa Iracema, ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ▲ Branco Cristal Quartzo.

CLASSIFICAÇÃO DO ANFIBÓLIO

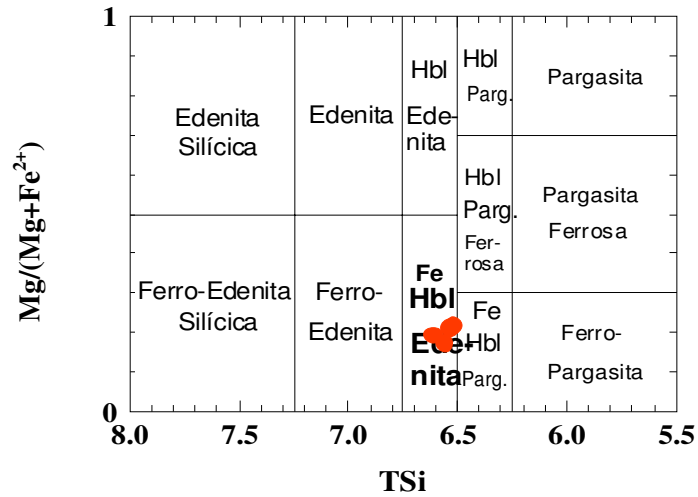


Figura 7.11 -- Diagrama de classificação dos anfibólios no Granito Rosa Iracema, correspondendo a Hornblenda Fe-Edenita, utilizando as razões $[Mg/(Mg+Fe) \times TSi]$. A “Edenita” é um anfibólio cálcico derivado da hornblenda comum pela adição de Na e substituição do Al pelo Si (Deer *et al.*, 1966). Legenda: ● Rosa Iracema.

MUSCOVITA

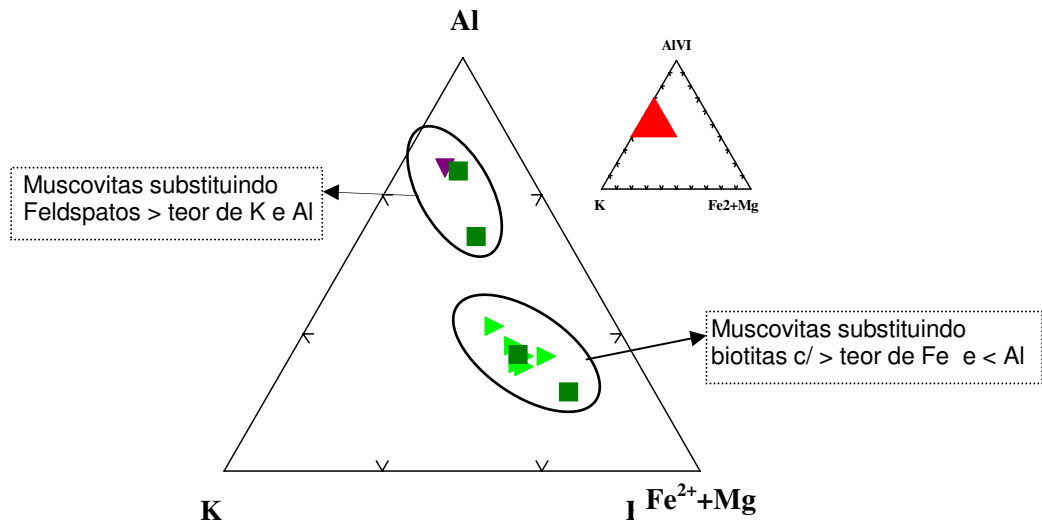


Figura 7.12 – Diagrama de Al-K-Fe²⁺+Mg para muscovitas dos Granitos Rosa Olinda, Branco Cristal Quartzito exibindo duas populações: muscovitas formadas em feldspatos (mais enriquecidas em K e Al) e muscovitas formadas em biotitas (mais enriquecidas em Fe). Legenda: ■ Rosa Olinda, ▼ Branco Savana e ► Branco Cristal Quartzito

7.3 TRANSFORMAÇÕES TARDI A PÓS-MAGMÁTICAS

As alterações geoquímicas em nível mineral, analisadas nos itens anteriores nada mais são que consequência de reações tardi a pós-magmáticas, que ocorrem em muitos tipos de magmatismo, geralmente estando associadas a transformação, substituição e/ou neoformação de minerais. É importante ressaltar, que estas transformações freqüentemente estão relacionadas com eventos hidrotermais tardios, onde as percolações por fluidos, ora enriquecidos em determinados elementos, ora carreando outros, modificam a associação mineral de uma rocha.

As condições físico-químicas do meio fluido, tais como, pH, Eh, temperatura, pressão, fugacidade de oxigênio, permeabilidade e porosidade da rocha, e arranjo mineralógico da rocha são fatores que determinam a mobilidade e as reações químicas dos elementos. Uma investigação criteriosa das reações de caráter tardio ou pós-magmático, pode informar e determinar as condições de transformação dos minerais de alteração apresentados pelos quatro fácies do Granito Serra do Barriga.

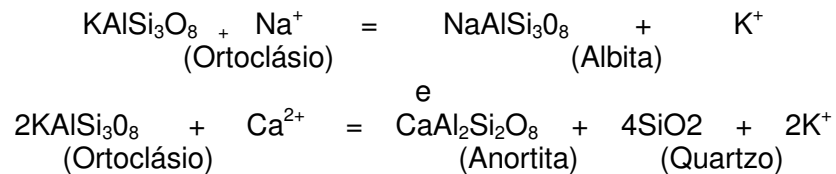
A forte presença das diversas reações minerais tardi a pós-magmáticas e similares entre as diversas faciologias analisadas convergem para a idéia de que os granitos estudados da Serra do Barriga foram formados por um mesmo evento magmático, sendo que as variedades comerciais Rosa Iracema e Brancos Savana e Cristal Quartzo corresponderiam a faciologias originadas por processos de fracionamento de um mesmo magma parental, acrescidas por novo pulso magmático de composição mais máfica representando o tipo granítico Rosa Olinda.

Exemplos de transformações minerais pós-magmáticas como *exsolução* (pertitização; formação de mirmequitas), potassificação, sericitização, albitização, neoformação de fluorita e cloritização, são comumente encontradas nos granitos da Serra do Barriga e podem ser demonstradas através de fotomicrografias relacionadas nas Pranchas 6.2 a 6.5 do Capítulo 6 - Análise Petrográfica.

7.3.1 EXSOLUÇÃO E SUBSTITUIÇÃO NA FORMAÇÃO DAS MIRMEQUITAS

Segundo Phillips (1974), as mirmequitas são formadas por reações tardi-magmáticas que envolvem interação entre substituição e exsolução química em minerais de composições alcalinas, representadas por feldspatos de cálcio (Ca), de sódio (Na) e de potássio (K). Estas reações são comumente encontradas em granitos pós-tectônicos não deformados, que possuam natureza cálcio-alcalina, como também em rochas metamórficas de graus médio e alto, além daquelas que sofreram retrometamorfismo. Neste modelo, o

quartzo-vermicular aparece em intercrescimento com o plagioclásio sódico, gerado através de exsoluções e trocas entre as bases Ca, Na e K, como demonstrado pelas reações:



As reações de formação das mirmequitas são mais freqüentes nas porções pegmatíticas e nas bordas do corpo granítico da Serra do Barriga, presentes principalmente nas bordas de cristais de feldspatos potássicos, em forma de “franjas”, como mostradas no Capítulo 6 - Análise Petrográfica.

7.3.2 TRANSFORMAÇÕES DE SUBSTITUIÇÃO POR PROCESSOS DE POTASSIFICAÇÃO

A potassificação ocorre pela neoformação de biotita e/ou K-feldspato, notadamente ortoclásio, mas se dá também pela geração de microclínio tardio (microclinização), na qual esta alteração pervasiva gera na rocha uma coloração avermelhada/rosada ou esbranquiçada, geralmente perdendo grande parte dos seus minerais ferro-magnesianos através dos processos hidrotermais. A paragênese encontrada pode ser: K-feldspato+biotita+sericita+clorita+quartzo (Sauerbronn, 2003).

As reações de potassificação ou microclinização, no caso dos granitos de fácies branca (Branco Savana e Branco cristal Quartzo) são bastante comuns e em alguns casos ocorrem sombras de maclas de albita sobre a reação de microclinização do plagioclásio. Os cristais apresentam-se bem mais límpidos, quando comparados com as alterações de argilo minerais e óxidos de ferro dos feldspatos potássicos e plagioclásios.

MUSCOVITIZAÇÃO/SERICITIZAÇÃO

É o processo de transformação dos feldspatos em micas brancas. De um modo geral é chamado de sericitização e se dá pela transformação parcial ou total dos referidos minerais, bem como da biotita, com a produção de muscovitas, sericitas e outros minerais de argila.

A reação de muscovitização nos granitos da Serra do Barriga é a alteração mais freqüente e parece ser a segunda mais tardia, sendo que pertencem à mesma fase de formação da clorita e do epidoto (argilização é a mais tardia), pois ocorre sobre os feldspatos e biotitas. A formação de sericita e muscovita é mais intensa nos cristais de plagioclásio, quando comparada com o feldspato potássico, estando também presente em

cristais de biotita. De modo geral, os granitos brancos mostram-se mais afetados pelas transformações de sericitização e muscovitização que os das faciologias rosadas.

ALBITIZAÇÃO

Está estreitamente associada à potassificação e à microclinização, nas fases iniciais do hidrotermalismo de granitos evoluídos. São indícios deste processo a descalcificação dos plagioclásios, a albitização dos feldspatos potássicos, a neoformação de albita em mirmequitas e/ou pertitas e o reequilíbrio das micas. Pode ser representada pela paragênese: albita+ feldspato potássico+biotita+fluorita (Dear *et al.*, 1966).

A albitização ocorre nas interfaces (contatos) entre cristais de plagioclásio e de microclínio, em geral associados com mirmequitas, e de forma intergranular, principalmente entre cristais de feldspato potássico. São texturas comuns nos granitos da Serra do Barriga albitização em torno dos cristais de feldspatos potássicos e neoformação de albita em pertitas ou inclusas no feldspato potássico.

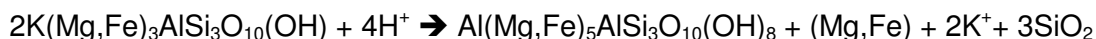
NEOFORMAÇÃO DE FLUORITA

A fluorita é um mineral indicativo de transformações tardi-magmáticas e dos fenômenos sobre mineralizações, também mais abundante nos processos hidrotermais dos sistemas a *Greisen* que nos sistemas *Pórfiros*. Ocorre como mineral acessório bastante comum em pegmatitos, granitos e sienitos, freqüentemente associado a outros minerais hidrotermais (Dear *et al.*, 1966).

As reações de neoformação de fluorita nos granitos da Serra do Barriga ocorrem nos granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo), e geralmente se apresentam sob forma de grãos intersticiais associados a cristais de biotita, como mostrado no capítulo de petrografia.

CLORITIZAÇÃO

Este processo se deve principalmente à transformação das biotitas, produzindo um forte pleocroísmo de coloração verde intenso desenvolvido mais freqüentemente quando houver uma maior disponibilidade de alumínio (Dear *et al.*, 1966), como demonstrado pela fórmula abaixo:



Apesar da cloritização parcial da biotita estar presente nos quatro tipos graníticos estudados, mostra-se mais freqüente nos granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo). Nos casos analisados a clorita apresenta uma pseudomorfose com a biotita, mas esta última ainda apresenta sua forma preservada, sendo que a composição e as características petrográficas observadas são claramente cloríticas.

CAPÍTULO 8. PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

8.1 INTRODUÇÃO

O estudo das propriedades tecnológicas buscou determinar as características físico-mecânicas das quatro variedades graníticas exploradas no *stock* granítico Serra do Barriga como rochas ornamentais. Tendo em vista avaliar o comportamento destes materiais frente às condições ambientais e solicitações a que estão sujeitos quando aplicados em obras civis, tais como atrito, impacto, umidade, esforços fletores e compressivos, variações de temperatura.

Os estudos desenvolvidos neste capítulo enfocam basicamente o desempenho físico e mecânico apresentado pelos granitos de interesse, buscando seus respectivos limites de resistência e comportamento perante solicitações térmicas (dilatação térmica). Estudos de suas propriedades físico-químicas, objetivando avaliações de resistência à alteração dos minerais com reflexos nas variações cromáticas, aspectos estéticos e dissolução/corrosão de componentes minerais, são apresentados em capítulo específico.

Dentre as variedades graníticas do *stock* Serra do Barriga foram estudados apenas os quatro tipos que são explorados e comercializados como rochas ornamentais. Estes granitos, comercialmente designados de Branco Cristal Quartzo, Branco Savana, Rosa Iracema e Rosa Olinda, são comercializados há longa data e encontram boa aceitação no mercado consumidor. Em termos gerais apresentam características tecnológicas que os qualificam para utilização em obras civis, com padrões estéticos agradáveis ao mercado consumidor, grau de homogeneidade e limites de resistência dentro dos padrões aceitáveis.

Os primeiros resultados de caracterização tecnológica disponíveis destes materiais foram obtidos nos laboratórios da Divisão de Tecnologia Mineral – DITEM/ NUTEC, em Fortaleza/CE, entre os anos de 1989 e 2001, a pedido das empresas responsáveis pela comercialização dos mesmos. Estes resultados encontram-se publicados no Catálogo de Rochas Ornamentais do Ceará (SECITECE, 2002 e Morais *et al.*, 2004). Uma síntese destes resultados encontra-se reproduzida no Quadro 8.1 e, comparados com os valores limítrofes especificados pela Norma C-615, ASTM (1992) e sugeridos por Frazão & Farjallat (1995), revelam que os referidos materiais exibem propriedades físico-mecânicas que permitem qualificá-los como materiais com bom desempenho para aplicação como rochas ornamentais e de revestimento em obras civis.

Além destes trabalhos, Figueiredo et al. (2001) determinaram o grau de saturação ou coeficiente de Hirschwald S48 para o granito Rosa Iracema. Sua finalidade consiste no estudo da cinética de embebição e do grau de saturação. A determinação do coeficiente de capilaridade (C) indica um meio poroso heterogêneo, isto é, rochas onde a subida capilar é fraca e o volume poroso preenchido por água é inferior ao que se atinge na embebição às 48 horas. Estes autores concluíram que o coeficiente de Hirschwald, que exprime a capacidade natural da rocha para absorver água, apresenta valores relativamente baixos, o que pode significar que a maior parte dos poros está preenchida com ar. Consideram ainda, que as probabilidades de alterações por processos aquosos do granito Rosa Iracema sejam fracas e que a sua durabilidade não seja afetada. Os resultados obtidos foram: Porosidade à 48 horas (N48): 0,68%; Porosidade aberta (Na): 0,53%; Porosidade total (Nt): 1,69 %; Teor em água máximo (Wmáx): 0,20% e Coeficiente de Hirschwald (S48): 40,75 %.

Quadro 8.1 - Resultados dos ensaios publicados no Catálogo de Rochas Ornamentais do Ceará (SECITECE, 2002) dos granitos ornamentais do stock Serra do Barriga; Resultados do granito Rosa Iracema provenientes de Figueiredo *et al* (2001) e valores limítrofes especificados pela ASTM (1992) C615-92 (Norma para granitos ornamentais) e sugeridos por Frazão&Farjallat (1995).

Rocha / Ensaios	Massa Específica Aparente (kg/m ³)		Porosidade Aparente (%)	Absorção d'água (%)	Desgaste Abrasivo (mm)	Resistência ao Impacto (cm)	Flexão 3 Pontos (MPa)	Compressão Uniaxial (MPa).
	Seca	Saturada						
Rosa Iracema	2.611	2.619	0,82	0,31	0,61	66,0	13,3	145,0
Rosa Olinda	2.630	2.660	0,88	0,33	0,71	55,7	11,8	145,2
Branco Savana	2.519	2.600	0,80	0,30	0,72	65,0	12,3	135,5
Branco Cristal Quartzo	2.601	2.610	0,84	0,32	0,85	56,3	8	92,8
Rosa Iracema*	2,61	2,65	Velocidade de propagação de ondas - seco		n.e	Velocidade de propagação de ondas saturado (m/s)		92 seco 73 saturado
			2939			2963		
<i>Valores limítrofes especificados pela Norma ASTM (1992) e sugeridos por Frazão & Farjallat (1995)</i>								
ASTM C615-92	≥ 2.560	n.e.	n.e.	≤ 0,4	n.e.	n.e.	≥ 10,34	≥ 131,0
Frazão & Farjallat (1995)	≥ 2.550	n.e.	≤ 1,0	≤ 0,4	≤ 1,0	≥ 40,0	≥ 10,0	≥ 100,0

n.e – não especificado * resultados obtidos no trabalho de Figueiredo et al. (2001)

No presente estudo, com o intuito de complementar os dados já disponíveis e de melhor conhecer o comportamento tecnológico destes materiais, foram efetuados novos ensaios físico-mecânicos dos quatro tipos graníticos explorados no referido stock granítico como rochas ornamentais. Neste sentido, suas características físicas e mecânicas foram analisadas, além de seus aspectos petrográficos, através dos ensaios de índices físicos, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão com 3 pontos e com 4 pontos, desgaste abrasivo Amsler, resistência ao impacto, coeficiente de dilatação térmica linear e

determinação da propagação de ondas ultra-sônicas longitudinais, conforme procedimentos normativos apresentados no Capítulo 2 - Materiais e Métodos.

Os resultados destes ensaios, apresentados pelos diferentes granitos estudados, foram correlacionados com os aspectos mineralógicos, texturais e estruturais das respectivas rochas, visando o melhor entendimento do comportamento físico e físico-mecânico exibido por elas diante das diversas solicitações. Por se tratarem de granitos isotrópicos, os resultados finais das determinações das resistências mecânicas representam a média dos resultados de seis corpos-de-prova de cada tipo granítico submetidos aos ensaios.

Os ensaios mecânicos para os quatro tipos graníticos também foram efetuados em condições secas e saturadas em água. Estes resultados permitem avaliar o grau de enfraquecimento hidráulico de cada material em relação aos esforços neles aplicados. O coeficiente de enfraquecimento hidráulico R relaciona a resistência de um material seco e saturado e permite avaliar o efeito da água na resistência mecânica dos materiais (Figueiredo, 1977, apud Mesquita, 2002). Os resultados obtidos através dos ensaios realizados nos quatro tipos petrográficos do stock Granito Serra do Barriga encontram-se listados no Quadro 8.2.

Os valores médios dos resultados referentes aos ensaios realizados nos quatro tipos graníticos encontram-se reunidos no Quadro 8.2, porém os dados completos de todos os ensaios físico-mecânicos efetuados, estão relacionados nos Anexos 7 a 10. Os valores dos ensaios encontram-se também representados em diversos diagramas ao longo dos respectivos itens e tem por finalidade possibilitar melhor visualização dos resultados obtidos e de facilitar as correlações entre os diferentes parâmetros físicos, físico-mecânicos e petrográficos das rochas analisadas.

Durante as discussões e interpretações dos resultados físico-mecânicos obtidos para os granitos estudados, em termos de suas qualificações como rochas ornamentais e de materiais para revestimento, procurou-se efetuar considerações comparativas com os valores limítrofes fixados pela norma C-615 (ASTM, 1992) e os sugeridos por Frazão e Farjallat (1995), bem como dados tecnológicos disponíveis para outras rochas quartzo-feldspáticas brasileiras. Destaca-se, neste íterim, que os referidos valores limítrofes fixados pela norma C-615 (ASTM, 1992) e os sugeridos por Frazão e Farjallat (1995) encontram-se representados no Quadro 8.1 e têm por finalidade facilitar a comparação dos mesmos com os valores fornecidos pelos granitos estudados.

Quadro 8.2 - Síntese dos resultados dos ensaios tecnológicos em amostras secas e saturadas dos quatro tipos graníticos do stock granítico Serra do Barriga (valores médios).

Índices Físicos		Ensaio/Materiais		ROSA IRACEMA		ROSA OLINDA		BRANCO SAVANA		BRANCO CRISTAL QUARTZO	
		seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado
Condições Ensaio											
Massa específica aparente (kg/m ³)		2.619	2.628	2.632	2.641	2.614	2.623	2.616	2.624		
Porosidade aparente (%)		0.87		0.88		0.91		0.80			
Absorção d' água (%)		0.33		0.33		0.35		0.31			
Ensaio Mecânicos/Condições Ensaio		seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado	seco	saturado
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)		146.3	126.9	145.2	125.1	168.6	152.0	178.0	175.9		
Resistência à Flexão 3 Pontos (MPa)		10.5	11.1	11.8	12.1	10,15	9.87	8.55	9.76		
Resistência à Flexão 4 Pontos (MPa)		7.23	7.86	7.58	6.91	7.00	6.08	7.11	7.24		
Desgaste Abrasivo Amsler (mm)		0.49	0.61	0.51	0.64	0.45	0.54	0.52	0.62		
Resistência ao Impacto de Corpo Duro (cm)		65.0	55.8	51.7	55.8	55.8	59.2	61.7	64.2		
Velocidade de Propagação de Ondas Ultra-sônicas (m/s)		4382	5487	4820	5544	4187	4995	4067	5005		
Dilatação térmica linear (10 ⁻³ mm/m°C)		⊥ à corrida		7,6		7,8		5,5		5,5	
		// à corrida		5,7		5,5		5,1		5,1	
Coeficiente de enfracquecimento hidráulico - R (%)		Compressão Uniaxial		83,9		89,0		99,8			
		Flexão 3 pontos		97,5		97,2		87,6			
		Flexão 4 pontos		97,0		78,0		92,0		94,0	

8.2 ÍNDICES FÍSICOS

A síntese dos resultados obtida para os índices físicos dos quatro tipos graníticos estudados encontra-se no Quadro 8.2. As planilhas com os dados completos estão disponíveis nos Anexos 7 a 10. Visando um entendimento mais amplo do comportamento dos índices físicos, foi importante correlacioná-los com os índices de coloração (Quadro 6.1) e de microfissuramento das respectivas rochas analisadas. Estas correlações estão representadas graficamente nas Figuras 8.1 e 8.2.

Os resultados obtidos para os índices físicos mostram que todos os quatro tipos graníticos ensaiados estão abaixo dos valores máximos para porosidade e absorção e acima dos índices mínimos para densidade sugeridos por Frazão e Farjallat (1995) e ASTM (1992). Os valores de massa específica são bastante próximos entre os quatro tipos graníticos estudados, da mesma forma ocorre para os índices de porosidade e de absorção d'água, onde os tipos ensaiados não apresentam grandes variações (Quadro 8.3).

Quadro 8.3 – Valores médios de massa específica, porosidade, absorção, índice de coloração e microfissuramento dos quatro tipos graníticos estudados.

Materiais Estudados		Rosa Iracema	Rosa Olinda	Branco Savana	Branco Cristal Quartzo.
Índices Físicos	Massa específica aparente seca (kg/m ³)	2.619	2.632	2.614	2.616
	Massa específica aparente saturada (kg/m ³)	2.628	2.641	2.623	2.624
	Porosidade aparente (%)	0.87	0.88	0.91	0.80
	Absorção d' água aparente (%)	0.33	0.33	0.35	0.31
Índice de Coloração (%)		7,5	12,5	5,5	5,0
Microfissuramento / mm ²	Total	0,24	0,22	0,31	0,25
	Intragrão(%)	93	81	91	94
	Intergrão (%)	7	19	9	6

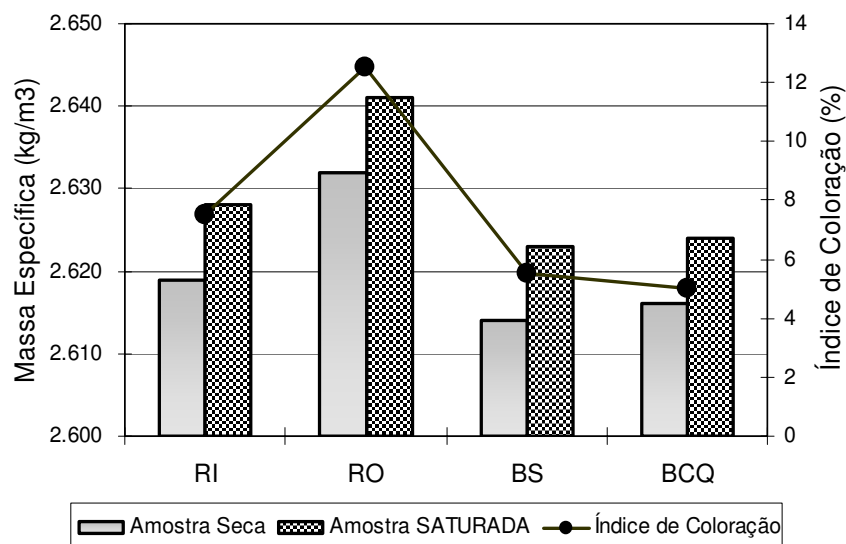


Figura 8.1 – Valores de massa específica aparente seca e saturada dos Granitos do *stock* granítico Serra do Barriga correlacionados com o índice de coloração. Legenda: RI – Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS – Branco Savana, BCQ – Branco Cristal Quartzo.

Apesar desta similaridade entre os valores dos índices físicos fornecidos pelos materiais analisados, sobretudo nos valores de densidade entre os granitos brancos, o tipo Branco Savana (BS) apresenta a menor massa específica e os maiores índices de absorção e porosidade. Porém o Rosa Olinda (RO) é o tipo granítico com massa específica mais elevada, mas não apresenta as menores absorção e porosidade (Figuras 8.1 e 8.2). Isto demonstra que a variação dos valores dos índices físicos está relacionada com uma série de outros parâmetros que devem ser considerados, como mineralogia, grau de alteração, microfissuramento, entrelaçamento dos minerais, entre outros.

De acordo com Mattos et al. (2003) os fatores que condicionam os índices de massa específica encontrados nos tipos graníticos estudados estão diretamente associados com a mineralogia e mais precisamente com a quantidade de minerais máficos e/ou mais densos.

A análise da Figura 8.1 corrobora com esta correlação, na medida em que a massa específica é relativamente maior nos granitos rosas (Rosa Iracema e Rosa Olinda), sobretudo no granito Rosa Olinda devido ao seu maior índice de minerais máficos, como biotita, anfibólio, clorita, titanita e óxidos de ferro. Os valores de densidade mais baixos nos granitos brancos Savana e Cristal Quartzo se devem à menor proporção de minerais máficos e maior quantidade de minerais félsicos, menos densos, como feldspatos, quartzo e minerais de alteração como sericita, mica branca, fluorita, carbonatos e argilominerais (Quadro 6.1).

Apesar das diferenças encontradas entre os quatro tipos graníticos, os valores de massa específica apresentados são muito próximos entre os tipos de coloração branca (Savana e Cristal Quartzo) confirmando a semelhança composicional exibida por estes tipos petrográficos (quadro 6.1; Capítulo 6) e (figuras 8.1 e 8.2). Contudo esta semelhança composicional não se reflete nos valores de absorção e porosidade, uma vez que a textura, o grau de microfissuramento e de alteração entre estes dois tipos são diferentes.

De acordo com diversos trabalhos apresentados na literatura os principais fatores que condicionam os índices de porosidade e absorção referem-se, além da granulação da rocha, ao grau de entrelaçamento, de microfissuramento e de alteração dos minerais constituintes da rocha.

Estas variáveis influenciam diretamente no comportamento dos índices de absorção e de porosidade das rochas do *stock* granítico Serra do Barriga. O tipo Branco Cristal Quartzo exhibe textura inequigranular grossa, com mais minerais de alteração, e o tipo Branco Savana mostra granulação variando entre média a grossa. Este último apresenta ainda, os maiores índices de porosidade e absorção devido à maior concentração de microfissuras por mm². Para o Branco Cristal Quartzo ocorre o inverso, com menores valores de porosidade e absorção impressos pelo microfissuramento, que apesar de não ter os menores índices de microfissuras de todos os quatro tipos, em torno de 94% destas fissuras são do tipo intragrão refletindo baixa comunicabilidade entre as mesmas (quadro 8.3 e figura 8.2).

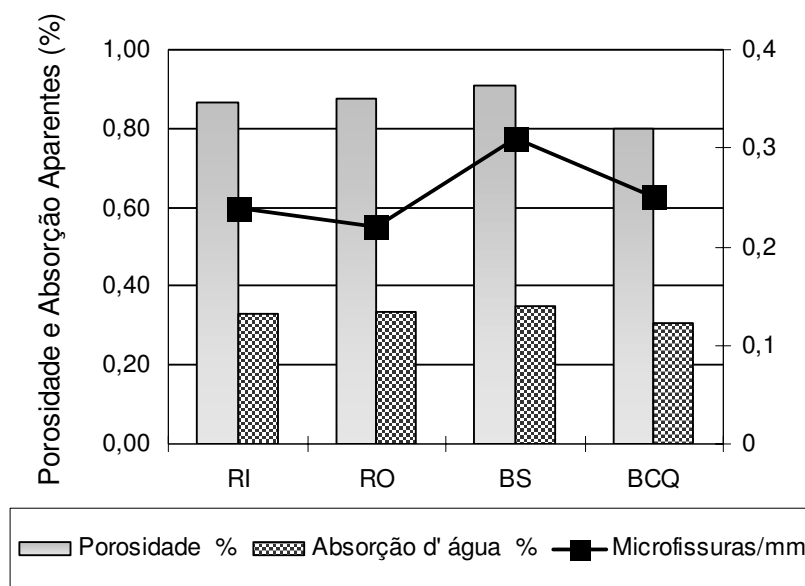


Figura 8.2 – Valores de porosidade e absorção aparentes correlacionados com o índice de microfissuramento do *stock* granítico Serra do Barriga. Legenda: RI – Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS – Branco Savana, BCQ – Branco Cristal Quartzo.

Os granitos rosas (Iracema e Olinda) exibem praticamente os mesmos valores de porosidade e absorção d'água, bem como em termos de seus índices de microfissuramento mineral que se mostram também equiparados, com 24 e 22 microfissuras/mm², respectivamente. Apesar de o tipo Rosa Olinda apresentar o menor índice de microfissuras, cerca de 20% destas são classificadas como intergrãos, conduzindo a um leve aumento da porosidade quando comparada com o Rosa Iracema. Neste último, apenas 6% das suas microfissuras observadas são intergrãos, refletindo numa menor comunicabilidade entre as mesmas (Quadro 8.3).

Os ensaios no tipo Rosa Iracema indicaram também massa específica muito próxima às apresentadas pelos tipos graníticos brancos (Savana e Cristal Quartzo), o que é corroborado por certa semelhança na composição mineralógica entre os referidos granitos. Porém a porosidade e a absorção no Rosa Iracema exibem valores intermediários em relação aos dos granitos brancos, sendo menores que a apresentada pelo Branco Savana, devido ao grau de microfissuramento e de alterabilidade mineral proporcionalmente menores do primeiro granito.

Comparativamente a outros tipos graníticos cearenses, tomando-se por referência os dados publicados no Catálogo de Rochas Ornamentais do Ceará (SECITECE, 2000), os valores dos índices físicos fornecidos pelos granitos analisados permitem considerá-los como adequados para o uso como rochas ornamentais e de revestimento. Além disto, os granitos do *stock* granítico Serra do Barriga apresentam valores de massa específica acentuadamente acima da média, sendo que para porosidade e absorção estão próximos da média geral dos granitos cearenses (Massa Específica Aparente = 2,51 kg/m³, Porosidade Aparente = 0,62 % e Absorção D'água = 0,28 %) e abaixo dos valores máximos sugeridos por Frazão e Farjallat (1995), o que permite, igualmente, considerá-los como granitos qualificados para o uso em ambientes úmidos, com os devidos cuidados em relação ao assentamento.

A massa específica dos granitos saturados aumenta entre 8 a 9 kg, o que pode ser considerado um incremento pequeno, refletindo a presença do baixo microfissuramento e da baixa absorção dos granitos estudados. A importância da baixa absorção e conseqüentemente do pequeno aumento de peso (pela saturação de água) constitui-se caso estas rochas forem utilizadas como painéis suspensos ou até mesmo fixos. O reduzido aumento de massa específica torna-se um fator altamente positivo para estes painéis quando expostos à chuva, pois sem grandes variações de peso (seco e saturado) a rocha não compromete a segurança das estruturas de sustentação e garante um maior tempo de vida útil para o empreendimento.

8.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL SIMPLES

Este ensaio permite quantificar a carga máxima suportada pela rocha quando submetida a esforços compressivos, sendo indispensável para testes de materiais pétreos destinados a funções estruturais. Trata-se de um índice de qualidade mecânica da rocha, cujos valores obtidos fornecem uma indicação da resistência do material ao esforço mecânico compressivo através da determinação do valor máximo de tensão que a rocha suporta antes de sua ruptura. É um indicador de qualidade importante, que permite avaliar a integridade física do material, sobretudo para as rochas aplicadas como elementos de sustentação. Segundo Ciccu *et al* (1996), valores elevados de resistência à compressão implicam geralmente, em valores baixos de porosidade e altos de resistência à flexão.

Valores mínimos de resistência à compressão uniaxial aceitáveis para granitos ornamentais são definidos pela ASTM C615-92 (ASTM, 1992) como maior ou igual a 131 MPa, e por Frazão & Farjallat (1995) que sugeriram valores de resistência a compressão igual ou superior a 100 MPa. A ISRM (1979) classifica as rochas desde extremamente brandas, com rompimento abaixo de 1 MPa; muito branda, entre 1 a 5 MPa; branda entre 5 a 25 MPa, resistente, entre 50 a 100; muito resistente, entre 100 a 250 e rocha extremamente resistente para rompimento acima de 250 MPa.

Os resultados obtidos para a resistência à compressão uniaxial dos quatro tipos graníticos estudados encontram-se no Quadro 8.4. As planilhas com os dados completos estão disponíveis nos Anexos 7 a 10. Para um melhor entendimento, os valores da resistência à compressão uniaxial foram correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas das mesmas amostras ensaiadas. Estas correlações estão representadas graficamente na Figura 8.3.

De acordo com a classificação apresentada pela ISRM (1979), todos os granitos ensaiados estão inseridos no intervalo das rochas muito resistentes. As amostras ensaiadas sob condições secas dos granitos rosas (Olinda e Iracema) e dos brancos (Savana e Cristal Quartzo) mostram-se entre 10 a 30% acima dos valores mínimos aceitáveis definidos pela ASTM C615-92 (ASTM,1992) e sugeridos Frazão & Farjallat (1995). Porém, a resistência à compressão destes granitos sob condições saturadas diminui, sobretudo nos tipos graníticos rosas (Olinda e Iracema) cujas resistências foram reduzidas pelo enfraquecimento hidráulico, posicionando-os abaixo do limite de 131 MPa especificado pela norma C615-92 (ASTM, 1992). Nos granitos brancos o decréscimo na resistência à compressão ocorre, mas não atinge valores abaixo dos limítrofes (Quadro 8.4).

Quadro 8.4 - Valores médios de resistência à compressão uniaxial, velocidade de pulso ultra-sônico e índice de enfraquecimento hidráulico fornecidos pelos granitos estudados.

Ensaio/Amostra		ROSA IRACEMA	ROSA OLINDA	BRANCO SAVANA	BRANCO CRISTAL QUARTZO.
Resistência à Compressão Uniaxial (MPa)	Seco	146,3	145,2	168,6	178,0
	Saturado	126,9	125,1	152,0	175,9
Velocidade de pulso Ultra-sônico (m/s)	Seco	4781	4918	4732	4448
	Saturado	6003	5564	5513	5532
Coeficiente de enfraquecimento hidráulico - R (%)		84,7	83,9	89,0	98,8
Classificação ISRM 100 – 250 MPa		Muito resistente	Muito resistente	Muito resistente	Muito resistente

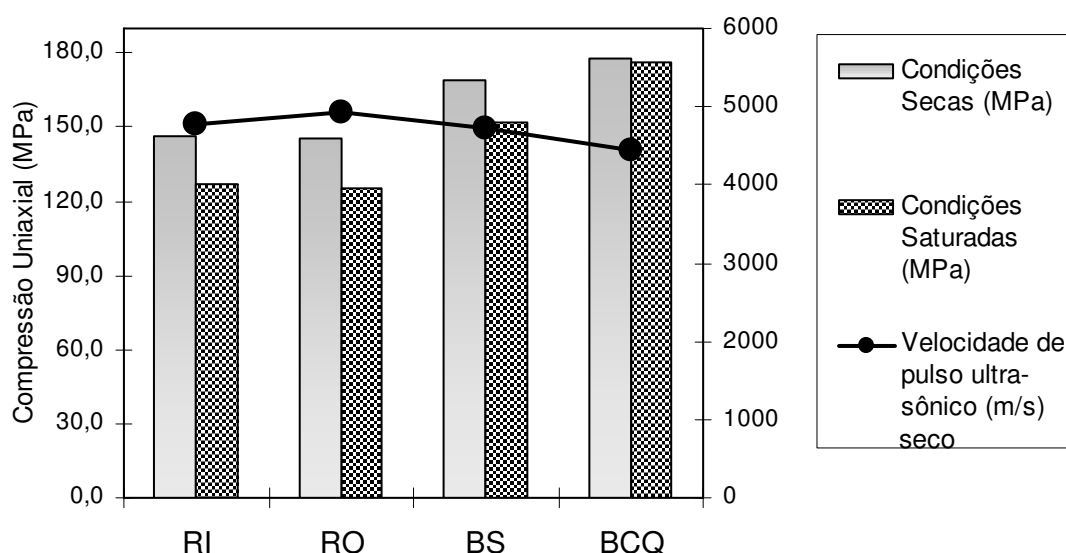


Figura 8.3 – Valores médios de resistência à compressão uniaxial (em MPa) dos quatro tipos graníticos da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas no estado seco. Legenda: RI – Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS – Branco Savana, BCQ – Branco Cristal Quartzito.

Os resultados representados através da Figura 8.3 mostram que os granitos brancos (Savana e Cristal Quartzito) são mais resistentes aos esforços compressivos, sobretudo o tipo granítico Branco Cristal Quartzito quando comparados aos granitos rosas (Rosa Iracema e Rosa Olinda).

Os dados obtidos permitem separar os granitos ensaiados em dois grupos principais: o grupo dos granitos rosas (Rosa Olinda e Rosa Iracema) e dos granitos brancos (Branco Savana e Branco Cristal Quartzito). Os granitos do primeiro grupo apresentam valores de resistência à compressão muito próximos entre si. Na condição de saturação a resistência destes dois tipos é reduzida, em 16,1% para o Rosa Olinda e em 15,3% para o

Rosa Iracema. Como a queda na resistência ocorre de modo proporcional, os valores permanecem semelhantes após a saturação em água.

Os granitos Branco Savana e Branco Cristal Quartzo, representantes do grupo dos granitos brancos, mostram, por sua vez, uma certa discrepância entre os valores de resistência à compressão uniaxial quando testados em condições secas. Entretanto, a diferença do comportamento mecânico destes dois granitos é realçada após a saturação em água, expressa pela oscilação de seus valores em relação ao enfraquecimento hidráulico, com cerca de 11% para o Branco Savana e 1,2% para o Branco Cristal Quartzo.

O grupo dos granitos rosas apresenta os menores valores de compressão uniaxial devido não apenas à elevada porosidade e absorção, mas também pela sua textura e composição. São granitos mais enriquecidos em feldspatos (potássico e plagioclásio) e em biotita, minerais com maior incidência de alterações, microfissuras e descontinuidades físicas (maclas e clivagens) e substituições químicas. O tipo Rosa Olinda exhibe textura do tipo porfirítica, com 30 a 35% de fenocristais de feldspato potássico, que lhe confere maior ocorrência de contatos planos entre os minerais (em torno de 23%). Ocorre também maior porcentagem de microfissuramento intergrãos, que pela ação dos esforços conduz ao desenvolvimento e propagação das mesmas, imprimindo uma redução da resistência mecânica da rocha. Os menores valores de compressão uniaxial exibido pelo Rosa Olinda, dentre os tipos graníticos investigados, são considerados como devidos à sua textura megaporfirítica e à maior concentração de feldspatos e principalmente de biotitas, bem como pelas microdescontinuidades e estado de alteração mineral materializado por argilominerais, óxido/ hidróxido de ferro, sericita e mica branca.

Os valores mais elevados de resistência à compressão uniaxial fornecidos pelo granito Branco Cristal Quartzo, assim como seu reduzido enfraquecimento hidráulico de 1,2%, estão diretamente relacionados com os baixos índices de absorção e de porosidade por ele exibida. Estes dados podem estar associados ao bom engrenamento mineral, no qual cerca de 80% dos contatos apresentam-se denteados e côncavo-convexos, determinados por cristais de quartzo e de feldspatos com feições de dissolução expressa no Branco Cristal Quartzo. A menor resistência à compressão uniaxial do tipo Branco Savana em relação ao Branco Cristal Quartzo deve-se, sobretudo aos índices de porosidade e absorção mais elevados, impressos pela maior incidência de microfissuras. Além disto, em torno de 10% destas microfraturas são do tipo intergrãos, que reduzem a resistência da rocha, principalmente sob esforços compressivos (Quadro 6.1).

O valor mais elevado de resistência à compressão apresentado pelo Branco Savana, em comparação aos granitos rosas, está relacionado ao bom engrenamento mineral, visto que em torno de 79% dos contatos são engrenados (dos tipos côncavo-convexos e denteados) e, sobretudo, à textura inequigranular de granulação mais fina que, de acordo com a literatura, condiciona a rocha para uma maior resistência ao rompimento sob esforços compressivos.

Apesar da grande semelhança entre os valores obtidos da velocidade de propagação de ondas nas amostras ensaiadas, a correlação destas velocidades com os índices de compressão uniaxial não se mostra direta, principalmente para as rochas em condições saturadas. Isto evidencia a existência de outros parâmetros influenciando nos resultados obtidos que devem ser considerados, com o intuito de ampliar o entendimento do desempenho da velocidade de propagação de ondas nas rochas estudadas. De acordo com a literatura, diversos parâmetros podem ser correlacionados na análise do comportamento da propagação de ondas, como textura, granulação, engrenamento mineral, grau de absorção e porosidade, grau de microfissuramento, grau de alteração, além da velocidade de propagação de ondas de cada mineral constituinte da rocha.

Nos granitos estudados, a maior velocidade de propagação de ondas registrada no Rosa Olinda mostra-se coerente devido ao seu maior índice de massa específica entre todas as amostras, o que facilita a propagação das ondas ultra-sônicas. Para os tipos graníticos Rosa Iracema e Branco Savana, as velocidades de propagação das ondas ultra-sônicas são bastante similares, e podem estar associadas aos índices de porosidade e de absorção, também similares.

As maiores velocidades de propagação das ondas são fornecidas, sobretudo, pelos materiais com fracas anisotropias e granulações mais finas. Pode-se presumir que, comparando-se os tipos Branco Savana e Branco Cristal Quartzo, a maior velocidade registrada para o granito Savana está associada à sua granulação, que se mostra mais fina, quando comparada ao Branco Cristal Quartzo. Outro fator que influencia na baixa velocidade de propagação é a menor massa específica apresentada pelo Branco Savana.

O tipo granítico Branco Cristal Quartzo, apesar de ser mais resistente à compressão, apresentar a menor absorção e porosidade, possui a menor velocidade de propagação de ondas, isto se deve à menor massa específica e, sobretudo ao maior grau de alterabilidade (representada por muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos), que imprime um certo grau de “anisotropia” à rocha, reduzindo a velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas.

De modo geral todos os granitos analisados demonstram boa resistência mecânica, enquadrando-se na categoria das rochas muito resistentes segundo a classificação proposta pela ISRM (1979), o que permite qualificá-los como adequados para uso com funções estruturais. No entanto ao se empregar os tipos graníticos Rosa Iracema e Rosa Olinda como colunas, ou peças de sustentação, deve-se tomar certa prevenção ao submetê-los em ambientes úmidos ou externos, pois ambos apresentam redução na resistência dos esforços compressivos sob condições saturadas em água.

8.4 RESISTÊNCIA À FLEXÃO

8.4.1 MÉTODO DOS 3 PONTOS

Neste ensaio realiza-se a avaliação da resistência da rocha quando utilizada em situações que possam incidir esforços fletores (flexão e tração simultaneamente), obtendo-se parâmetros indicativos de integridade física dos materiais pétreos, visto que quanto mais alterada e microfraturada for a rocha analisada, menor será o valor correspondente a resistência à flexão.

A Norma ASTM C615-92 (ASTM, 1992) determinou os valores mínimos aceitáveis de resistência à flexão sob 3 pontos para rochas ornamentais como maior ou igual a 10,34 MPa, enquanto que Frazão & Farjallat (1995) sugeriram valores mínimos maiores ou iguais a 10 MPa (Quadro 8.1).

Os resultados obtidos para os ensaios de resistência à flexão - 3 pontos dos quatro tipos graníticos encontram-se nos Quadros 8.2 e 8.5. As planilhas com os dados completos estão disponíveis nos Anexos 7 a 10. Para um melhor entendimento, os valores da resistência à flexão a 3 Pontos foram correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas das mesmas amostras ensaiadas. Estas correlações estão representadas graficamente na Figura 8.4.

Os resultados de flexão sob condições secas fornecidos pelas amostras dos quatro tipos graníticos estudados revelam certa discrepância destes materiais perante esforços fletores. As amostras dos granitos rosas (Olinda e Iracema) e do Branco Savana mostram-se entre 5 a 11,8% acima dos valores mínimos aceitáveis sugeridos Frazão & Farjallat (1995), enquanto que o Branco Cristal Quartzo encontra-se 17% abaixo dos referidos valores mínimos. Estes mesmos materiais, sob condições saturadas, mostram uma redução ainda maior em relação a resistência aos esforços fletores, sobretudo para os

granitos brancos (Branco Savana e Branco Cristal Quartzo), posicionando-os respectivamente em 1,32 e 2,46 % abaixo do referido limite de 10 MPa (Quadro 8.5).

A resistência das placas sob esforços fletores a três pontos mostra-se, de forma geral, maior para os granitos rosas, sendo o Rosa Olinda o mais resistente de todas as amostras. Comparativamente os granitos brancos apresentam resistência menor, sendo o Branco Cristal Quartzo o menos resistente, como exibido na Figura 8.4.

Quadro 8.5 - Valores médios de resistência à flexão a 3 pontos, velocidade de pulso ultra-sônico e índice de enfraquecimento hidráulico.

Ensaio/Amostra		ROSA IRACEMA	ROSA OLINDA	BRANCO SAVANA	BRANCO CRISTAL QUARTZO.
Flexão 3 Pontos (MPa)	Seco	10,5	11,8	10,15	8,55
	Saturado	11,1	12,1	9,87	9,76
Velocidade de pulso Ultra-sônico (m/s)	Seco	4245	4841	4312	4047
	Saturado	5436	5721	5218	4881
Coeficiente de enfraquecimento hidráulico - R (%)		94,6	97,5	97,2	87,6

O diagrama da figura 8.4 apresenta uma correlação entre a resistência à flexão pelo método 3 Pontos com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, que ocorre de forma direta e coerente. Os granitos Rosa Olinda e Rosa Iracema apresentam os valores mais altos, provavelmente devido ao seu bom engrenamento mineral.

A menor resistência e velocidade foi registrada nos granitos brancos, o que reflete o grau de alteração mineral, entre moderado a alto, expresso pela presença de sericita, mica branca, argilominerais, carbonatos e óxidos de ferro, além da forte influência do microfissuramento que ocorre entre 25 a 31 microfissuras /mm², determinado através das análises petrográficas (quadro 6.1). A maior resistência à flexão no tipo Branco Savana pode estar relacionada à menor proporção das alterações minerais e à sua textura que, apesar de inequigranular, apresenta-se menos grossa, comparada ao Branco Cristal Quartzo.

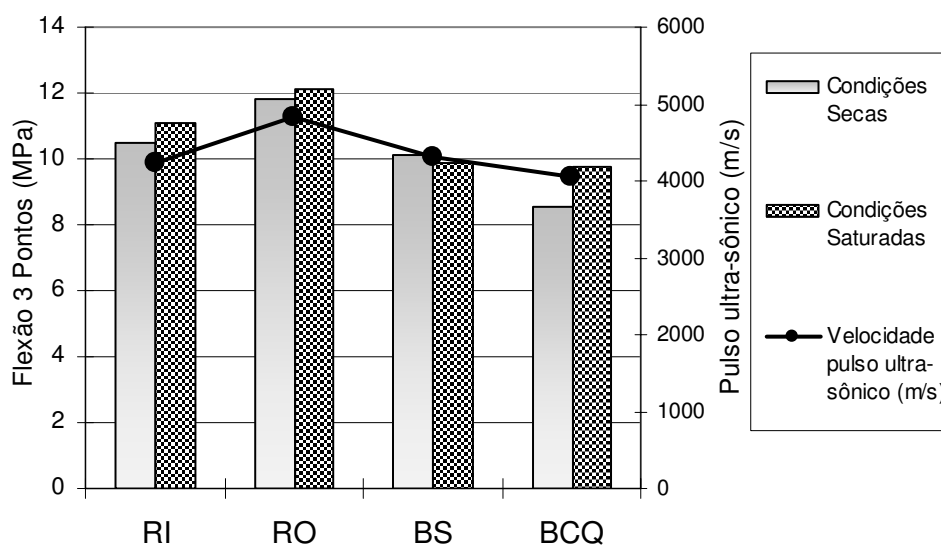


Figura 8.4 – Valores de resistência à flexão 3 pontos dos quatro tipos graníticos da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas. Legenda: RI – Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS – Branco Savana, BCQ – Branco Cristal Quartzo.

O granito Branco Cristal Quartzo apesar de apresentar maior resistência à compressão, menor absorção e porosidade, possui a menor resistência à flexão, confirmada pela sua menor velocidade de propagação de ondas, que pode estar associada à sua menor densidade e sobretudo ao grau moderado a alto de alterabilidade representada por muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos substituindo feldspatos.

A velocidade de propagação de ondas nas amostras ensaiadas reflete o mesmo comportamento dos índices de resistência à flexão para todas os tipos graníticos, mostrando uma correlação direta entre estes dois parâmetros, tanto em condições secas como em condições saturadas. Esta associação corrobora com os valores de resistência à flexão, onde a maior velocidade de propagação de ondas está representada pela amostra com maior resistência à flexão, no caso, o tipo granítico Rosa Olinda.

Os granitos Rosa Iracema e Branco Savana apresentam valores intermediários e muito próximos de velocidade de propagação de ondas, seguindo o mesmo comportamento para a resistência à flexão.

8.4.2. MÉTODO DOS 4 PONTOS

Este ensaio determinou a resistência à flexão com carregamento em quatro pontos das amostras, as quais foram submetidas a esforços de compressão e de tração. Os resultados obtidos permitem determinar a área e a espessura mínima segura para o suporte de esforços fletores das placas de rochas, quando aplicadas em fachadas.

Os resultados obtidos neste ensaio encontram-se nos Quadros 8.2 e 8.6. As planilhas com os dados completos estão disponíveis nos Anexos 7 a 10. Para um melhor entendimento, os valores da resistência à flexão a 4 Pontos foram correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas das mesmas amostras ensaiadas. Estas correlações estão representadas graficamente na figura 8.5.

Quadro 8.6 - Valores médios de resistência à flexão a 4 pontos, velocidade de pulso ultra-sônico e índice de enfraquecimento hidráulico.

Ensaio/Amostra		ROSA IRACEMA	ROSA OLINDA	BRANCO SAVANA	BRANCO CRISTAL QUARTZO.
Flexão 4 Pontos (MPa)	Seco	8,75	9,33	7,00	7,71
	Saturado	8,51	7,28	6,48	7,24
Velocidade de pulso Ultra-sônico (m/s)	Seco	4170	4666	3610	3837
	Saturado	5063	5497	4255	4601
Coeficiente de enfraquecimento hidráulico - R (%)		97	78	92	94

No gráfico da figura 8.5 encontram-se representados os valores obtidos nos ensaios de resistência à flexão 4 pontos correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas. Esta relação mostra-se diretamente proporcional em todos os quatro tipos graníticos estudados, incluindo as amostras sob condições secas.

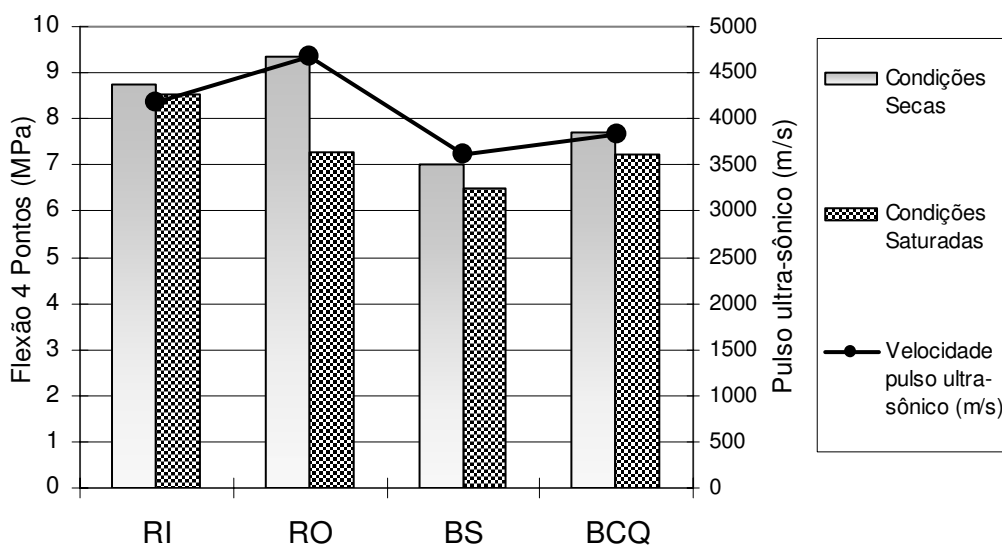


Figura 8.5 – Valores de resistência à flexão 4 pontos dos quatro tipos graníticos da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas correlacionados com velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas. Legenda: RI – Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS – Branco Savana, BCQ – Branco Cristal Quartzito.

Os resultados obtidos neste ensaio permitiram reunir os granitos estudados em dois grupos com diferentes comportamentos mecânicos, dos granitos rosas (Iracema e Olinda) e dos granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo). Os granitos do primeiro grupo são os que exibem as maiores resistências à flexão tanto sob condições secas como saturadas. Apesar da constatação na redução da resistência sob condições de saturação em água, os valores exibidos pelos granitos estudados não influem negativamente a ponto de desqualificá-los para sua aplicação como materiais de revestimento.

Os valores de maior resistência à flexão, tanto a três quanto a quatro pontos, registrados para o granito Rosa Olinda ocorrem devido ao bom engrenamento mineral deste material, mesmo se tratando de um granito com textura porfirítica, pois seus fenocristais exibem contornos com marcantes feições de micro-corrosões que induz a um bom entrelaçamento com os demais minerais da matriz. A menor resistência nos granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) está associada principalmente à maior presença de quartzo, mineral de comportamento altamente frágil, e secundariamente pela herança das alterações pós-magmáticas. Estas alterações são expressas pelas substituições de sericita e mica branca em feldspato e plagioclásio, os quais apresentam moderado grau de alteração e também pela forte presença de fluorita entre os minerais. A presença de quartzo associada às referidas alterações pode imprimir um enfraquecimento destas rochas só revelado, quando submetidas a esforços fletores.

A comparação das figuras 8.4 e 8.5 revela que a resistência à flexão 3 pontos segue o mesmo padrão apenas para o grupo dos granitos rosas sob condições saturadas, no qual o tipo Rosa Olinda é o mais resistente e o Rosa Iracema possui valores intermediários de resistência. No grupo dos granitos brancos os índices apresentados não acompanham a mesma proporção entre os dois ensaios. O granito Branco Cristal Quartzo, que na flexão a 3 pontos mostrou menor resistência entre os brancos, apresenta-se como o tipo granítico de maior resistência à flexão a 4 pontos. Isto reflete a heterogeneidade da rocha, que possui textura inequigranular grossa, com cristais de feldspatos e quartzo de variadas formas e tamanhos que podem chegar até a 40 mm, respondendo de modo diferente de acordo com a espessura do corpo de prova e com o tipo de esforço aplicado.

De modo geral os granitos analisados mostram-se adequados para aplicação sob esforços fletores, pois suportam cargas acima dos valores mínimos determinados para granitos pela norma ASTM C615-92 (ASTM,1992). No entanto, ao empregar os tipos graníticos Branco Savana e principalmente o Branco Cristal Quartzo em fachadas aeradas (suspensas por pinos) deve-se tomar muita atenção com os cálculos de espessuras mínimas, devido aos seus valores mais reduzidos quando submetidos a ações conjuntas de compressão e tração.

8.5 DESGASTE ABRASIVO AMSLER

Este ensaio avalia a resistência de desgaste da rocha que resulta em uma relação direta com a sua composição mineralógica, grau de dureza, granulação, arranjo e coesão dos seus minerais. É um indicador de qualidade importante para as rochas aplicadas como revestimento em áreas de tráfego intenso.

O valor do desgaste abrasivo possui uma relação inversamente proporcional ao teor de quartzo, pois este mineral com dureza 7 na escala de Mohs, altamente abrasivo, imprime maior resistência ao desgaste das rochas, quando comparadas àquelas mais enriquecidas em feldspatos, de dureza 6.

Valores mínimos de resistência ao desgaste abrasivo para granitos ornamentais são sugeridos por Frazão & Farjallat (1995) que recomendaram como aceitáveis valores iguais ou inferiores a 1,0 mm.

O ensaio de desgaste abrasivo foi realizado nos quatro tipos graníticos sob condições secas e saturadas, sendo que os valores obtidos para a resistência ao desgaste abrasivo estão nos quadros 8.2 e 8.7. As planilhas com os dados completos estão disponíveis nos Anexos 7 a 10. Para um entendimento mais amplo, os valores da resistência ao desgaste foram correlacionados com o teor de quartzo definidos na petrografia. Estas correlações estão representadas graficamente na figura 8.6.

Quadro 8.7 - Valores médios de resistência ao desgaste abrasivo sob condições secas e saturadas e a mineralogia dos tipos graníticos estudados.

Ensaio/Amostra		ROSA IRACEMA	ROSA OLINDA	BRANCO SAVANA	BRANCO CRISTAL QUARTZO.
Desgaste Abrasivo Amsler (mm)	Seco	0.49	0.51	0.45	0.52
	Saturado	0.61	0.64	0.54	0.62
Mineralogia (%)	Quartzo	30	28	34	35
	Feldspatos	60,5	58	59	57
	Biotita	6	10	5	4
	Hornblenda	0,5	0,5	-	-
	Titanita, apatita, zircão, opacos, allanita	1	2	0,5	1
	Clorita, muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos, óxido/hidróxido ferro	2	1,5	1	2,5

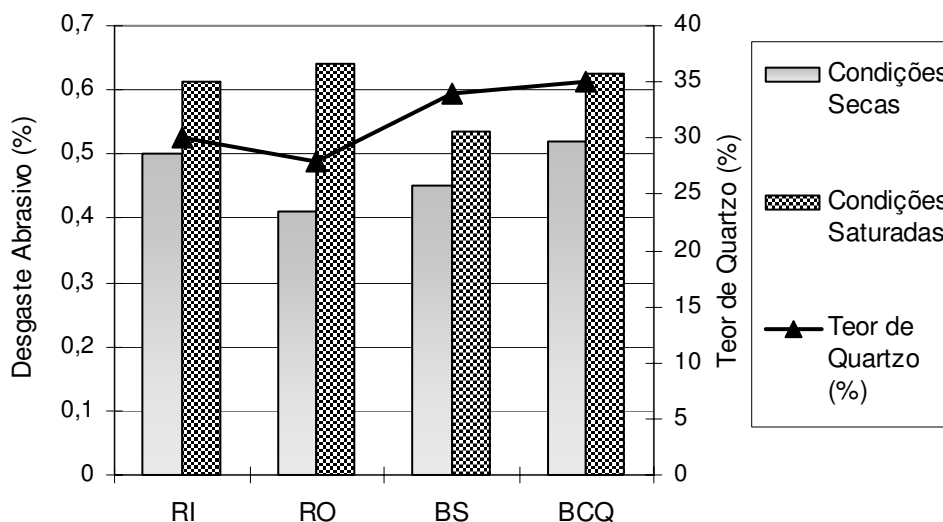


Figura 8.6 – Valores de desgaste em milímetros nos quatro tipos graníticos sob condições secas e saturadas, associados ao teor de quartzo das amostras. Legenda: RI: Rosa Iracema, RO: Rosa Olinda, BS: Branco Savana, BCQ: Branco Cristal Quartzito.

Os resultados dos ensaios revelam números abaixo dos limites máximos aceitáveis de padrões de qualidade para os quatro tipos graníticos e apresentam valores relativamente díspares entre si. Uma análise da Figura 8.6 permite avaliar o comportamento das amostras ensaiadas. No estado seco os granitos Rosa Olinda, Rosa Iracema e Branco Cristal Quartzito exibem desgaste abrasivo mais acentuado provavelmente devido aos maiores índices de minerais de alteração nos dois últimos (clorita, muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos, óxido/hidróxido de ferro), além do índice maior de feldspatos e micas nos rosas (Olinda e Iracema). O granito Branco Cristal Quartzito mostra, ainda, suas superfícies polidas salpicadas por pequenas manchas avermelhadas dadas por óxidos de ferro, o que indica início de efeitos intempéricos iniciais sobre suas superfícies analisadas. O granito Branco Savana mostrou-se mais resistente ao atrito pelo seu grau de alterabilidade relativamente menor e principalmente devido à textura que apresenta granulação de menores dimensões, além do elevado teor de quartzo neste granito. O menor desgaste do Rosa Iracema, apesar de sua granulação grossa, deve-se provavelmente a sua maior coesão caracterizada pelo seu melhor engrenamento mineral devido ao maior teor de quartzo (em relação ao Rosa Olinda) com textura intersticial englobando agregados de biotitas e de cristais de plagioclásio (conforme Capítulo 6).

Em termos gerais, os resultados indicam que o desgaste para os granitos da Serra do Barriga não diferem muito entre si no estado seco, já para as amostras saturadas em água os valores variam entre 0,54 e 0,64mm, cuja disparidade ocorre no granito Rosa Olinda, com desgaste mais elevado.

A saturação das rochas de modo geral impõe menor resistência à abrasão e está associada à porosidade e permeabilidade destas. O Rosa Iracema e o Rosa Olinda apresentam queda na resistência à abrasão após a saturação em água de 20%, visto que são rochas com maior proporção de micas (biotita e clorita) que, por terem hábito placóide, podem quando saturadas reduzir a resistência à abrasão destas rochas. No Branco Savana e no Branco Cristal Quartzito a redução da resistência à abrasão está em 17% e 16%, respectivamente.

Como o valor do desgaste abrasivo possui uma relação inversamente proporcional ao teor de quartzo e direta para feldspato, esta relação apresenta-se coerente para os quatro tipos graníticos aqui analisados, como representado no gráfico da figura 8.6.

Os resultados dos ensaios de desgaste por atrito indicam que o fácies mais resistente é o Branco Savana tanto sob condições secas e quanto saturadas. Isto se deve à sua granulação que varia entre média a grossa, portanto mais fina que nos demais tipos estudados, bem como pelo seu teor relativamente alto de quartzo. O tipo Branco Cristal Quartzito, embora possua maior teor de quartzo, apresenta também uma quantidade mais elevada de minerais de alteração como mica branca, sericita, carbonatos e argilo-minerais, e discretos sinais de efeitos intempéricos denotados pela presença de pontos avermelhados oriundos da oxidação do ferro, que no conjunto reduzem de forma geral a dureza da rocha (Figura 8.6).

O granito Rosa Iracema possui em torno de 60% de feldspatos (potássico e plagioclásio), 6% de biotita e 2% de minerais de alteração (clorita, muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos, óxido/hidróxido de ferro) o que justifica o maior desgaste desta rocha. Além disto, a granulação dos feldspatos atinge tamanhos de até 40 mm. O granito Rosa Olinda embora possua 58% de feldspato, dos quais 20% são fenocristais de feldspato potássico, mostra maior entrelaçamento e menor grau de alteração mineral, que poderá imprimir uma maior resistência à abrasão, comparada ao granito Branco Savana (Quadro 6.1 e Figura 8.6).

Analisando-se os tipos graníticos cearenses, através dos dados publicados dos granitos no Catálogo de Rochas Ornamentais do Ceará (SECITECE, 2002), foi possível determinar uma média de desgaste abrasivo visando comparar os granitos da Serra do Barriga com a média dos granitos cearenses que atingiu 0,82 mm, o que permite afirmar que os granitos pesquisados estão abaixo desta média obtida.

Pode-se considerar que todos os quatro tipos graníticos são excelentes para o uso como revestimento em pisos de alto tráfego, mesmo quando saturadas em água estas rochas apresentam pequena redução da resistência à abrasão, visto que o maior valor de abrasão encontrado está 56% acima do limite máximo sugerido para as rochas graníticas, o que permite considerá-las como granitos adequados também para o uso em ambientes exteriores de alto tráfego.

8.6 RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO

Este ensaio visa à simulação de queda de objetos pesados nos materiais pétreos em diferentes situações. Trata-se de um ensaio importante para a avaliação da resistência de rochas destinadas ao revestimento de interiores e exteriores, bem como para soleiras, degraus, mesas, balcões e pias. Quanto menores os valores encontrados, menos resistente ao choque é a rocha, tornando imprescindíveis cuidados extras no transporte e em relação aos ambientes de aplicação.

As condições mínimas em relação à resistência ao impacto de corpo duro para rochas ornamentais e de revestimento sugeridas por Frazão & Farjallat (1995), é que as mesmas suportem impactos de uma esfera de aço de 1 kg através de queda livre de uma altura igual ou superior a 40 cm (quadro 8.1).

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência ao impacto dos quatro tipos graníticos encontram-se no Quadro 8.2. As planilhas com os dados completos estão disponíveis nos Anexos 7 a 10. Para um melhor entendimento do comportamento das amostras ensaiadas, os valores da resistência ao impacto foram correlacionados com o índice de microfissuras/mm² apresentados pelas respectivas rochas e estão representados graficamente na figura 8.7.

Os quatro tipos graníticos analisados apresentam valores mínimos e máximos de resistência ao impacto entre 23 e 38% acima do limite mínimo sugerido por Frazão & Farjallat (1995). De modo geral os resultados exibidos pelos granitos ensaiados não apresentam grande disparidade entre si, com variações máximas de 20% entre os valores menos elevados e os mais elevados (51,7 a 65 cm). As maiores capacidades de suportar ação mecânica instantânea pertencem aos granitos Rosa Iracema e Branco Cristal Quartzo, e a menor ao granito Rosa Olinda.

Com exceção do tipo granítico Rosa Iracema, que teve sua resistência ao impacto reduzida em torno de 14% após sofrer saturação em água, os demais não evidenciaram maiores diferenças entre condições seca e saturada. Apesar do enfraquecimento do granito Rosa Iracema causado pela saturação, a sua resistência permaneceu 23% acima dos valores considerados aceitáveis. Destaca-se que o enfraquecimento hidráulico deste granito com relação a resistência à compressão uniaxial se dá praticamente na mesma proporção, ou seja, ao redor de 16%. Este comportamento apresentado pelo granito pode estar relacionado com seus índices de porosidade, absorção d'água e grau de microfissuramento, considerados relativamente elevados neste tipo petrográfico. Também a sua composição mineralógica, rica em feldspatos (potássico e plagioclásio) e em biotita, minerais estes com alteração moderada, materializada por argilominerais, óxidos/ hidróxidos de ferro, sericita e mica branca, sob saturação em água poderia tornar a rocha mais branda.

A resistência da rocha ao impacto está diretamente associada às suas propriedades petrográficas. Assim, os tipos graníticos Rosa Iracema e Branco Cristal Quartzo, os quais apesar de apresentarem texturas inequigranulares grossa, se caracterizam por um bom grau de entrelaçamento mineral representados, respectivamente, por cerca de 76 e 79% de contatos minerais imbricados, presença de grãos de quartzo intersticial com feições de dissolução e de feldspatos com bordas irregulares por efeitos de corrosão magmática/submagmáticas responsáveis por evidente engrenamento com os demais minerais.

A menor absorção e porosidade e maior resistência à compressão uniaxial registradas no granito Branco Cristal Quartzo são parâmetros que podem contribuir para uma maior resistência ao fraturamento por impacto.

O grau de microfissuramento é outro parâmetro que gera grande influência nos resultados destes ensaios. Corroborando com esta premissa, o granito Branco Savana, que exibe o maior número de microfissuras por milímetro quadrado, apresenta a segunda menor resistência ao impacto. O granito Rosa Olinda com a menor resistência, apresenta a maior porcentagem de microfissuras do tipo intergãos (médias e longas), entre os quatro granitos. Este granito possui ainda, textura porfírica com cerca de 20% de fenocristais de feldspato potássico, com uma energia de crescimento muito baixa. Quando este mineral se desenvolve em grandes tamanhos, apresenta uma estrutura cristalina mais aberta, com maclas, pertitas e descontinuidades físicas. Além disso, a maior porcentagem de fenocristais lhe confere maior incidência de contatos planos (em torno de 23%). Todos estes fatores somados imprimem maior fragilidade à rocha que induz a maior probabilidade de quebra da placa.

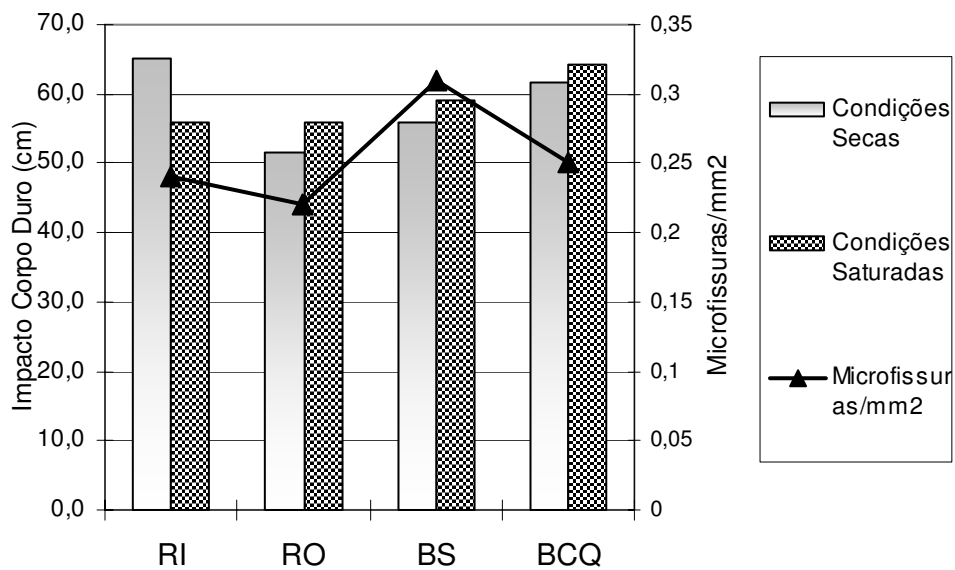


Figura 8.7 – Valores de resistência ao impacto de corpo duro dos quatro tipos graníticos ornamentais da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas. Legenda: RI - Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS - Branco Savana, BCQ - Branco Cristal Quartzo.

Este ensaio permite considerar que todos os quatro tipos graníticos são adequados para o uso como revestimento tanto em pavimentos normais como suspensos, podendo ainda serem utilizados como mesas, bancadas, pias e outros tipos de aplicações com possíveis atividades de impacto brusco. São considerados granitos de excelente qualidade, pois apresentam valores de resistência ao impacto entre 23 a 38% acima do limite mínimo determinado. A influência da saturação não gera queda na resistência abaixo deste intervalo, o que pode considerá-los granitos excelentes também para o uso em ambientes úmidos, inclusive o granito Rosa Iracema, cuja maior queda da resistência nestas situações, ainda mostra índices acima dos valores considerados aceitáveis.

8.7 COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR

A determinação da dilatação térmica linear está fundamentada na variação de volume que a rocha sofre quando submetida às oscilações de temperatura, podendo dilatar ou contrair. Embora este fenômeno se manifeste tridimensionalmente, a medida é feita de forma linear e expressa através do coeficiente de dilatação térmica (β). Este coeficiente é utilizado para cálculos no dimensionamento das juntas de dilatação de placas, painéis e ladrilhos de rochas ornamentais, interferindo, inclusive na escolha do processo de ancoragem das placas.

Este ensaio é especialmente indicado para materiais rochosos utilizados como revestimentos de fachadas ou pisos externos expostos à ação direta do sol, situações de intenso calor ou sujeitas a grandes oscilações de temperatura, como no caso de climas temperados.

Lima (2002) considera que a dilatação térmica é um dos fatores de deterioração da rocha mais influentes. Por se tratarem de materiais com baixa condutividade térmica, as rochas sofrem alteração térmica mais intensa na superfície que no interior, desenvolvendo tensões diversas que provocam fendilhamentos. Nas rochas a dilatação térmica depende da composição mineralógica (principalmente do conteúdo de quartzo para o caso de granitos) e ou da estrutura dos minerais. Porém, ainda é influenciada por outros fatores petrográficos tais como pela porosidade, tamanho dos cristais, relações de contatos minerais e anisotropia estrutural da rocha.

Sabe-se que a dilatação térmica linear decresce com o aumento da porosidade, pois espaços vazios entre os minerais conduzem à redução do módulo de elasticidade. Rochas com elevado microfissuramento apresentam valores menores de β . Quanto maior a granulação de um granito, menor será a sua dilatação térmica. Segundo Lima (2002), em rochas com um incremento de 5% no conteúdo de quartzo, o coeficiente de dilatação térmica linear aumenta em 16%. A redução no tamanho dos cristais aumenta o coeficiente de dilatação térmica linear entre 2 a 6%. Um aumento de 1% na porosidade pode gerar uma redução média do coeficiente de dilatação térmica linear de 27,5%.

Para um melhor entendimento do comportamento do coeficiente de dilatação térmica dos granitos estudados foram confeccionados dois corpos-de-prova com eixos perpendiculares entre si para cada amostra, sendo um dos eixos normal ao plano de corrida da rocha e o outro em um dos planos paralelos à corrida. Destaca-se que a determinação dos planos de corrida das amostras estudadas foi obtida com ajuda dos funcionários da empresa que atuam diretamente na extração dos blocos nas frentes de lavra da jazida.

Os resultados obtidos nos ensaios de coeficiente de dilatação térmica linear realizados nos quatro tipos graníticos estudados encontram-se nos Quadros 8.2 e 8.8. e representados graficamente na Figura 8.8. As planilhas com os dados completos estão disponíveis nos Anexos 7 a 10. Os dados de dilatação térmica obtidos foram correlacionados com a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas determinadas em corpos-de-prova no estado saturado antes e após os ensaios de dilatação nas mesmas amostras e estão esquematizados na figura 8.8.

Quadro 8.8 – Valores médios de dilatação térmica linear e velocidade de pulso ultra-sônico paralelo e perpendicular à corrida dos granitos ornamentais da Serra do Barriga.

Ensaio / Orientação dos corpos-de-prova		ROSA IRACEMA	ROSA OLINDA	BRANCO SAVANA	BRANCO CRISTAL QUARTZO.
Dilatação térmica linear (10^{-3} mm/m°C)	⊥ à corrida	6,2	7,6	7,8	5,5
	// à corrida	5,7	5,5	5,5	5,1
Velocidade de pulso ultra-sônico antes do ensaio (m/s)	⊥ à corrida	5123	5997	5566	5253
	// à corrida	5436	6134	5340	5569
Velocidade de pulso ultra-sônico após o ensaio (m/s)	⊥ à corrida	5243	5918	5398	5477
	// à corrida	5308	6051	5277	5501

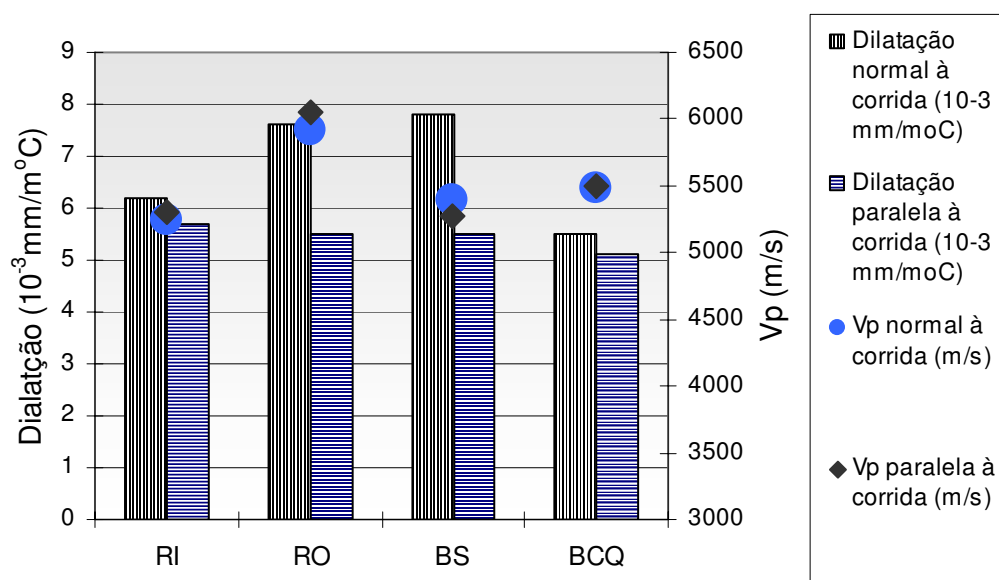


Figura 8.8 – Valores de dilatação térmica linear dos quatro tipos de granitos ornamentais da Serra do Barriga correlacionado com valores de velocidade de pulso ultra-sônico segundo direções perpendiculares e paralelas à corrida da rocha após o ensaio de dilatação. Legenda: RI - Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS - Branco Savana, BCQ - Branco Cristal Quartzito.

Os resultados de dilatação térmica linear nas amostras analisadas apresentam os maiores valores, e com certa variação, ao longo do sentido normal à corrida da rocha (entre 7,8 a $5,5 \times 10^{-3}$ mm/m°C), e se mantém praticamente constantes segundo os planos paralelos à corrida da rocha (entre 5,7 e $5,5 \times 10^{-3}$ mm/m°C). As diferenças dos valores dos coeficientes de dilatação térmica linear entre os planos normais e paralelos à corrida para os granitos Rosa Iracema, Rosa Olinda e Branco Savana, indicam a existência de certa anisotropia destas rochas. Esta diferença entre os valores do coeficiente de dilatação

normais e paralelos à corrida da rocha, mais expressiva para os granitos Rosa Olinda e Branco Savana, deve refletir uma discreta tendência preferencial na orientação dos cristais de quartzo, já que este mineral apresenta uma dilatação cerca de 50% superior segundo seu eixo cristalográfico *c* em relação ao *a*. Por outro lado, os valores similares dos coeficientes de dilatação fornecidos pelo Branco Cristal Quartzo indicam que este granito se comporta como uma rocha praticamente isotrópica.

Comparando-se os valores de coeficiente de dilatação térmica para rochas graníticas encontrados na literatura, entre 6 e $9 \times 10^{-3} \text{mm/m}^{\circ}\text{C}$, (Rzhevsky & Novik, ano; *apud Meyer*, 2003) com os coeficientes obtidos nos quatro tipos graníticos, pode-se deduzir que o tipo Branco Cristal Quartzo apresenta valores consideravelmente baixos, provavelmente devidos a sua natureza estrutural isotrópica, situação em que os cristais de quartzo exibem orientação caótica, bem como pelo grau de alteração dos feldspatos, entre moderado a alto, que geram cerca 2,5% do volume da rocha em minerais secundários representados por sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos, óxidos e hidróxidos de ferro.

Os valores mais baixos ($6,2$ e $5,7 \times 10^{-3} \text{mm/m}^{\circ}\text{C}$) fornecidos pelo granito Rosa Iracema, quando comparados aos valores dos granitos Rosa Olinda e Branco Savana, pode refletir o seu menor teor em quartzo e à freqüente presença de grandes cristais de microclínio que podem atingir até cerca de 40 mm ao longo de seu maior eixo, com evidentes planos de clivagens relativamente abertos e, por vezes, com moderada transformação parcial para argilominerais e sericita.

O coeficiente de $7,8 \times 10^{-3} \text{mm/m}^{\circ}\text{C}$ obtidos no granito Branco Savana pode ser considerado elevado em relação às demais amostras ensaiadas, mas está dentro dos índices apresentados para outros granitos brasileiros descritos na literatura. Este valor pode estar relacionado ao seu maior teor de quartzo em relação aos granitos rosas com incremento em torno de 7%, além de apresentar granulação relativamente menor e não exibir grandes efeitos de alterações minerais, quando comparado com o granito Branco Cristal Quartzo. Por sua vez, este apresenta granulação mais grosseira que o Branco Savana, além de exibir pontos de oxidação mais evidentes e cristais de microclínio mais desenvolvidos.

A velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas permite avaliar a sanidade da rocha, sendo que estes valores são ainda influenciados pela coesão, grau de alteração, textura, porosidade e presença ou não de água nos poros das rochas.

Os valores de velocidade de pulso de ondas ultra-sônicas determinados antes e após os ensaios de dilatação térmica linear (Figura 8.9) apresentam uma discreta redução da velocidade após a execução dos ensaios de dilatação dos corpos-de-prova dos granitos estudados. Este fato está relacionado à baixa porosidade natural dos materiais estudados e permite considerar, desta forma, que os efeitos ocasionados pela dilatação induzida aos corpos-de-prova não ocasionaram maiores alterações no grau de fissuramento dos minerais.

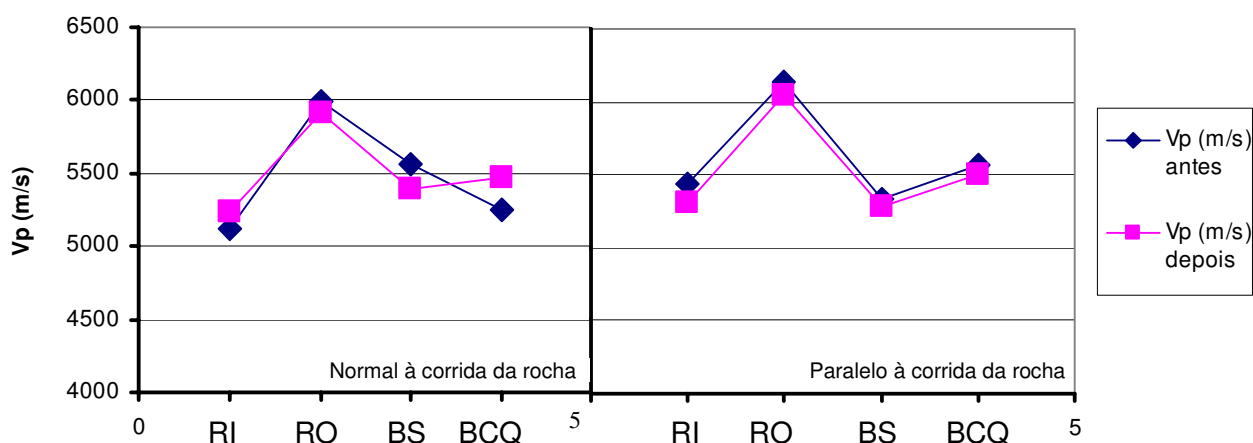


Figura 8.9 - Valores de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas antes e após o ensaio de dilatação térmica linear. Legenda: RI - Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS - Branco Savana, BCQ - Branco Cristal Quartzzo.

Este decréscimo muito sutil em relação às velocidades de propagação de ondas obtidas nas situações pós ensaio de dilatação térmica linear (no sentido paralelo à corrida da rocha) ocorre também devido ao baixo grau de microfissuramento, baixa porosidade e baixa absorção de água das amostras de modo geral, que conduzem ao reduzido “encharcamento” das rochas saturadas. No caso perpendicular (normal) à corrida da rocha, os valores de velocidade não apresentaram um padrão de redução após o ensaio, sendo que mostram-se levemente maiores no Rosa Iracema e no Branco Cristal Quartzzo (figura 8.9).

A velocidade de propagação de ondas mostra uma relação quase direta com o coeficiente de dilatação térmica nos quatro tipos graníticos, associados com outros parâmetros como composição mineralógica, textura, grau de alteração mineral apresentado pelos granitos analisados. As maiores velocidades, que teoricamente se relacionam à rochas com maior integridade física (estado de sanidade, alteração mineral, espaços vazios, poros e microfissuras), se correlacionam com as rochas que apresentam maior coeficiente de dilatação térmica representada nos estudos pelos granitos Rosa Olinda e o Branco Savana.

Pode-se concluir que os granitos da Serra do Barriga, por apresentarem valores bastante inferiores ao valor máximo de $12,0 \times 10^{-3} \text{ mm/m}^\circ \text{ C}$ sugerido por Frazão & Farjallat (1995), representam rochas com coeficiente de dilatação térmica linear satisfatórios e podem ser considerados como granitos de excelente qualidade com variações aceitáveis e normais entre as diferentes direções das rochas analisadas. Neste contexto pode-se recomendar a sua aplicação a revestimentos de paredes e de pisos de interiores e exteriores, mesmo em ambientes com grandes amplitudes térmicas.

8.8 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRA- SÔNICAS

As técnicas de ultra-sons aplicam-se para o estudo da anisotropia, propriedades mecânicas e estrutura do meio, pois a medição dessa velocidade num material rochoso constitui uma forma de investigação complementar aos ensaios de resistência mecânica, tendo a vantagem de não ser destrutivo. De forma geral a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas está diretamente associada com a anisotropia, grau de sanidade e coesão dos minerais, constituindo desta forma, em um importante índice para qualificação e avaliação do comportamento físico-mecânico das rochas.

Torquato *et al.* (2003) demonstram as possibilidades de utilizar o estudo da velocidade de propagação de ondas em algumas rochas graníticas aparentemente isotrópicas visando a determinação de anomalias mineralógicas ou estruturais em escala não visível a olho nu. A velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas por estar condicionada à estrutura, textura, porosidade e presença ou não de água nos poros, permite avaliar as condições de sanidade da rocha.

A velocidade com que as ondas atravessam um corpo rochoso pode variar de acordo com a composição mineralógica, textura da rocha, anisotropia estrutural da rocha, tamanho e morfologia dos grãos, do conteúdo dos fluidos e da presença de vazios. Esta correlação permite avaliar indiretamente vários parâmetros físicos e mecânicos das rochas, tais como densidade, porosidade, absorção d'água, grau de alteração, entre outros.

A determinação da velocidade de propagação de ondas por ser um ensaio não destrutivo é muito utilizado em estudos de conservação de edifícios e monumentos históricos. Diversos estudos de alteração e alterabilidade em rochas vêm sendo realizados com a utilização de ondas ultra-sônicas, como o de Velho *et al* (1998) sobre a avaliação de diferentes tipos de porosidade em rochas com envelhecimento acelerado utilizando ondas ultra-sônicas, e o de Dearman *et al* (1987) sobre a alteração hidrotermal em um corpo

rochoso com diferentes respostas de ondas ultra-sônicas de acordo com o maior ou menor grau de alteração do corpo litológico.

Frazão & Farjallat (1995) sugerem um valor limite aceitável da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas para rochas ornamentais como sendo superior ou igual a 4000 m/s. Todas as amostras ensaiadas dos quatro tipos graníticos apresentaram valores acima dos limites especificados.

Os valores de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas medidos nas amostras preparadas para os ensaios de resistência à compressão uniaxial, flexão 3 pontos, flexão 4 pontos estão relacionadas no quadro 8.2 e 8.7 e estão representados graficamente na figura 8.10. As planilhas com os dados completos medidos em cada corpo-de-prova estão disponíveis nos Anexos 7 a 10.

O gráfico da figura 8.10 indica uma boa correlação entre os valores de propagação de ondas obtidos nas amostras preparadas para os três tipos de ensaios, que apesar de apresentarem dimensões diferentes, não mostram disparidade significativa nos valores de velocidade entre si. Ou seja, todas os quatro tipos graníticos apresentaram valores de velocidade maiores nas amostras utilizadas para compressão uniaxial, intermediários nas de flexão 3 pontos e menores para flexão 4 pontos.

Quadro 8.9 – Velocidades médias de propagação de ondas ultra-sônicas (Vp) medidas nas amostras submetidas aos ensaios de resistência à compressão uniaxial, flexão 3 pontos, flexão 4 pontos.

Ensaio/Amostra		ROSA IRACEMA	ROSA OLINDA	BRANCO SAVANA	BRANCO CRISTAL QUARTZO.
Vp em corpos-de-prova para compressão uniaxial (m/s)	Seco	4781	4918	4732	4448
	Saturado	6003	5564	5513	5532
Vp em corpos-de-prova p/ flexão 3 pontos (m/s)	Seco	4245	4841	4312	4047
	Saturado	5436	5721	5218	4881
Vp em corpos-de-prova para flexão 4 pontos (m/s)	Seco	4170	4666	3610	3837
	Saturado	5063	5497	4255	4601

Analisando-se o quadro 8.9, percebe-se que todas os quatro tipos petrográficos do *stock* granítico Serra do Barriga mostram velocidades maiores para as amostras saturadas, com índices entre 15 a 25% acima dos valores das amostras secas. Este aumento ocorre porque a amostra submetida à saturação em água por mais de 24 horas passa a ter seus poros e espaços vazios preenchidos, acelerando a velocidade de propagação de ondas, o que não significa maior integridade da rocha.

Não foi observada uma correlação entre a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas medidas através das amostras saturadas e resistência à compressão ou à flexão obtidas em amostras também saturadas. Isto ocorre devido à saturação em água acarretar uma redução da resistência da rocha, ao mesmo tempo em que gera uma aceleração da velocidade das ondas, motivo pelo qual a avaliação de integridade da rocha com este método de velocidade de propagação de ondas deve ser realizada utilizando-se corpos de prova na condição seca.

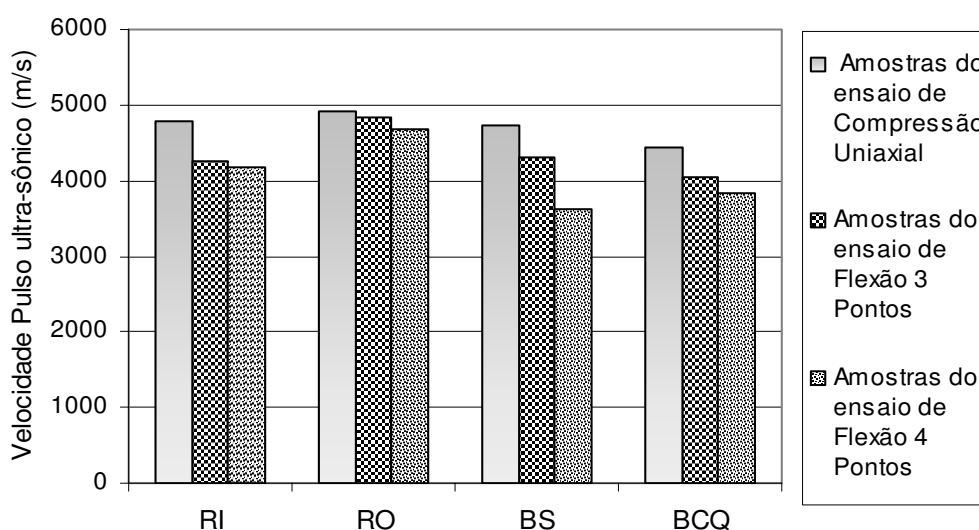


Figura 8.10 - Valores de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas dos quatro tipos graníticos ornamentais da Serra do Barriga sob condição seca obtidas nas amostras submetidas aos ensaios de compressão uniaxial, flexão 3 pontos e flexão 4 pontos. Legenda: RI – Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS – Branco Savana, BCQ – Branco Cristal Quartzo.

É sabido que quanto maior o volume do corpo-de-prova ensaiado, a precisão dos resultados de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas torna-se maior, portanto optou-se aqui por analisar somente os valores das amostras preparadas para o ensaio de flexão 3 pontos, de dimensões maiores.

Analisando-se a Figura 8.11 nota-se que o valor maior (Rosa Olinda) difere em torno de 16% acima do menor (Branco Cristal Quartzo). Esta diferença, apesar de discreta, revela certa heterogeneidade entre os quatro tipos graníticos pertencentes ao mesmo maciço da Serra do Barriga. A maior velocidade de propagação de ondas encontrada no granito Rosa Olinda ocorre devido à maior massa específica, refletida pela composição mineralógica mais rica em minerais máficos como biotita, clorita, allanita e titanita. Estas mesmas características são encontradas no tipo granítico Rosa Iracema, porém este apresenta grau de alteração e minerais de alteração mais elevados que o tipo Rosa Olinda, causando menor velocidade. Contudo, a velocidade mais baixa, encontrada no granito

Branco Cristal Quartzo, está associada à sua maior proporção de quartzo com granulação grossa, além da forte presença de minerais de alteração, como micas, sericita e argilominerais e menor de minerais máficos e densos, sobretudo o tipo Branco Cristal Quartzo.

No granito Branco Savana, o seu estado microfissural maior não gera influência sobre a velocidade de propagação de ondas, além disto, este granito mostra uma textura mais fina e homogênea em comparação ao tipo Branco Cristal. Este tipo granítico apresenta os menores valores de velocidade devido à sua composição mineralógica que além de 35% de quartzo, apresenta também em torno de 2,5% de minerais de alteração, como clorita, muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonato, que tornam o trajeto do pulso ultra-sônico mais lento.

A velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, apresenta uma correlação diretamente proporcional com a resistência à tração 3 pontos e 4 pontos, validando a utilização das velocidades de ondas ultra-sônicas na avaliação da qualidade das rochas analisadas. Esta relação confirma que os fácies rosas (Rosa Iracema e Rosa Olinda), são os tipos graníticos com maior massa específica, mais resistentes à flexão e menos alterados (Figuras 8.1, 8.4 e 8.5).

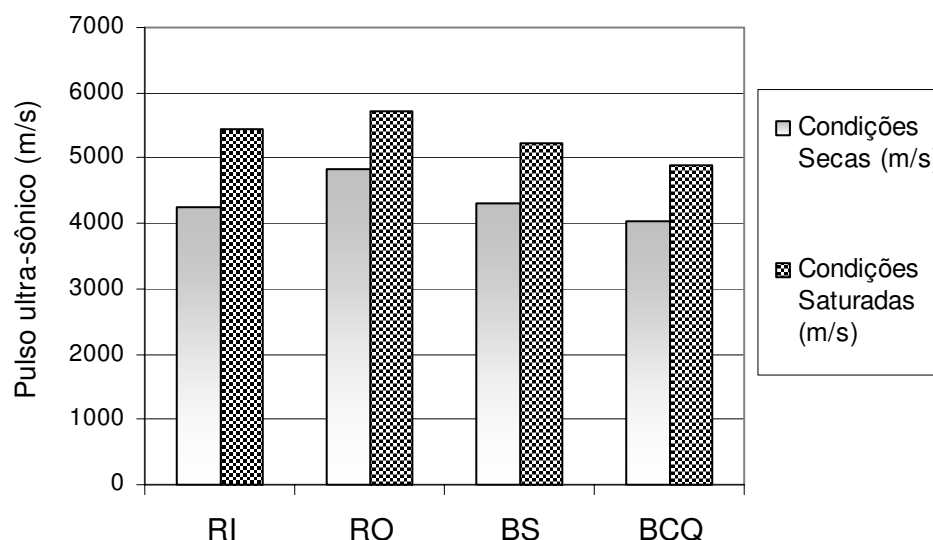


Figura 8.11 - Valores de velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas dos quatro tipos graníticos ornamentais da Serra do Barriga sob condições secas e saturadas. Legenda: RI – Rosa Iracema, RO - Rosa Olinda, BS – Branco Savana, BCQ – Branco Cristal Quartzo.

Os valores de velocidade de propagação de ondas obtidos para os granitos Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana e Branco Cristal Quartzito, permitem posicioná-los razoavelmente acima e muito próximos da média das rochas brasileiras sugeridos por Frazão & Farjallat (1995). Pode-se definir que os granitos da Serra do Barriga por apresentam valores relativamente homogêneos entre si, mostram de modo geral um reduzido grau de alteração e boa integridade física, sobretudo os granitos rosas Olinda e Iracema.

8.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados obtidos nos ensaios realizados, todos os quatro tipos graníticos ornamentais do stock Serra do Barriga são recomendados para serem utilizados como revestimentos tanto em ambientes internos como externos. Porém, deve-se ter um cuidado maior na definição da espessura das placas quando aplicadas em fachadas suspensas, especialmente nos tipos Branco Savana e Branco Cristal Quartzito, pois apresentaram índices de flexão pelo método 4 pontos, abaixo dos índices máximos definidos sugeridos. Dos granitos estudados, os tipos com melhor desempenho para aplicação como revestimento em fachadas de edifícios são os granitos Rosa Olinda e Rosa Iracema, devido aos seus índices de resistência à flexão e pelos seus respectivos coeficientes de dilatação térmica linear.

O granito Branco Savana apresenta menor massa específica, maior absorção e porosidade e conseqüentemente menor resistência à flexão, porém não possui menor resistência à compressão. Isto evidencia que a correlação entre os índices físicos e os resultados dos ensaios mecânicos nem sempre é direta e neste granito ocorre em função da composição mineralógica, rica em minerais de alteração, como fluorita, titanita, mica branca e argilo minerais; do grau de fissuramento mais elevado (31%) e ainda da maior dilatação térmica linear com velocidade de propagação de ondas mais baixa.

Como mostrado nas figuras 8.3, 8.4 e 8.5, os granitos rosas são mais resistentes à flexão, enquanto que os brancos são mais resistentes à compressão. Não há uma correlação direta entre os valores de compressão e de flexões para as rochas estudadas, como ocorre em rochas homogêneas, equigranulares, de granulação média a fina. Este fato reflete a heterogeneidade das rochas ensaiadas que são grosseiras e inequigranulares, com porções megaporfíricas, incluindo ainda a ocorrência de minerais de alterações pós-magmáticos nos granitos brancos.

De acordo com Artur *et al.* (2001), algumas correlações entre dados petrográficos e valores físico-mecânicos são diretas e evidentes. Inclui-se nesta categoria o grau de microfissuramento em relação às porcentagens de porosidade e absorção d'água das rochas e a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas que se propagam mais rapidamente em rochas menos alteradas, com maior massa específica e melhor entrelaçamento mineralógico. Outra correlação importante neste trabalho foi a resistência ao desgaste abrasivo com a concentração de quartzo na rocha. Foi possível também a inter-relação do índice de coloração das rochas com a massa específica aparente, pois a densidade da rocha é diretamente proporcional ao índice de minerais máficos presentes.

CAPÍTULO 9. RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

9.1 INTRODUÇÃO

O crescimento no emprego de rochas ornamentais tem demandado conhecimentos técnicos sobre o desempenho destes materiais frente às solicitações a que são submetidos ao longo do tempo. O entendimento das propriedades químico-mineralógicas das rochas é de grande importância na prevenção de patologias associadas à alteração destes materiais.

A alteração de uma rocha, segundo Aires Barros (1991) é a sua desagregação e decomposição levadas a cabo por agentes físicos e químicos naturais, que transformam essa rocha em outro produto natural, em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente; sendo que alterabilidade é um conceito dinâmico que se refere à aptidão de uma rocha para se alterar. Para o ensaio de resistência ao ataque químico das rochas são necessárias simulações dos ambientes agressivos em escala de tempo humano, já que as alterações, fenômenos naturais de degradação das rochas processam-se em escala geológica.

O ensaio de resistência ao ataque químico apresenta-se como mais uma ferramenta que permite avaliar a alterabilidade das rochas. Consiste na aplicação de substâncias químicas na superfície polida da rocha simulando em velocidade acelerada os efeitos causados pelos produtos de limpeza ou encontrados em substâncias orgânicas naturais (Quadro 9.1).

Assim, este ensaio simula os efeitos de substâncias químicas presentes nos produtos de limpeza doméstica (detergentes, sabões, água sanitária e desinfetantes), de sucos de frutas cítricas, no tratamento de águas de piscinas, entre outros, que visam avaliar o tipo e o grau de alteração sofridos pelas rochas após o contato com estas substâncias em determinado espaço de tempo.

O grau de resistência química de uma rocha quando submetida ao contato com substâncias agressivas é determinado pelas variações composicionais (porções mais enriquecidas em quartzo, em feldspatos, ou em minerais máficos); variações texturais (trama, granulação, tipos de contatos); grau de alteração, grau de microfissuramento absorção, porosidade, entre outros. Um mesmo tipo granítico responde de forma diferente ao ataque de uma determinada substância em função destas heterogeneidades petrográficas em sua superfície polida.

Mesquita (2002) avalia a alterabilidade a partir do estudo do aumento de vazios (microfissuras) e alteração através de estudos micropetrográficos, modificações na porosidade e permeabilidade ao longo do tempo em que o material é exposto às intempéries, além da perda de cátions por percolação de fluídos.

Dentre os vários ensaios que simulam envelhecimento acelerado de rochas utilizadas como materiais para revestimentos, na presente pesquisa optou-se pela realização do ensaio de alterabilidade química que simula o envelhecimento a partir de substâncias utilizadas na limpeza e conservação dos materiais pétreos após sua aplicação. Para tanto foram utilizados reagentes químicos diluídos que geralmente estão presentes na composição dos produtos de limpeza ou encontrados em substâncias orgânicas naturais (Quadro 9.1). Estes agentes foram aplicados diretamente sobre a superfície polida das placas.

Estes ensaios foram realizados utilizando-se como referência a Norma NBR 13818 anexo H (ABNT, 1997) aplicada para placas cerâmicas esmaltadas, que foi submetida à algumas modificações e adaptações para a realização em rochas, conforme descrito no capítulo 2 - Materiais e Métodos.

Quadro 9.1 - Classes de reagentes, fórmula química, produtos que contém os reagentes, concentrações e tempo de ataque do ensaio de alterabilidade, segundo a norma NBR 13818 anexo H (ABNT, 1997).

PRODUTOS QUE CONTÉM OS REAGENTES	AGENTES AGRESSIVOS	FÓRMULA QUÍMICA	CONCEN TRAÇÃO	TEMPO DE ATAQUE
Produtos químicos domésticos como detergentes e sabões	Cloreto de Amônia	NH ₄ Cl	100g/l	24 horas
Produtos para tratamento de água de piscina, água sanitária e produtos anti-mofo	Hipoclorito de Sódio	NaClO	20g/l	24 horas
Sucos de frutas cítricas, vinagre e refrigerantes	Ácido Cítrico	C ₆ H ₈ O ₇	100g/l	24 horas
Ácido Muriático	Ácido Clorídrico	HCl	3% (v/v)	96 horas
Sabões em geral	Hidróxido de Potássio	KOH	30g/l	96 horas

Em termos gerais os granitos aqui estudados correspondem a rochas sãs, cujas alterações referem-se basicamente a discretos efeitos hidrotermais deutéricos observáveis a nível microscópico tais como sericitização do feldspato potássico, moderada saussuritização de cristais de plagioclásio, cloritização e muscovitização de biotitas e, por vezes, sinais de argilomineralizações de feldspatos e de liberação de óxidos e hidróxidos de ferro associados aos minerais ferromagnesianos, conforme caracterização petrográfica dos granitos estudados apresentada no Capítulo 6. Raros casos de observações macroscópicas da presença de manchas ferruginosas, geralmente associadas a concentrações biotíticas e por vezes sobre cristais de feldspato potássico, restringem-se aos materiais provenientes de matações ou de níveis superficiais das frentes de lavras.

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados de resistência ao ataque químico fornecidas pelos quatro tipos graníticos ornamentais do stock Serra do Barriga através da determinação de perda de brilho, das alterações cromáticas exibidas, corrosão e alterações minerais. Concomitantemente, são analisadas e discutidas as influências dos aspectos petrográficos (aspectos mineralógicos, texturais e estruturais) na resistência da alterabilidade química apresentada pelos quatro tipos graníticos.

Destaca-se que o granito Rosa Iracema, um dos tipos petrográficos estudado na presente pesquisa, foi objeto de estudos de envelhecimento acelerado efetuados por Figueiredo *et al.* (2001). Neste granito foi realizado o ensaio de alteração por fadiga térmica, cuja amostra é submetida a ciclos contínuos por um período de insolação, a cerca de 70°C, seguido de um período de arrefecimento com água desionizada. Como principais resultados demonstraram que o granito Rosa Iracema apresenta sua menor resistência sob imersão em água do mar, a segunda maior é sob água de chuva e a maior é dada sobre o estado seco, sem contato com águas. Estes autores evidenciam a alteração iminente do granito em ambientes externos com regimes pluviais de clima tropical.

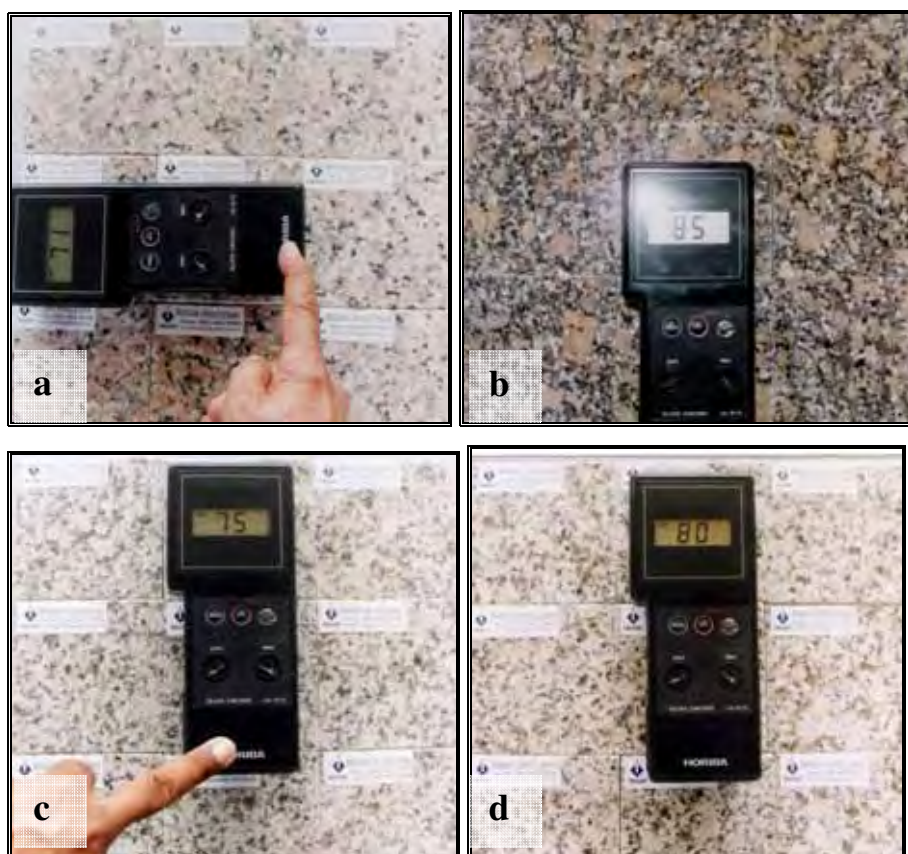
9.2 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS E RESULTADOS OBTIDOS

Para este ensaio foram utilizadas seis placas polidas com formato quadrado, faces de 10 x 10 cm, para cada tipo de granito estudado, sendo que uma delas foi mantida intacta para posterior comparação de sua superfície com a superfície das demais placas atacadas pelos agentes químicos agressivos.

As cinco placas selecionadas de cada tipo granítico foram, inicialmente, submetidas à determinação do brilho de suas superfícies polidas através da média de dez medidas com o aparelho *Gloss Meter*, conforme ilustrado pela Fotografia 9.1. As médias dos valores de brilho obtidas, antes da exposição das placas polidas ao ataque químico, encontram-se listadas no Quadro 9.2.

Quadro 9.2 – Média do brilho das placas polidas dos granitos ornamentais do stock Serra do Barriga *antes* do ataque químico.

Amostra	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Média
Rosa Iracema	65	70	71	73	74	70,6
Rosa Olinda	86	86	88	88	85	86,6
Branco Savana	78	80	76	70	77	76,2
Branco Cristal Quartzo	84	78	79	78	75	78,8



Fotografia 9.1 - Medidas de brilho *antes* do ataque químico nas amostras. (a) Rosa Iracema, (b) Rosa Olinda, (c) Branco Savana e (d) Branco Cristal Quartzo.

Posteriormente às leituras iniciais do brilho de suas superfícies, as placas polidas dos diferentes granitos foram submetidas ao ataque das substâncias químicas utilizadas nos ensaios. Para a viabilização na aplicação dos agentes químicos foram afixados, nas superfícies das placas, tubos de PVC com forma cilíndrica de 8 cm de diâmetro com silicone, verificando-se o grau de vedação dos mesmos através de aplicação de água por algumas horas.

Em seguida foram aplicados os reagentes sobre as placas no interior dos cilindros, tampando-os para evitar evaporação, aguardando o tempo determinado de acordo com o reagente e seu poder de ataque, conforme expresso no Quadro 9.1. A Fotografia 9.2 ilustra a disposição das placas polidas dos quatro tipos graníticos em contato com as cinco diferentes substâncias químicas utilizadas.



Fotografia 9.2 Visão geral das amostras durante o ensaio de ataque químico dos quatro tipos graníticos (dispostos em linhas) em contato com os cinco reagentes (fotografia obtida após 24 horas de ensaio).

Após o tempo de exposição estipulado para cada reagente, procedeu-se a retirada dos cilindros e à lavagem das superfícies das placas atacadas sob água corrente, as quais foram secadas naturalmente e em seguida submetidas a novas medidas de brilho, através de uma média de dez leituras sobre as superfícies atacadas. Os resultados obtidos (brilho final), bem como as médias dos brilhos iniciais e respectivas perdas percentuais após os ataques com os agentes químicos, encontram-se sumarizados no Quadro 9.2. A representação gráfica das perdas de brilho dos granitos ornamentais estudados perante a ação dos diferentes agentes agressivos encontra-se exposta na Figura 9.1.

Quadro 9.3 - Medida de brilho antes e após o ataque químico e correspondentes porcentagens de perda de brilho para os granitos estudados.

Amostras Reagentes	Rosa Iracema			Rosa Olinda			Branco Savana			Branco Cristal Quartzo		
	Brilho inicial	Brilho final	Perda de Brilho	Brilho inicial	Brilho final	Perda de Brilho	Brilho inicial	Brilho final	Perda de Brilho	Brilho inicial	Brilho final	Perda de Brilho
NH ₄ Cl Cloreto de Amônia	65	53	18%	86	79	9%	78	72	8%	84	75	11%
NaClO Hipoclorito de Sódio	70	63	9%	86	79	9%	80	75	6%	78	71	9%
C ₆ H ₈ O ₇ Ácido Cítrico	71	59	17%	88	75	15%	76	65	14%	79	64	19%
HCl Ácido Clorídrico	73	60	18%	88	75	15%	70	63	10%	78	70	10%
KOH Hidróxido de Potássio	74	66	11%	85	74	13%	77	69	10%	75	68	9%

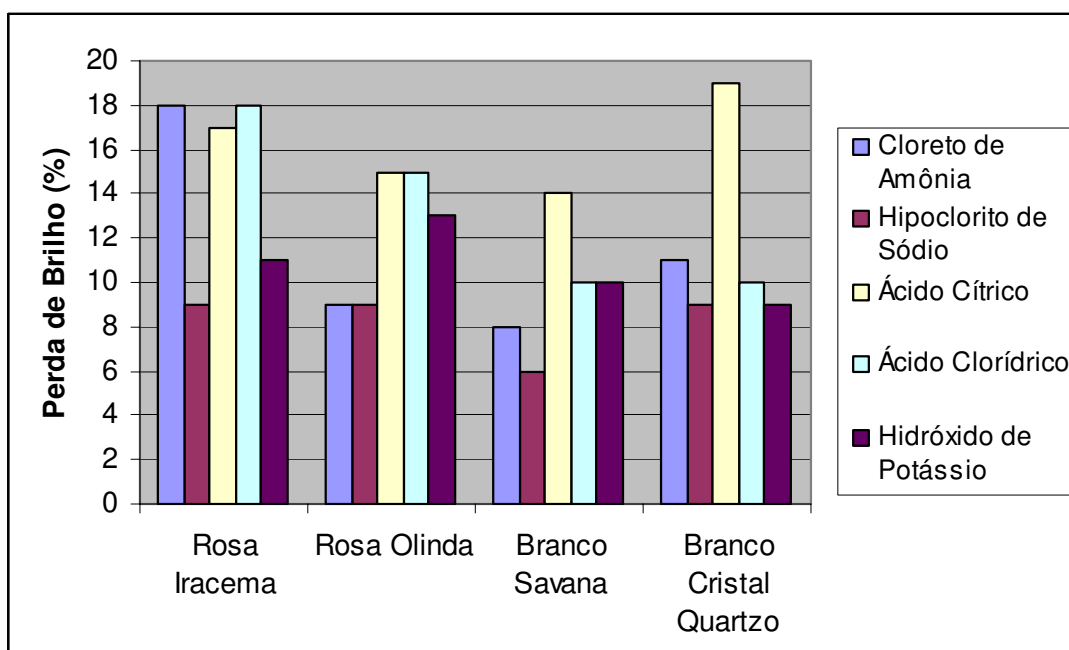


Figura 9.1 - Correlação da perda de brilho pelo ataque químico nos quatro tipos graníticos estudados.

O brilho ou polimento é uma das propriedades que imprimem qualidade e beleza à rocha ornamental e sua redução ou ausência ao longo do uso da rocha se reflete em uma patologia. A causa da redução de brilho durante o uso de uma rocha geralmente ocorre por desgaste de ordem física ou por efeitos de natureza química. O desgaste físico mais comum em pisos polidos é gerado pelo atrito mecânico, mais propriamente por tráfego intenso.

Dentre as causas de perda de brilho por fatores químicos, existe a alteração natural sobre a rocha em função da sua exposição a climas mais agressivos, como chuva ácida, névoa salina, congelamento de degelo, entre outros. Outra causa importante que gera a perda ou redução de brilho por ação química, é o processo de alteração mineral e deterioração da rocha acelerada pelo uso de produtos de limpeza contendo substâncias químicas agressivas.

A redução do brilho causada pelo contato com substâncias químicas ocorre em função de diferentes parâmetros, como a composição da rocha, presença de microfissuras, natureza do preenchimento dessas microfissuras, grau de absorção de líquidos, porosidade aparente, além do tempo de exposição da rocha ao ataque.

9.3 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS DO ATAQUE QUÍMICO

Os efeitos produzidos pelas substâncias químicas agressivas aplicadas sobre os granitos estudados são analisados com relação à perda de brilho, alterações cromáticas, grau de corrosão e desagregação mineral observadas nas superfícies polidas dos respectivos materiais. A análise dos efeitos produzidos pelos agentes agressivos foi efetuada com auxílio de *Gloss Meter*, para determinação da variação de brilho e através de avaliações visual e com auxílio de lupa binocular das superfícies polidas atacadas. Destaca-se que no caso do ataque com ácido clorídrico foram efetuadas inclusive observações microscópicas de lâminas delgadas de porções das superfícies afetadas.

9.3.1 ATAQUE COM CLORETO DE AMÔNIA - NH₄Cl

Com relação a este reagente, os três tipos graníticos demonstram uma elevada resistência por não apresentarem alterações cromáticas perceptíveis e pela perda de brilho pouco evidente (apresentaram redução de brilho entre 8 e 11%), exceto o granito Rosa Iracema que apresentou perda de brilho absoluto em torno de 18% (Quadro 9.3; Figura 9.1). Este comportamento permite considerar uma resistência química elevada dos granitos sobre a ação do cloreto de amônia, com reservas para o granito Rosa Iracema.

Conforme já citado, a maior perda de brilho ocorre no granito Rosa Iracema ocasionada por alterações nos cristais de biotita e de plagioclásio (Fotografias 1 e 2 - Prancha 9.1). Apesar das alterações cromáticas serem notadas apenas sob observação com lupa, como observado na Prancha 9.1, os granitos rosas (Rosa Iracema e Rosa Olinda) exibem alterações pouco mais evidentes que os granitos brancos (Branco Savana e Branco Cristal Quartzo), que devido sua coloração naturalmente branca são menos realçadas.

Mesmo nos granitos rosas as alterações, de modo geral, são discretas e evidenciadas apenas por nuances esbranquiçadas sobre porções dos cristais de plagioclásio, as quais são mais evidentes próximos aos contatos e ao longo dos planos de clivagens e de microfissuras, devido suas maiores exposições à substância agressiva. Também alguns cristais de biotita mostram-se, por vezes, bordas levemente corroídas e/ou desbotadas com suas inclusões (esfeno, apatita, allanita) substituídas por material de aspecto argiloso de coloração acastanhada. São comuns nos cristais de feldspato potássico, maclas, contatos e fissuras ressaltadas por linhas brancas devido à percolação do cloreto de amônia (Fotografias 1, 2, 3 e 4 - Prancha 9.1).

Os granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) mostram, por sua vez, sob a lupa, pequenos sinais e pontuações avermelhadas sobre cristais de quartzo, de plagioclásio esbranquiçados e nas bordas de lamelas de biotita ou ainda preenchendo fraturas (Fotografias 5, 6, 7 e 8 - Prancha 9.1). Estas resultam da oxidação do ferro contido na biotita, inclusa nos referidos minerais, ou pela percolação do hidróxido de ferro ao longo de microfissuras minerais. Os cristais de plagioclásio, à semelhança dos granitos rosas, também se mostram esbranquiçados, evidenciadas ao longo das maclas e de suas linhas de crescimento. Já a biotita mostra alteração apenas nas inclusões, porém mostra planos de clivagens com evidente preenchimento de material branco resultante da percolação do cloreto de amônia (Fotografia 6 - Prancha 9.1). O mesmo efeito de preenchimento pode ser notado ao longo de algumas microfissuras e contatos de cristais de quartzo, tornando-os mais abertos (Fotografias 7 e 8 - Prancha 9.1).

A aparente maior resistência dos granitos brancos diante do ataque com o cloreto de amônia se deve à coloração mais clara destas rochas e por serem mais enriquecidas em quartzo, cuja perda de brilho absoluto não é evidenciada pela análise visual.

9.3.2 ATAQUE COM HIPOCLORITO DE SÓDIO - NaClO

Os tipos graníticos em contato com este reagente não apresentam alterações cromáticas perceptíveis e comparativamente mostram a menor redução de brilho medida entre os reagentes. Neste ataque a perda de brilho apresentou valores com pouca discrepância, equiparados entre 6 e 9% (Quadro 9.3; Figura 9.1). De modo geral os granitos foram pouco afetados em relação ao ataque com amônia. As alterações ao nível de minerais geradas por este reagente são discretas nos granitos brancos e um pouco mais pronunciadas nos granitos rosas devido à percolação de óxido de ferro (Fotografias 1, 2, 3, e 4 -Prancha 9.2). Estes dados demonstram uma elevada resistência química de todos os quatro granitos sob a ação do hipoclorito de sódio.

Nos granitos rosas observou-se visualmente uma retenção parcial do reagente nas rochas, evidenciado pelo escurecimento total da amostra, causado pela percolação do reagente através das microfissuras e contatos minerais. Depois de um certo tempo este aspecto escurecido desapareceu com a amostra seca. Com auxílio da lupa, é possível evidenciar alterações no plagioclásio formando material de aspecto argiloso branco, inclusive como inclusões no feldspato potássico e na biotita. Este material gera uma película que penetra entre fissuras e contatos dos cristais de quartzo (Fotografias 1, 2, 3 e 4 – Prancha 9.2). As reações manifestam-se também pela alteração nas biotitas, cujas inclusões estão corroídas e são substituídas por argila amarela, além da disseminação de óxido de ferro entre os agregados de quartzo e de plagioclásio provenientes das biotitas e de suas inclusões ricas em ferro (Fotografias 1, 2 e 4 - Prancha 9.2).

Os granitos brancos apresentaram a mesma perda de brilho dos rosas, com exceção do Branco Savana, onde foi registrada a menor redução de brilho (Quadro 9.4; Figura 9.3). Assim como nos granitos rosas, a alteração nos tipos brancos também é evidenciada nos cristais de plagioclásio, que se tornam esbranquiçados com formação de material argiloso branco entre as lamelas de biotita e contatos entre os cristais de quartzo e de feldspatos, com sinais mais evidentes na oxidação do ferro (Fotografias 5, 7 e 8 - Prancha 9.2). A biotita apresenta inclusões de fluorita com aspecto corroído. Ocorrem também pontos de oxidação mais intensos provenientes da biotita próximos ao quartzo, formando películas de óxido de ferro (alaranjada) entre os cristais (Fotografias 5, 6, 7 e 8 - Prancha 9.2).

9.3.3 ATAQUE COM ÁCIDO CÍTRICO - $C_6H_8O_7$

Segundo análise visual, foi observada uma retenção parcial do ácido cítrico pelo granito Rosa Olinda logo ao final do ensaio, cujo aspecto escurecido desapareceu após decorrido algum tempo.

A comparação visual da placa sã com as atacadas pelo ácido cítrico mostra uma suave variação cromática das rochas (não observada com os reagentes anteriormente citados), cujas reações transformam suas cores originais para tonalidades mais claras, mais evidentes nos granitos rosas, sobretudo no Rosa Iracema. As alterações cromáticas nos tipos rosas são causadas pelo plagioclásio e pelo quartzo com feições esbranquiçadas. Nos granitos brancos também ocorre um discreto clareamento dos plagioclásios e uma tonalidade mais avermelhada/acastanhada nos cristais de quartzo. Estas transformações podem ser observadas e comparadas nas pranchas 9.3, 9.4, 9.5 e 9.6.

A ação deste reagente ocasiona, na média, as maiores perdas de brilho registradas dentre as substâncias utilizadas nos testes de alterabilidade, com perdas absolutas entre 14% e 19% (Quadro 9.3; Figura 9.1), inclusive com alterações minerais mais intensas, quando observadas sob lupa binocular (Fotografias Prancha 9.7). As alterações cromáticas somadas à elevada perda de brilho demonstram uma baixa resistência dos granitos estudados ao ácido cítrico, sobretudo para os granitos Rosa Iracema e Branco Cristal Quartzo.

Dentre os granitos rosas, as alterações observadas através da lupa no granito Rosa Iracema são geradas pela alteração pulverulenta do plagioclásio em material argiloso branco que penetra nas fissuras e contatos dos cristais de quartzo que se mostram mais ressaltados, gerando um aspecto desbotado à coloração rosa da placa. Além destas feições, as alterações mais freqüentes são as biotitas cloritizadas corroídas com inclusões (allanita e apatita) alteradas para argila amarela (Fotografias 1 e 2 - Prancha 9.7). Estas alterações também são demonstradas pela elevada perda no brilho medida em 17%.

As alterações no granito Rosa Olinda são menos assinaladas em relação ao Rosa Iracema. Exibem ainda, formação de material argiloso branco no núcleo de plagioclásios, nas maclas do feldspato potássico e em alguns (cerca de 10%) cristais de quartzo (Fotografias 3 e 4 - Prancha 9.7). As biotitas apresentam alteradas apenas entre as clivagens pela formação de material argiloso branco. Alguns minerais acessórios alterados geram óxido de ferro entre as fissuras e contatos do quartzo (Fotografia 4 - Prancha 9.7).

Nos granitos brancos também ocorrem porções com formação de material argiloso branco no plagioclásio e nos contatos e fissuras dos agregados de quartzo que aparecem mais abertos, com aparência quebrada. Porém a maior variação observada em lupa é a presença de pontos avermelhados constituídos por óxido de ferro distribuídos nas microfissuras e interior dos cristais de quartzo e plagioclásio (Fotografias 5, 6, 7 e 8 - Prancha 9.7). As alterações nas biotitas, além das lamelas corroídas com argila branca, são marcadas pela forte corrosão nas fluoritas inclusas (Fotografias 6 e 8 - Prancha 9.7).

A perda de brilho absoluta bem mais pronunciada no granito Branco Cristal Quartzo, em relação ao Savana ocorre provavelmente devido à granulação relativamente maior, causando formação de material argiloso nos plagioclásios de tamanhos maiores e pelo maior teor de minerais de alteração, registrada na análise petrográfica. Além destes fatores, a coloração esverdeada com aspecto fosco, observado em alguns plagioclásios, pode ter contribuído para a elevada perda de brilho (Fotografia 7 - Prancha 9.7). A menor perda de brilho (14%) no granito Branco Savana pode também ter ocorrido devido ao seu

maior microfissuramento, que permitiu maior percolação e menor tempo de contato na face polida com o reagente.

9.3.4 RESISTÊNCIA AO ATAQUE COM ÁCIDO CLORÍDRICO – HCl

A análise visual demonstrou retenção do ácido clorídrico em todos os quatro tipos graníticos ao final do ensaio marcado pelo escurecimento das amostras que desapareceu após a evaporação do reagente. O granito Branco Cristal Quartzo apresentou uma faixa amarelo-esverdeada bastante visível na lateral da placa polida (Fotografia 12 - Prancha 9.8b).

A comparação visual da placa sã com as atacadas pelo ácido clorídrico mostra uma variação cromática das rochas bem mais intensa quando comparadas aos reagentes anteriormente citados. Estas reações transformaram a coloração original das placas polidas para tonalidades mais claras, desbotando a coloração rosa dos granitos (Rosa Iracema e Rosa Olinda). As alterações cromáticas nos tipos rosas mostram amarelamento da superfície polida e forte branqueamento dos cristais de quartzo e plagioclásio (Pranchas 9.3 e 9.4). Já os granitos brancos mostram amarelamento das superfícies polidas e branqueamento dos cristais de plagioclásio. Estas transformações podem ser comparadas com a rocha sã de cada tipo nas pranchas 9.3, 9.4, 9.5 e 9.6.

Tanto sob avaliação visual como através da análise por lupa, o ácido clorídrico ocasiona as reações químicas mais intensas nos minerais das rochas estudadas, porém estas alterações não se refletem de forma direta na perda de brilho absoluto, visto que não são maiores que as perdas de brilho do ácido cítrico, ou de outros reagentes (Quadro 9.3; Figura 9.1). As perdas de brilho observadas aqui são mais elevadas para os granitos rosa em relação aos brancos. O Rosa Iracema é o tipo que apresenta maior perda de brilho, sendo que os granitos brancos mostram as mesmas porcentagens de perda de brilho entre si (10%). Apesar de não acarretar as maiores perdas de brilho o ácido clorídrico exibe uma nítida mudança na coloração das rochas.

Com auxílio da lupa é possível afirmar que em todos os granitos sob ação do ácido clorídrico, são comuns corrosões e cavidades nas biotitas, que liberando óxidos e hidróxidos de ferro, mancham os minerais ao redor. O ácido percola nas rochas gerando dissolução nos contatos entre os cristais de quartzo, de feldspato e de biotita carreando ferro em solução através dos cristais, transpõe a espessura da placa e causa oxidação no seu dorso, conforme registrado no granito Rosa Olinda (Fotografia 9.3).

Nos granitos rosas as alterações ocorrem de forma mais intensa e são mais evidentes nos cristais de biotita, que através da lupa mostram-se totalmente corroídos, formando cavidades, com substituição por argila amarela e óxido de ferro nos contatos (Fotografias 1, 2, 3, 4, 5, e 6 – Prancha 9.8). Ocorre também uma intensa formação de argila branca no núcleo de plagioclásios, mesmo inclusos em feldspato potássico, além de dissolução do preenchimento de contatos no quartzo, tornando-os mais abertos (Fotografias 1, 2, 3, 4, 5 e 6 - Prancha 9.8). Nos granitos brancos a alteração é marcada pela corrosão da biotita, com cavidades, lamelas deslocadas, substituição por argila, além de manchas esverdeadas ao redor dos cristais (Fotografias 9, 10, 11 e 14 - Prancha 9.8). Ocorrem porções no plagioclásio com substituição por material argiloso amarelado e forte dissolução no preenchimento de contatos e microfissuras nos agregados de quartzo. Estas microfissuras previamente registradas na análise petrográfica, sob efeito de dissolução podem contribuir para formar uma espécie de porosidade secundária (Fotografias 7, 8, 11, 13 e 14 - Prancha 9.8).

Observa-se visualmente que o ácido clorídrico nos granitos rosas além de ter ocasionado maior redução de brilho (15 e 18%), o mesmo é absorvido pela amostra tornando-a mais escurecida, indicando que estes granitos sofreram um aumento na sua capacidade de absorção, gerado pela dissolução do material de preenchimento de microfissuras e contatos interminerais, observados através da lupa. As biotitas são os minerais mais alterados com cavidades de corrosão e com uma camada de material argiloso sobre as lamelas e nos contatos dos cristais, todas as lamelas de biotita estão alteradas com material argiloso (Fotografias 1, 2, 4, 5, e 6 – Prancha 9.8).

Nos feldspatos dos granitos rosas, a alteração observada na lupa é maior sobre plagioclásios que reagem formando material argiloso no centro e em quase toda a área do cristal. Nos feldspatos potássicos a alteração concentra-se nas inclusões do plagioclásio (Fotografias 3 e 4 – Prancha 9.8). A superfície destes feldspatos mostra-se irregular devido à corrosão do ácido. O feldspato potássico apresenta maclas, fissuras e contatos mais destacados, marcados por linhas brancas no cristal de coloração rosa (Fotografias 3, 4 e 6 – Prancha 9.8). Os cristais de quartzo apresentam apenas fissuras, limites, contatos de grãos ressaltados pela dissolução do preenchimento por argilominerais.

O granito Rosa Olinda mostrou visualmente absorção elevada do reagente, culminando com manchas de oxidação no dorso da amostra. O índice de absorção associado ao grau microfissuramento (descritos no capítulo 6 e 8) natural deste granito, obtém pela percolação do ácido um incremento através da dissolução de materiais que preenchem contatos e microfissuras, interligando os poros da rocha. A coloração rosa acinzentada foi alterada, mostrando aspecto visual desbotado com tonalidade cinza clara,

devido à forte alteração na biotita. Na avaliação através da lupa, a rocha apresenta cavidades com feições de corrosão sobre as biotitas, onde todos os cristais em contato com o ácido foram corroídos alguns milímetros na superfície, formando reentrâncias e buracos preenchidos por argilominerais amarelados (Fotografias 5 e 6 – Prancha 9.8). As biotitas encontram-se bastante desestabilizadas, desagregando-se em material argiloso ao toque da pinça metálica.

Nos granitos brancos examinados na lupa mostra que em torno de 40% dos feldspatos apresentam manchas amareladas espalhadas pelos cristais de plagioclásio menores. Os cristais de quartzo mostram fraturas, contatos e bordas mais abertos devido à dissolução do preenchimento destas, ocorrendo muitos pontos de oxidação ao redor do quartzo e do feldspato (Fotografias 8, 9, 11, 12, 13 e 14 - Prancha 9.8). No granito Branco Cristal Quartzo a rocha apresenta coloração mais desbotada com microfissuras e contatos visivelmente mais ressaltados pelas reações de dissolução, ressaltando os cristais (Fotografias 11, 12, 13 e 14 - Prancha 9.8). As biotitas apresentam-se corroídas com manchas verde escuro ao redor dos cristais e formação de um material argiloso de coloração branco-amarelado nas cavidades (Fotografias 11 e 14 - Prancha 9.8). As muscovitas também estão alteradas para argila. Em torno de 15% dos feldspatos exibem manchas amareladas de material argiloso. Ocorre uma faixa amarelo-esverdeada como uma oxidação, visível na parte lateral da amostra (Fotografia 12 - Prancha 9.8).

Devido à intensidade das reações ocasionadas pelo ácido clorídrico, foram efetuadas lâminas delgadas visando uma investigação mais aprofundada e uma caracterização petrográfica das transformações mineralógicas geradas pelas reações do ataque químico.

Microscopicamente a maioria das biotitas e micas brancas apresenta bordas corroídas. Alguns cristais de biotita cloritizadas mostram franjas em forma de fiapos finos e alongados (Fotomicrografias 1 e 2 – Prancha 9.9; 2 e 3 - Prancha 9.11 e 1, 2 Prancha 9.12). Os feldspatos com alteração para sericita e argilominerais encontram-se mais intensamente alterados, com aspecto pulverulento, com formação de óxido de ferro e de minerais argilosos (Fotomicrografias 5 e 6 – Prancha 9.9; 6 - Prancha 9.10; 2, 4, e 5 Prancha 9.11 e 5 e 6 Prancha 9.12). Nos granitos rosas as allanitas estão substituídas por argilominerais em todo o interior do cristal de forma zonada (Fotomicrografia 1 – Prancha 9.10). Ocorre anfibólio intercrescido com biotita, apatita e zircão com aspecto corroído nas bordas e clivagens (Fotomicrografias 3 e 4 – Prancha 9.10).

Nos feldspatos mais próximos à biotita as microfissuras estão preenchidas por argilominerais, com maclas mais abertas formando uma “rede” em alguns pontos (Fotomicrografias 4, 5 e 6 – Prancha 9.9). Em torno de 40% de apatitas, fluorita intersticial nas bordas e dentro da biotita parecem afetadas. Ocorre uma grande proporção de fluorita dissolvida entre biotita cloritizada (Fotomicrografias 1, 2, 3, 4 – Prancha 9.12). A mica branca inclusa em fenocristais de feldspato alcalino mostra-se extremamente corroída nas bordas (Fotomicrografias 1, 5 e 6 - Prancha 9.9). As lamelas de biotita estão com bordos corroídos principalmente entre os planos de clivagem (Fotomicrografias 1, 2, 3, 4, 5 e 6 - Pranchas 9.9 e 9.10).

COLETA E ANÁLISE DE MATERIAL RESULTANTE DA ALTERAÇÃO MINERAL - ÁCIDO CLORÍDRICO

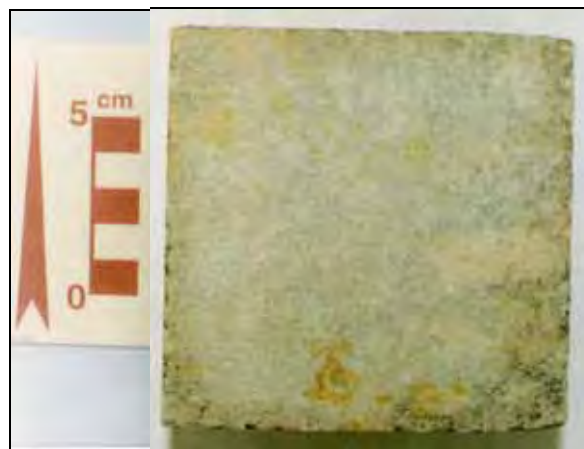
Uma face não polida do granito Rosa Iracema foi embebido no reagente ácido clorídrico por 96 horas, visando coletar e identificar o produto das alterações minerais. O primeiro produto obtido nestas reações foi separado do ácido clorídrico por decantação, onde se obteve porção sólida (resistitos) com granulometria variada (areia fina a síltica) que foram analisados sob microscópio petrográfico. O segundo produto obtido é composto por cátions dissolvidos no ácido clorídrico que foram precipitados sob forma de sulfatos através da adição de ácido sulfúrico diluído. Este produto foi levado para análise no difratômetro de raios X.

Na porção sólida, resultante da desagregação da rocha pelo efeito da ação do ácido clorídrico atuante ao longo dos contatos, microfissuras, clivagens e maclas, acumularam-se partículas microscópicas de fragmentos de quartzo, feldspatos, biotita, muscovita, epidoto, opacos e titanita. As maiores partículas sólidas e em quantidade correspondem ao quartzo, identificadas microscopicamente pelas fraturas conchoidais exibidas. O segundo mineral, em quantidade e dimensões das partículas, é representado pelo microclínio, por vezes, mostrando a clivagem em grade, seguido pelos fragmentos de plagioclásio. Ocorrem ainda, partículas com dimensões variadas (microscópicas), constituídas por biotita, titanita e opacos oxidados, de coloração marrom acastanhada; fluorita também foi identificada pela tonalidade lilás (Fotografias 9.4).

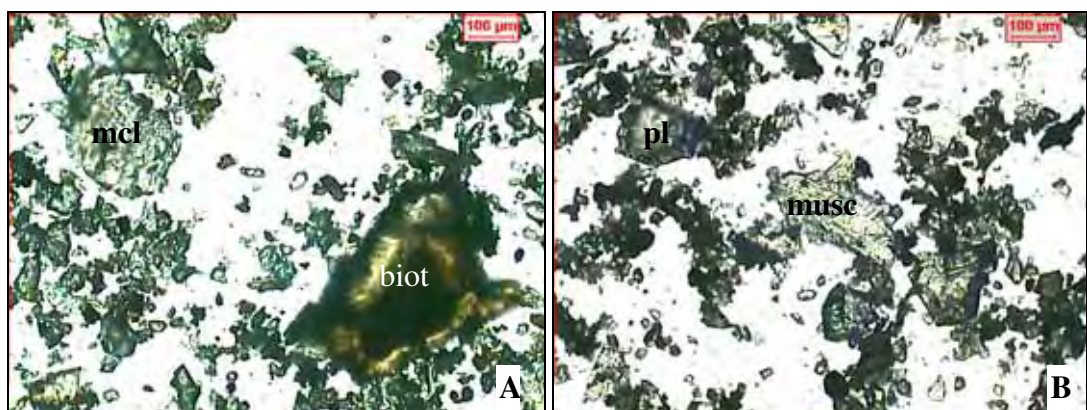
A porção precipitada sob forma de sulfatos constitui-se por cátions de Ca, Al, Na, K e Fe, determinados pelo difratograma da figura 9.2 definidos através dos picos dos compostos Anidrita (CaSO_4), Alunogênio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$) e Metavoltino ($\text{Na}_6\text{K}_2\text{Fe}_7(\text{SO}_4)_{12}\text{O}_2 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$). A sílica dissolvida dos minerais encontra-se como ácido de silício que após a secagem mostra estado gelatinoso, portanto amorfo. Dentre os cátions, o Si e Ca são os

mais abundantes, seguidos pelo Al. Os demais ocorrem em proporções significativamente inferiores.

Todos os aspectos acima relacionados refletem o poder de ação do ácido clorídrico sobre os granitos. Neste sentido, há de se considerar que determinados materiais de limpeza contendo este reagente, tais como o ácido muriático, pode, quando aplicado indiscriminadamente, ocasionar certos danos aos materiais pétreos de forma a prejudicar o aspecto estético.



Fotografia 9.3: Granito Rosa Olinda com reações de oxidação no dorso da amostra



Fotografias 9.4: Fragmentos desagregados do Granito Rosa Iracema devido à ação do ácido clorídrico após 96 horas em contato com a superfície não polida da rocha. **A:** fragmentos de biotita e de microclínio. biot = biotita, mcl = microclínio. **B:** Fragmentos de muscovita, de plagioclásio, de microclínio e grão de minerais opacos oxidados (partículas menores) musc = muscovita, pl = plagioclásio.

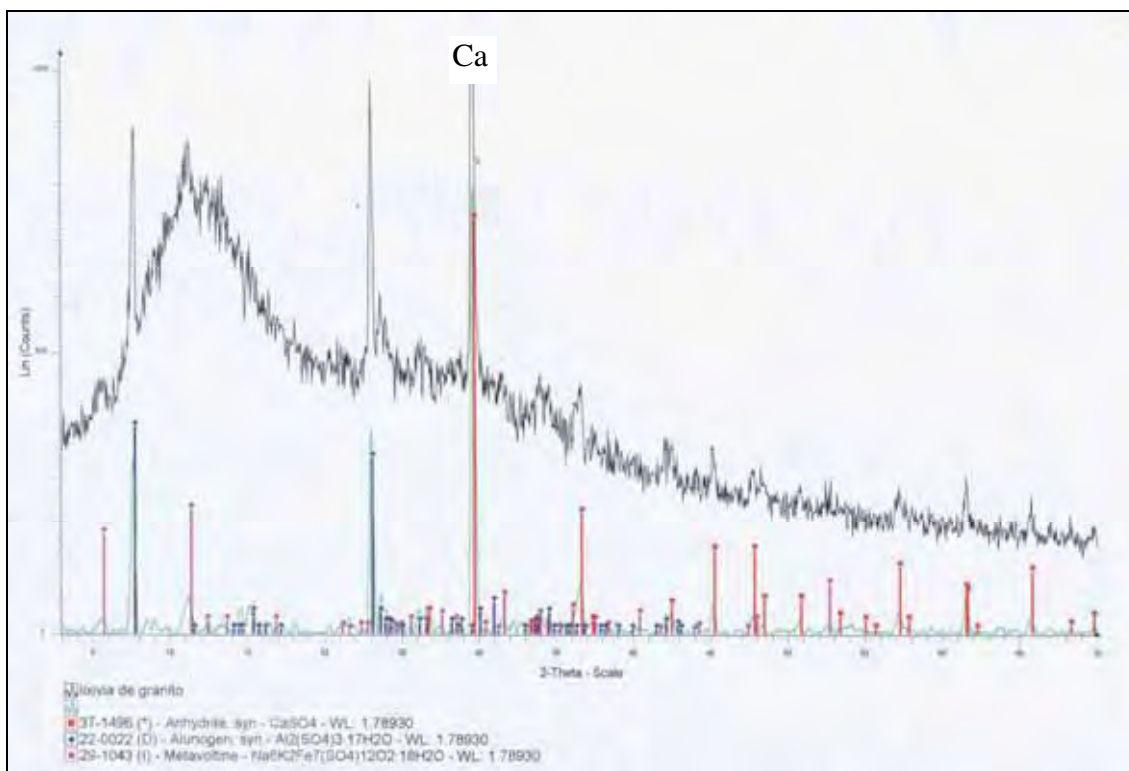


Figura 9.2 - Difratoograma da fração argila em suspensão no ácido clorídrico após o ataque de 96 horas no granito Rosa Iracema. Os picos indicam a presença de: Anidrita (CaSO_4), Alunogenio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$) e Metavoltino ($\text{Na}_6\text{K}_2\text{Fe}_7(\text{SO}_4)_{12}\text{O}_2 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$).

9.3.5 ATAQUE COM HIDRÓXIDO DE POTÁSSIO – KOH

A análise visual demonstrou, logo ao final do ensaio, um escurecimento em todas as amostras indicando absorção do hidróxido de potássio, demonstrada não só pela tonalidade escura, mas também pelas maiores porcentagens de perda de reagente (entre 6 a 16%). Estes valores de perda foram obtidos calculando-se o volume de reagente antes e após o ensaio em ml. O granito Branco Savana atingiu o maior índice de perda de reagente (16%) por possuir maior absorção e porosidade. Este aspecto escuro, característico de absorção de líquidos, desapareceu após a evaporação do hidróxido de potássio. Foi observada também a formação de material argiloso de coloração branca nas bordas da amostra.

Os granitos estudados não apresentam alterações cromáticas perceptíveis em contato com o hidróxido de potássio e comparativamente mostram a segunda menor redução de brilho medida, maior apenas em relação ao hipoclorito de sódio. Neste ataque a perda de brilho apresentou valores de 11 e 13% para os granitos rosas (Iracema e Olinda) e 9% e 10% para os granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) (Quadro 9.3; Figura 9.1).

Pela análise visual comparativa os granitos mostram-se pouco afetados em relação ao hidróxido de potássio, entretanto considerando-se o escurecimento das amostras, o tempo maior de contato com a rocha (96 horas) e a perda de reagente após o ensaio, o hidróxido de potássio mostra um poder maior de percolação nas amostras. Esta percolação causa uma capacidade maior de absorção dos granitos em comparação aos outros reagentes. Estes dados demonstram uma resistência química mediana dos quatro granitos sob a ação do hidróxido de potássio, sobretudo quando comparados com os efeitos mais destrutivos do ácido cítrico e clorídrico.

Observações através da lupa permitem considerar que a ação do hidróxido de potássio nos granitos gera elevada absorção conduzida pela dissolução, cuja percolação entre contatos, maclas e microfissuras, tornam estas descontinuidades mais abertas. A perda de brilho nas amostras estudadas varia entre 9 a 13%, sendo evidenciada pela intensa substituição na maioria das lamelas de biotita por argilominerais e pela formação de material argiloso de coloração branca que ocorre de modo localizado nos plagioclásios.

Embora a perda de brilho seja levemente maior nos granitos rosas (11 e 13%), as alterações geradas nos minerais, sob observação na lupa, são mais discretas nestes granitos e um pouco mais pronunciadas nos granitos brancos pela percolação de óxido de ferro que devido à sua coloração naturalmente branca, tornam-se mais realçadas. (Fotografias 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 - Prancha 9.13). A maior perda de brilho se manifesta no granito Rosa Olinda, com 13%, ocasionada por alterações nos cristais de biotita e de plagioclásio (Fotografias 3 e 4 - Prancha 9.13). A resistência à perda de brilho levemente maior nos granitos brancos diante do ataque com o hidróxido de potássio se deve à coloração mais clara destas rochas que são mais enriquecidas em quartzo e não demonstram pela análise visual a perda de brilho medida.

Comparativamente, os granitos exibem menor intensidade na alteração mineral do que as ocorridas nas amostras atacadas por ácido clorídrico (HCl), caracterizadas por leve corrosão nas biotitas, que com a oxidação das inclusões de allanita e titanita liberam o ferro, manchando cristais de quartzo e de plagioclásio branco próximos a biotita (Fotografias 3, 5 e 6 - Prancha 9.14).

As alterações nos granitos rosas são discretas e evidenciadas em alguma áreas dos cristais de plagioclásio, as quais são mais evidentes quando ocorrem como inclusões, próximos aos contatos e ao longo dos planos de clivagens devido suas maiores exposições à substância agressiva. Também alguns cristais de biotita mostram, por vezes, bordas levemente corroídas e/ou desbotadas com suas inclusões (esfeno, apatita, allanita) substituídas por material de aspecto argiloso de coloração acastanhada (Fotografias 1, 2, 3

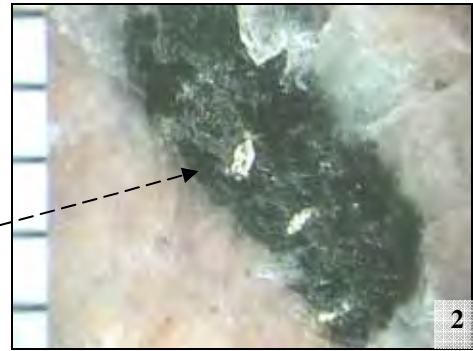
e 4 - Prancha 9.13). São comuns nos cristais de feldspato potássico, maclas, contatos e fissuras ressaltadas por linhas brancas, formadas por material argiloso devido à percolação do hidróxido de sódio (Fotografias 1, 2 e 3 - Prancha 9.13)

Nos granitos rosas as alterações minerais mais evidentes observadas nas superfícies polidas através de lupa binocular correspondem à um branqueamento dos cristais de plagioclásio formando material argiloso de coloração branca, inclusive quando ocorre como inclusões no feldspato potássico e na biotita (Fotografias 1, 2, 3 e 4 - Prancha 9.13).

Esta alteração gera uma película de argila branca que penetra entre fissuras e contatos dos cristais de quartzo. Também alguns cristais de biotita mostram, por vezes, bordas levemente corroídas e/ou desbotadas com suas inclusões (esfeno, apatita, allanita) substituídas por material de aspecto argiloso de coloração acastanhada (Fotografias 1, 2, 3 e 4 - Prancha 9.13). As reações manifestam-se também pela disseminação de óxido de ferro entre os agregados de quartzo e de plagioclásio provenientes das biotitas e de suas inclusões ricas em ferro. (Fotografias 1, 2, 3 e 4 - Prancha 9.13).

Nos granitos brancos a alteração investigada na lupa mostra mais pontos acastanhados de óxidos e hidróxidos de ferro do que os granitos rosas. A ação do hidróxido de potássio forma material argiloso branco entre as lamelas de biotita, contatos entre os cristais de quartzo e de feldspato. A biotita apresenta inclusões de fluorita com aspecto corroído (Fotografias 7 e 8 – Prancha 9.13). Ocorrem também pontos de oxidação mais intensos provenientes da biotita próximos ao quartzo, formando películas de óxido de ferro (alaranjada) entre os cristais (Fotografias 5, 6, 7 e 8 - Prancha 9.13). No quartzo as microfissuras, limites, bordas e contatos aparecem muito mais abertos, com aparência quebrada e fissuras nítidas no fundo (Fotografias 5, 6 e 7 - Prancha 9.13).

Granito Rosa Iracema



Fotografia 1: Plagioclásio esbranquiçado, com início de formação de material argiloso, quartzo com microfissuras e contatos mais abertos e biotita com leve alteração e substituição de material argiloso nas inclusões de esfeno.

Fotografia 2: Detalhe da biotita com inclusões de esfeno e allanita alteradas.

Granito Rosa Olinda



Fotografia 3: Plagioclásio esbranquiçado, com início de formação de material argiloso, maclas do feldspato potássico ressaltadas por material argiloso branco, quartzo com microfissuras e contatos mais abertos e biotita com leve alteração e substituição de material argiloso nas inclusões de allanita.

Fotografia 4: Detalhe da allanita argilizada incluída na biotita, notar ao redor do cristal manchas de óxido de ferro percolando no cristal de quartzo.

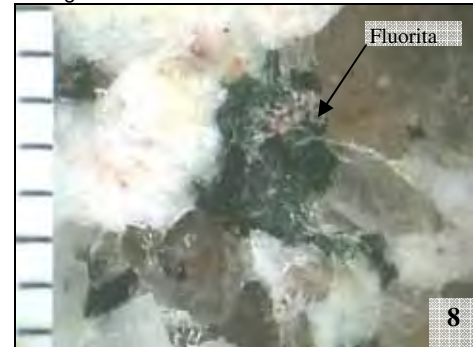
Granito Branco Savana



Fotografia 5: Plagioclásio com maclas mais ressaltadas e quartzo com inclusões de muscovita, biotita e óxido de ferro.

Fotografia 6: Biotita alterada com lamelas preenchidas por material argiloso e inclusão corroída.

Branco Cristal Quartz

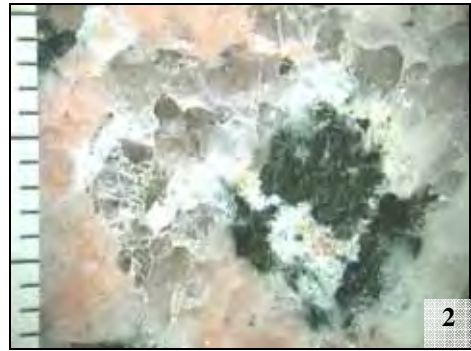


Fotografia 7: Plagioclásio zonado com linhas de crescimento mais ressaltadas e núcleo levemente alterado. Biotita inalterada.

Fotografia 8: Plagioclásio com material argiloso amarelo e biotita alterada com inclusão de fluorita corroída. Notar os contatos entre os cristais de quartzo preenchidos por formação de material argiloso branco.

PRANCHA 9.1 - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por cloreto de amônia - NH_4Cl nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda das fotografias em milímetros.

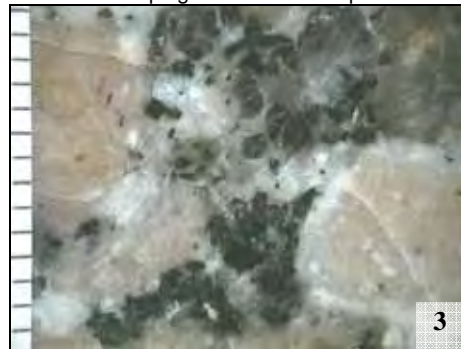
Granito Rosa Iracema



Fotografia 1: Plagioclásio esbranquiçado, com formação de material argiloso nos núcleos e biotita com alteração e substituição de material argiloso nas inclusões de allanita.

Fotografia 2: Quartzo com microfissuras e contatos preenchidos por material argiloso branco e agregado de biotitas alteradas com plagioclásio alterado para material argiloso branco.

Granito Rosa Olinda



Fotografia 3: Plagioclásio esbranquiçado, feldspato potássico com bordas e maclas ressaltadas por material argiloso branco e biotita com leve alteração de material argiloso nas inclusões.

Fotografia 4: Plagioclásio esbranquiçado pela formação de material argiloso branco, agregados de biotita corroída e substituição de material argiloso nas inclusões de monazita (abaixo à direita)

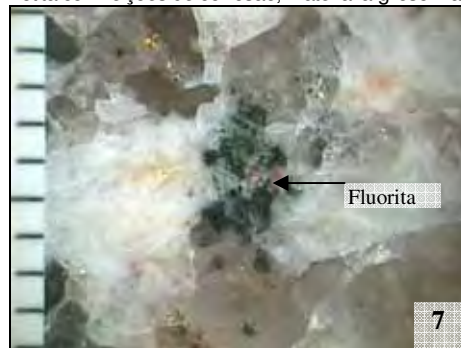
Granito Branco Savana



Fotografia 5: Alteração p/ material argiloso nas lamelas de biotita, nos contatos do quartzo e nas maclas dos feldspatos.

Fotografia 6: Biotita com feições de corrosão, material argiloso nas clivagens e inclusões substituídas por material argiloso.

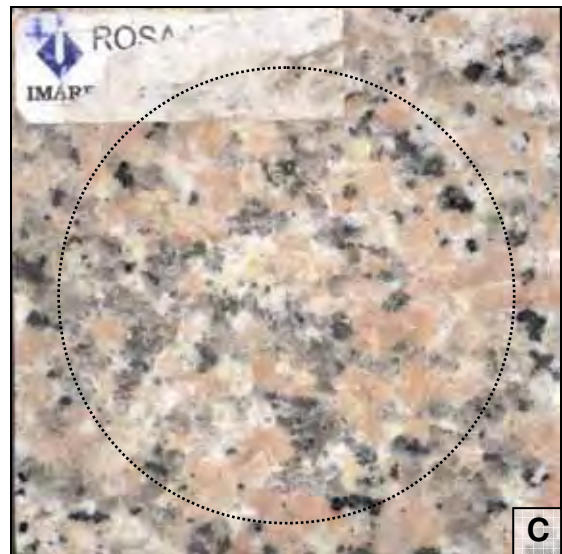
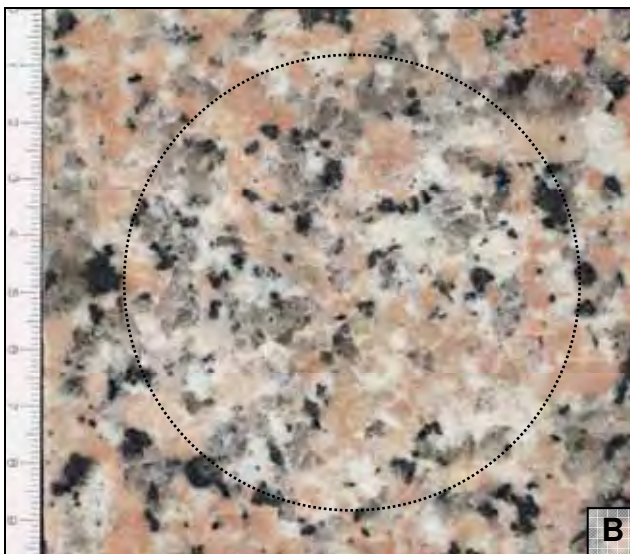
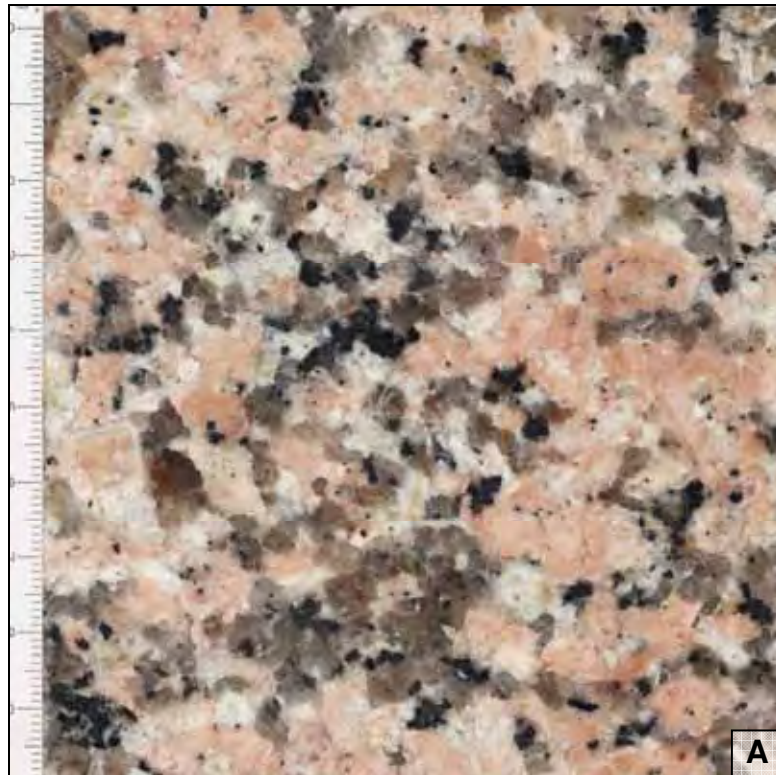
Branco Cristal Quartz



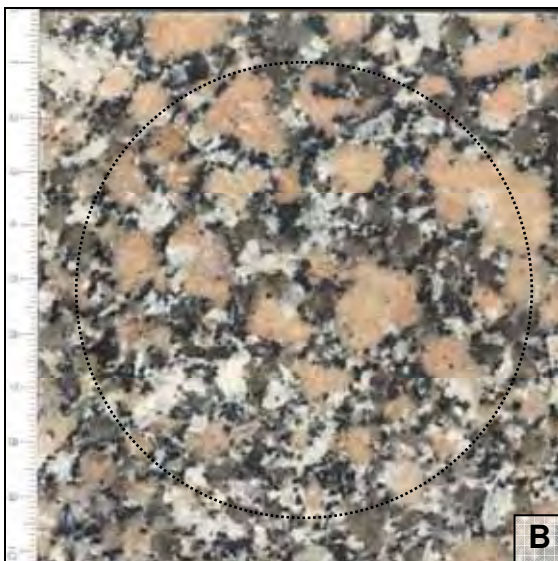
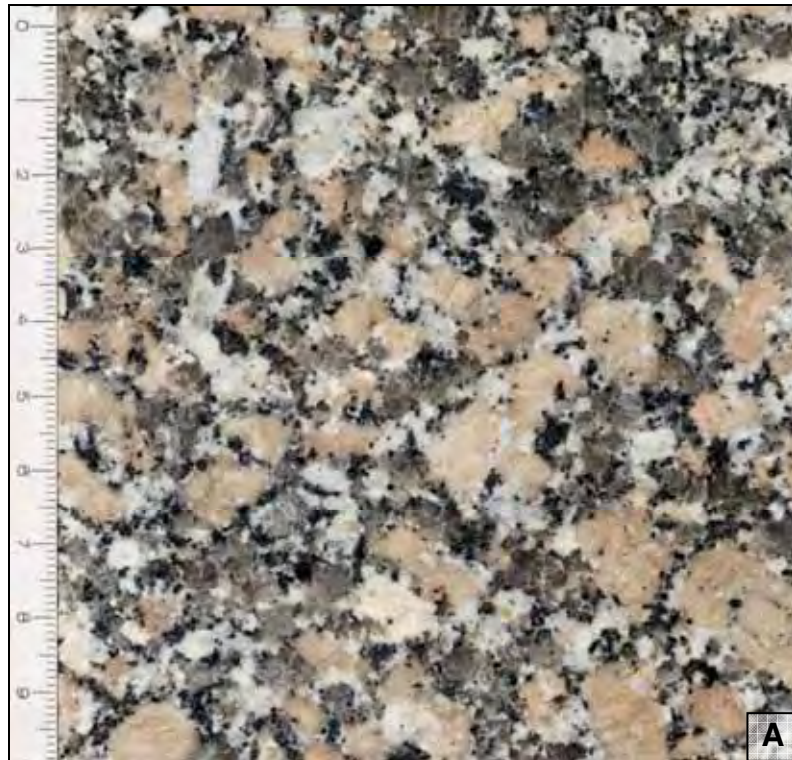
Fotografia 7: Plagioclásio alterado por material argiloso amarelo, biotita alterada com inclusão de fluorita, muscovita oxidada e quartzo com microfissuras abertas.

Fotografia 8: Plagioclásio com material argiloso branco e biotita com inclusão alterada. Notar os pontos vermelhos de óxido de ferro no feldspato alterado.

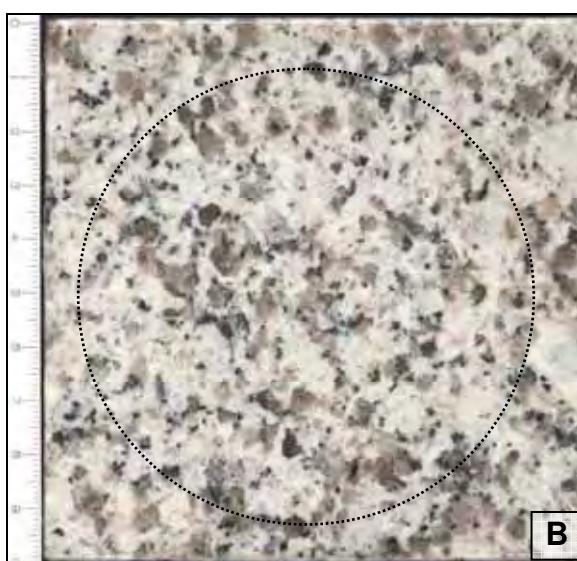
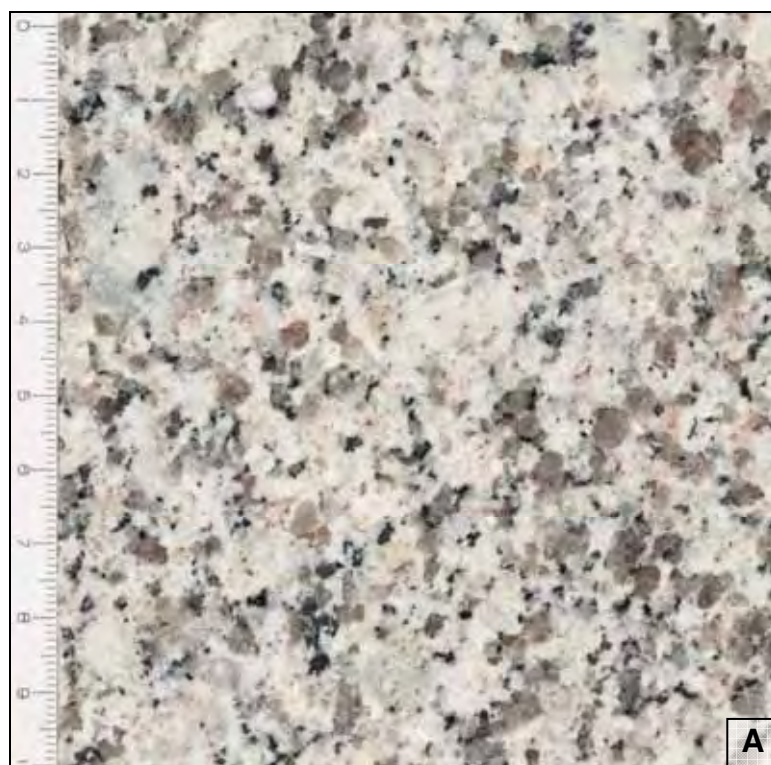
PRANCHA 9.2 - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por hipoclorito de sódio – NaClO nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda das fotografias em milímetros.



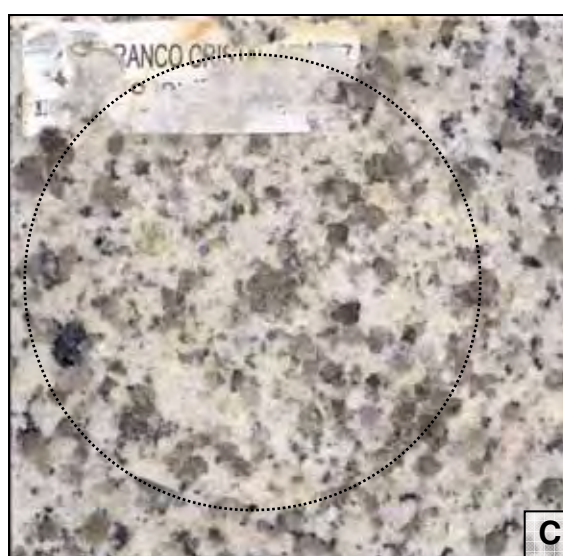
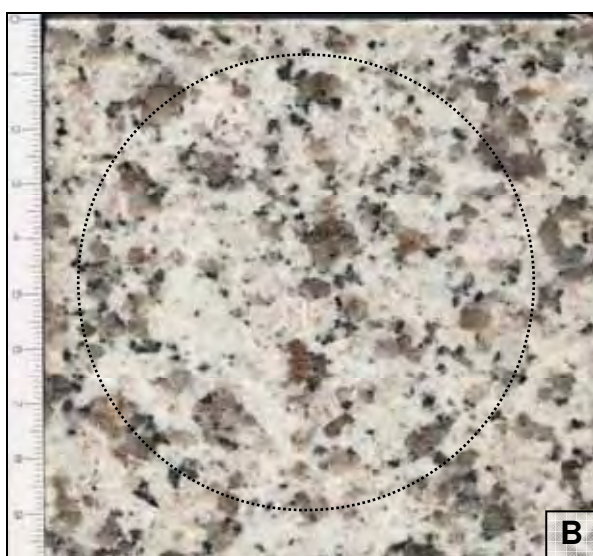
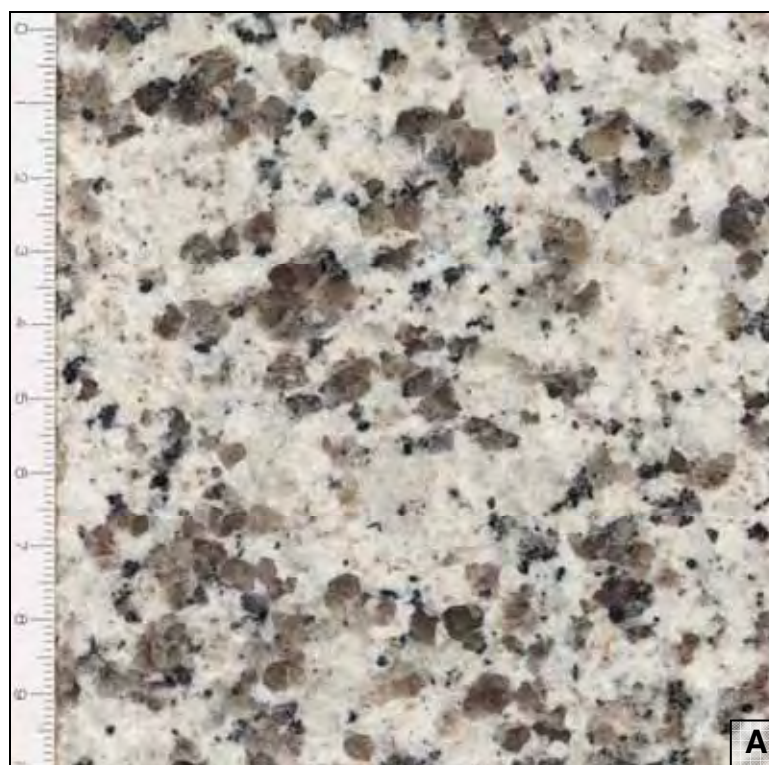
PRANCHA 9.3 - Granito Rosa Iracema: **A** - placa não atacada, **B** - ataque com ácido cítrico e **C** - ataque com ácido clorídrico, cujas reações nos minerais causam mudança na coloração, gerando aspecto desbotado na placa com manchas esbranquiçadas, no ataque com ácido cítrico as reações são menos intensas. Escala em centímetros.



PRANCHA 9.4 - Granito Rosa Olinda: **A** - placa não atacada, **B**- ataque com ácido cítrico e **C** - ataque com ácido clorídrico, cujas reações nos minerais causam mudança na coloração, gerando aspecto desbotado com manchas esbranquiçadas e amareladas de oxidação na placa. Com ácido cítrico as reações são menos nítidas. Escala em centímetros.



PRANCHA 9.5 - Granito Branco Savana: **A** - placa não atacada, **B** - ataque com ácido cítrico e **C** - ataque com ácido clorídrico, cujas reações nos minerais causam mudança na coloração, gerando aspecto desbotado com manchas esbranquiçadas e amareladas. No ataque com ácido cítrico as reações são menos nítidas. Escala em centímetros.



PRANCHA 9.6 - Granito Branco Cristal Quartzo: **A** - placa não atacada, **B** - ataque com ácido cítrico e **C** - ataque com ácido clorídrico, cujas reações nos minerais causam mudança na coloração, gerando aspecto desbotado com manchas amareladas na placa. No ataque com ácido cítrico as reações são menos intensas. Escala em centímetros.

Granito Rosa Iracema



Fotografia 1: Plagioclásio esbranquiçado, com formação de material argiloso branco no cristal, nos contatos e nas microfissuras do quartzo e biotita com feições de corrosão.

Fotografia 2: Quartzo com microfissuras e contatos mais abertos, plagioclásio com maclas ressaltadas e biotitas alteradas com feições de corrosão e substituição por material argiloso nas inclusões de allanita.

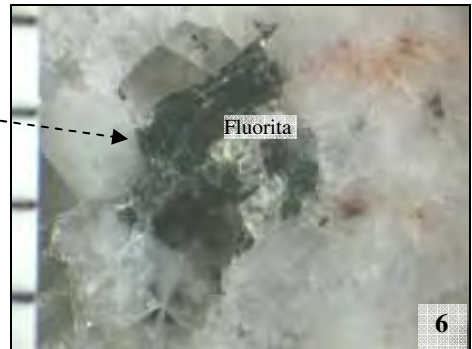
Granito Rosa Olinda



Fotografia 3: Plagioclásio esbranquiçado zonado com material argiloso no centro, feldspato potássico com maclas ressaltadas pela alteração, biotita preservada sem aspectos de corrosão e allanita alterada.

Fotografia 4: Detalhe do cristal de allanita zonada e argilizada com ferro saindo pelas microfissuras de plagioclásio e de quartzo.

Granito Branco Savana



Fotografia 5: Plagioclásio com alteração para material argiloso branco e óxido de ferro, quartzo com contatos preenchidos por material argiloso e biotitas com inclusões alteradas.

Fotografia 6: Detalhe de biotita alterada com inclusões de fluorita corroídas, notar óxido de ferro nas microfissuras dos cristais.

Branco Cristal Quartz



Fotografia 7: Plagioclásio alterado com material argiloso tonalidade esverdeada e linhas com formação de material argiloso branco, além de quartzo com microfissuras abertas.

Fotografia 8: Plagioclásio com núcleo alterado para material argiloso com pontos vermelhos de oxidação e biotita alterada com pequenas inclusões de fluorita corroída.

PRANCHA 9.7 - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por ácido cítrico - $C_6H_8O_7$ nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda das fotografias em milímetros.

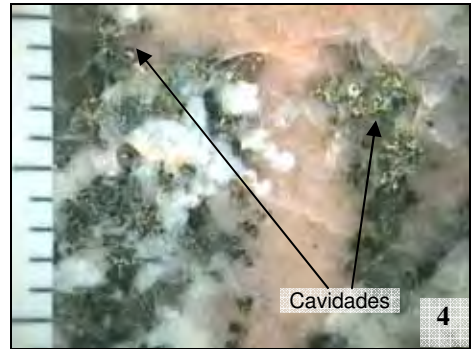
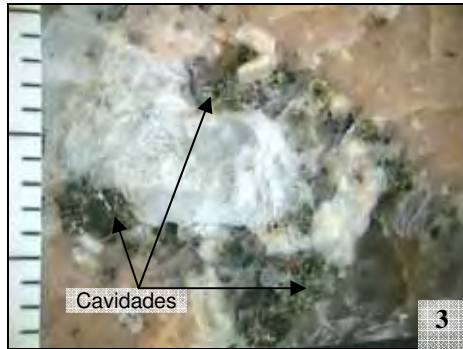
Granito Rosa Iracema



Fotografia 1: Zoneamento do plagioclásio com material argiloso amarelo, provenientes da alteração da biotita, que mostra-se intensamente corroída com material argiloso e microfissuras do quartzo.

Fotografia 2: Quartzo com microfissuras e contatos mais abertos, plagioclásio com maclas ressaltadas e oxidadas e biotitas com feições de intensa corrosão e substituição por material argiloso.

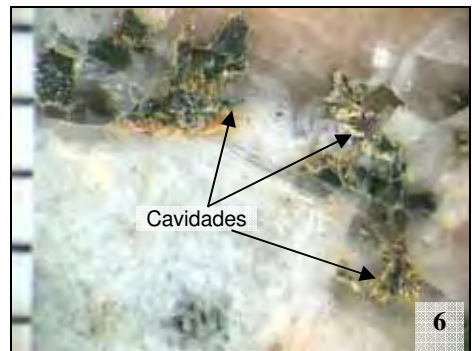
Granito Rosa Olinda



Fotografia 3: Plagioclásio com linhas de zoneamento ressaltadas e preenchidas por formação de material argiloso e Biotitas cloritizadas totalmente corroídas formando cavidades.

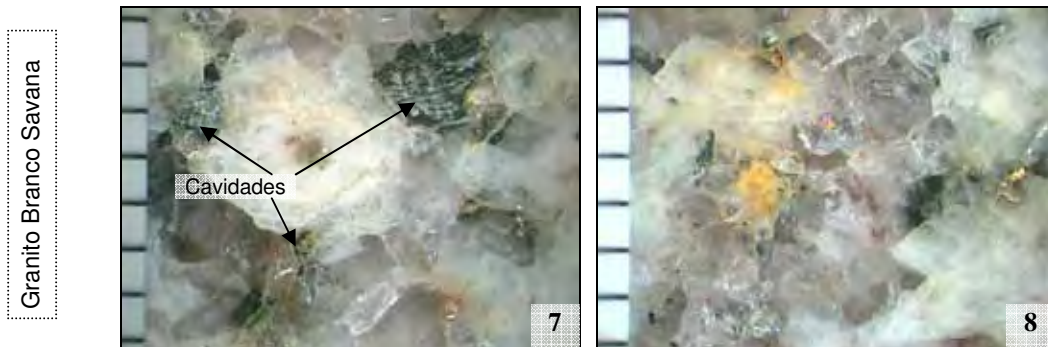
Fotografia 4: Detalhe dos agregados de biotita cloritizada, corroída e oxidada com material argiloso amarelo, formando cavidades.

Granito Rosa Olinda



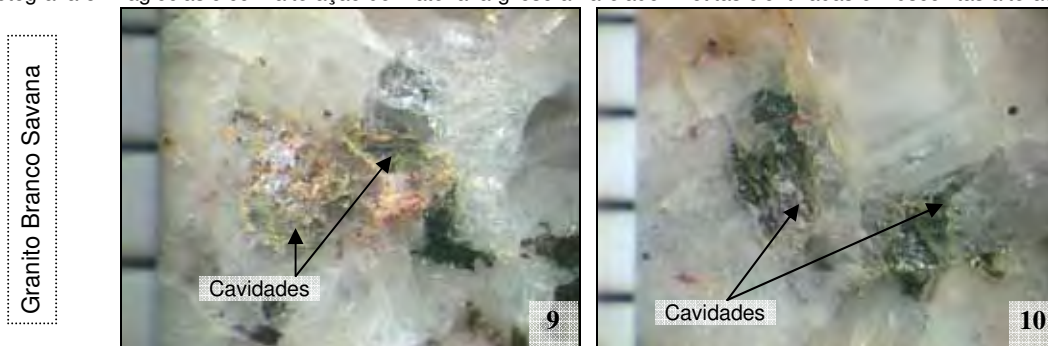
Fotografias 5 e 6: Detalhe de lamelas de biotita corroídas, formando material argiloso amarelado e cavidades.

PRANCHA 9.8 - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por ácido clorídrico - HCl nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda das Fotografias em milímetros.



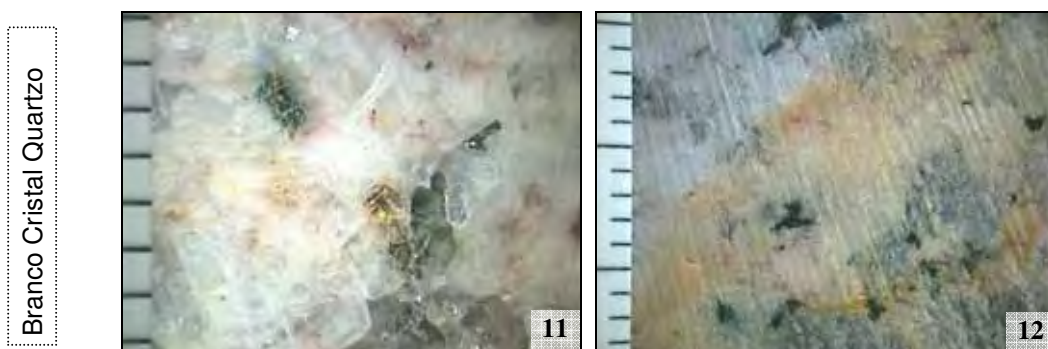
Fotografia 7: Plagioclásio zonado com núcleo alterado e quartzo com microfissuras abertas. Biotitas cloritizadas totalmente corroídas, formando material argiloso e cavidades.

Fotografia 8: Plagioclásio com alteração de material argiloso amarelado. Biotitas cloritizadas e muscovitas alteradas.



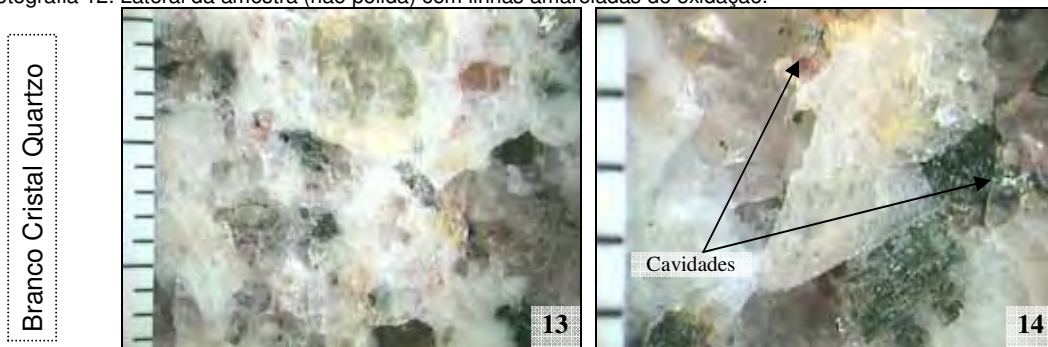
Fotografia 9: Biotitas cloritizadas totalmente corroídas, formando material argiloso amarelado e cavidades.

Fotografia 10: Agregado de biotitas com bordas corroídas, formando cavidades.



Fotografia 11: Plagioclásio com linhas de zoneamento ressaltadas por formação de material argiloso amarelado proveniente da oxidação da biotita. Biotitas cloritizadas totalmente corroídas.

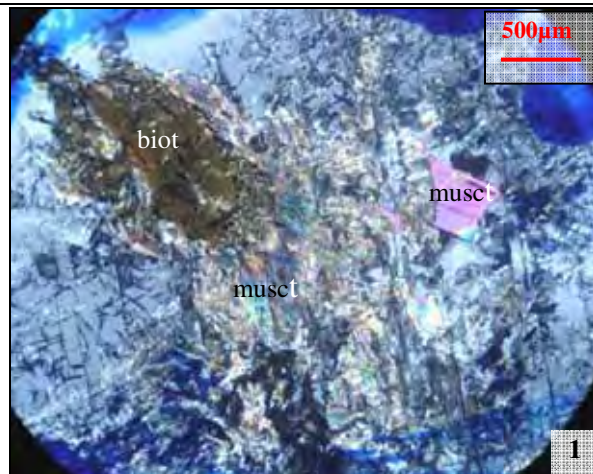
Fotografia 12: Lateral da amostra (não polida) com linhas amareladas de oxidação.



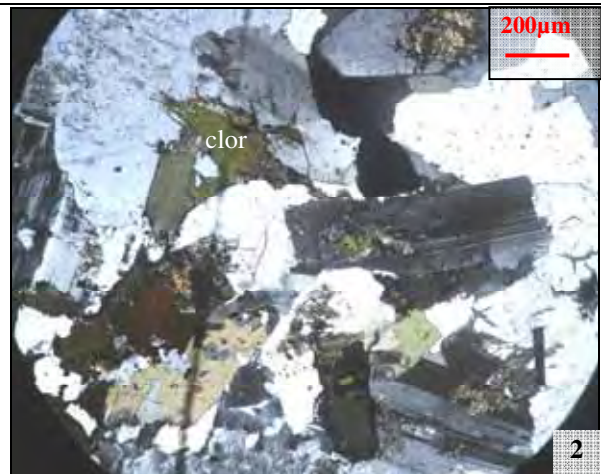
Fotografia 12: Plagioclásio com núcleo esverdeado e pontos alterados para formação de material argiloso e quartzo com microfissuras abertas. Biotitas cloritizadas corroídas.

Fotografia 13: Plagioclásio com material argiloso amarelado (oxidação da biotita). Biotitas cloritizadas totalmente corroídas. Acima da Fotografia um cristal de fluorita corroído formando cavidade.

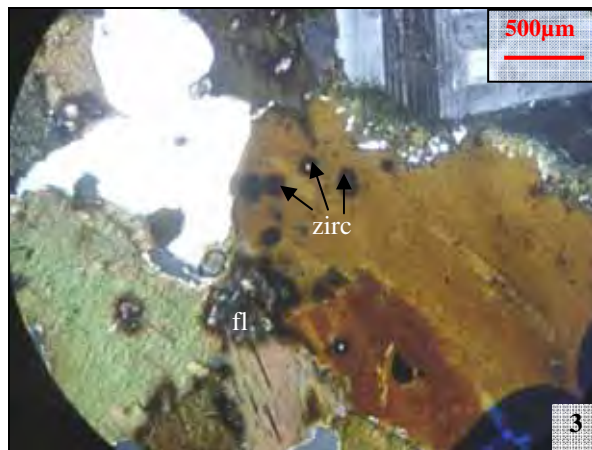
PRANCHA 9.8b (continuação) - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por ácido clorídrico - HCl nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda das Fotografias em milímetros.



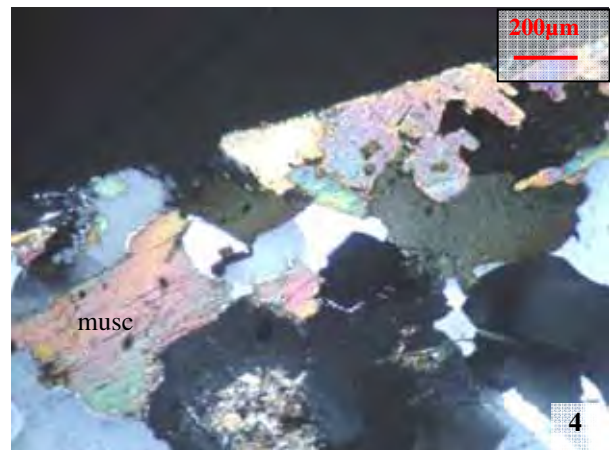
Fotomicrografia 1 - Cristal de biotita sendo substituído por muscovita ao redor do cristal. Inclusos em feldspato mostrando microfissuras abertas. Nicóis cruzados. biot = biotita, musc = muscovita



Fotomicrografia 2 - Cristais de biotita cloritizados com bordos corroídos em forma de fiapos e feldspatos com argilo minerais. Nicóis cruzados. clor = clorita



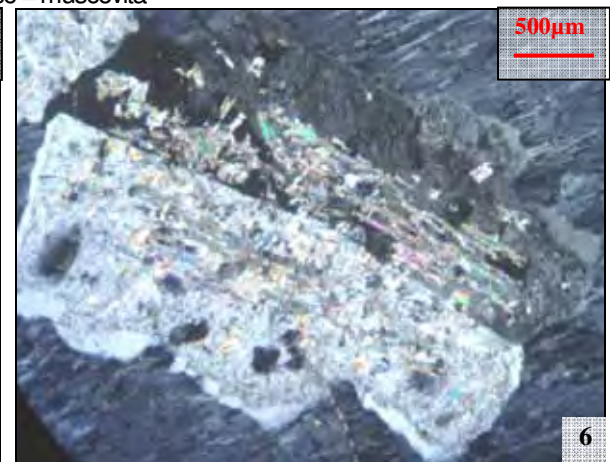
Fotomicrografia 3 - Cristais de biotita alterada para muscovita e biotita com textura simplectica com inclusões de zircão e de fluorita. Nicóis cruzados. zirc = zircão, fl = fluorita



Fotomicrografia 4 - Cristais aglomeraticos de biotita alterada para muscovita, notar bordos corroídos e formação de argilo-minerais.. Nicóis cruzados. musc = muscovita

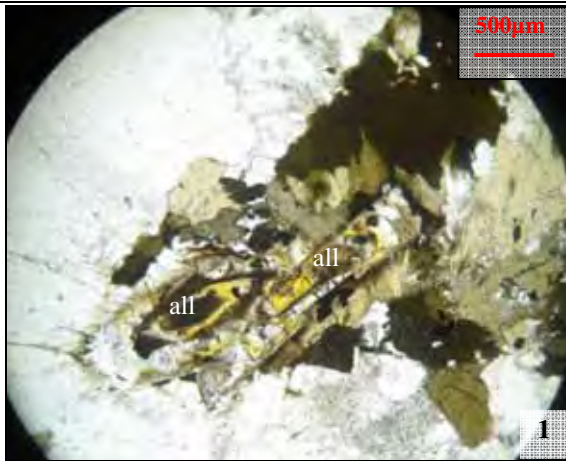


Fotomicrografia 5 - Cristal de plagioclásio zonado com pequenas lamelas de mica branca e alterado para argilo minerais com inclusão de biotita cloritizada. Nicóis cruzados.

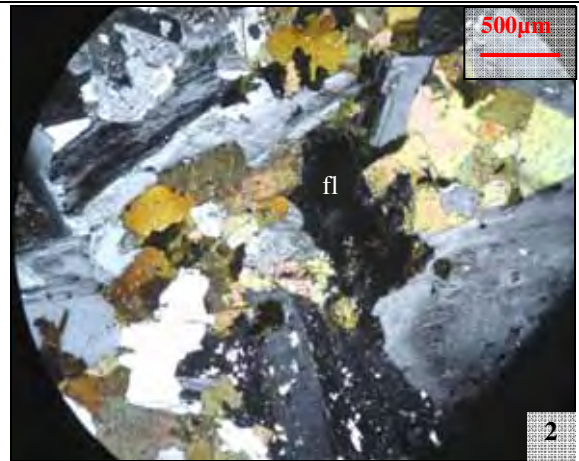


Fotomicrografia 6 - Cristal de plagioclásio com lamelas de mica branca ao longo de linhas. Nicóis cruzados.

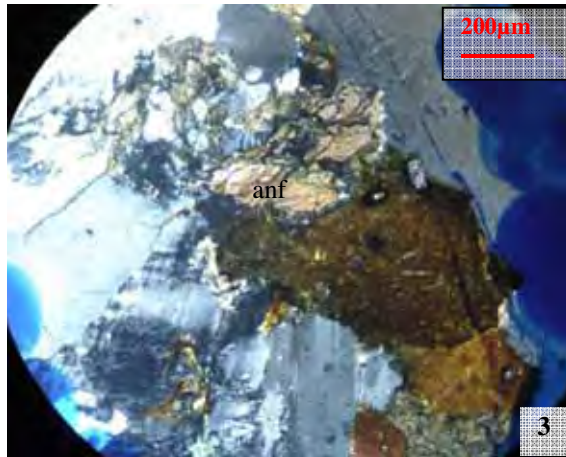
PRANCHA 9.9- Fotomicrografias do tipo granítico Rosa Iracema atacado por HCl.



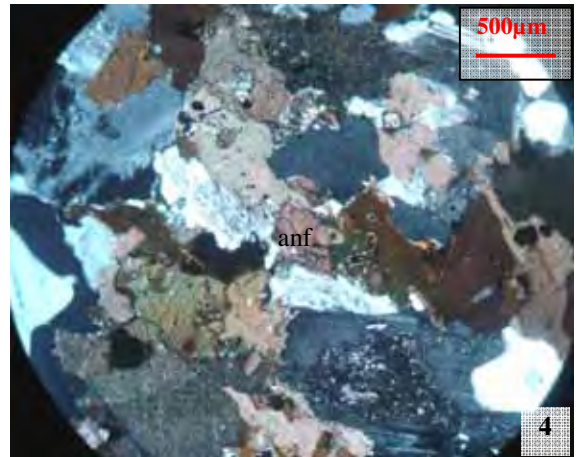
Fotomicrografia 1: Cristais de allanita metamictizada e alterada para argilo minerais (amarelo) associada ao aglomerado de muscovitas e biotitas. Nicóis paralelos. all = allanita



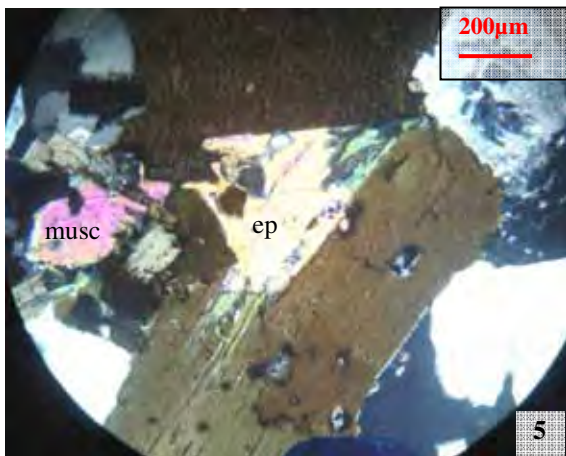
Fotomicrografia 2: Cristais aglomeráticos de biotita alterada para muscovita com fluorita e feldspatos (plagioclásio e potássico). Nicóis cruzados. fl = fluorita



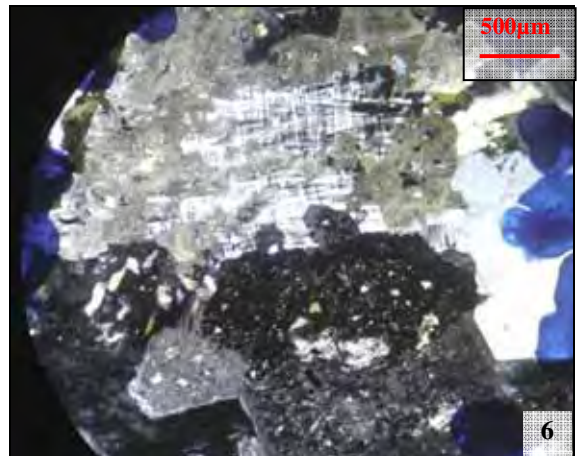
Fotomicrografia 3: Cristal de anfibólio reliquiar (acima) substituído por biotita. Nicóis cruzados. anf = anfibólio



Fotomicrografia 4: Cristais aglomeráticos de biotita alterada para muscovita com anfibólio reliquiar e plagioclásio sericitizado no núcleo. Nicóis cruzados. anf = anfibólio

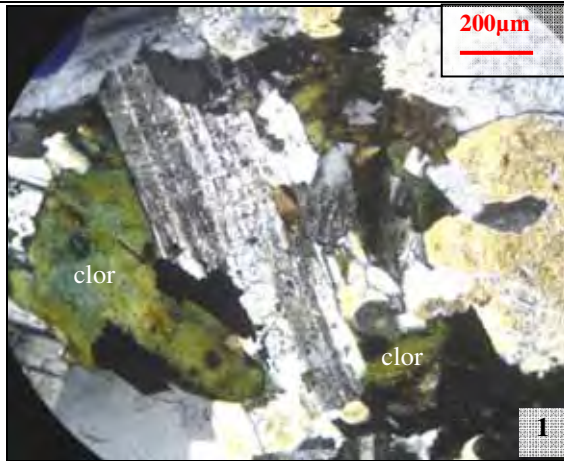


Fotomicrografia 5: Cristais de biotita alterada para muscovita e cristal de epidoto corroído entre as biotitas com inclusões de zircão. Nicóis cruzados. musc = muscovita, ep = epidoto



Fotomicrografia 6: Cristais de microclinio com bordas corroídos e com argilo minerais. Plagioclásios com alterações para sericita e finas lamelas de muscovita. Nicóis cruzados

PRANCHA 9.10- Fotomicrografias do tipo granítico Rosa Olinda atacado por HCl



Fotomicrografia 1 - Cristais de biotita cloritizada (com oxido de ferro) envolvendo cristal de plagioclásio alterado para argilo minerais. Nicóis cruzados. clor = clorita



Fotomicrografia 2 - Cristal de biotita alterado para muscovita (cor de interferência) e plagioclásio com lamelas de sericita. Notar bordos corroídos da biotita. Nicóis cruzados. musc = muscovita



Fotomicrografia 3 - Cristal de biotita alterado para muscovita (cor de interferência) e plagioclásio com argilo minerais. Notar bordos corroídos da biotita alterada. Nicóis cruzados. biot =biotita



Fotomicrografia 4 - Cristal de biotita com textura simplectica incluso em feldspato potássico alterado por argilo minerais. Nicóis cruzados. biot =biotita

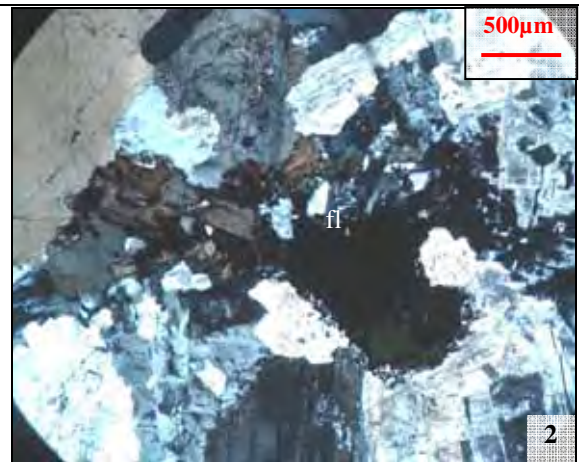


Fotomicrografia 5 - Cristal de clorita envolvendo plagioclásio (albita) com lamelas de mica branca e feldspato potássico alterado para argilo minerais. Nicóis cruzados. clor = clorita, k-f = feldspato potássico



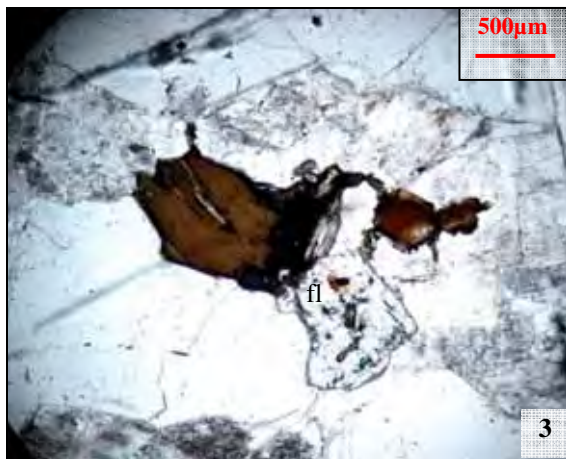
Fotomicrografia 6 - Cristais de biotita corroídos e feldspato (plagioclásio e potássico) alterado para argilo minerais. Nicóis cruzados. biot = biotita

PRANCHA 9.11- Fotomicrografias do tipo granítico Branco Savana atacado por HCl.



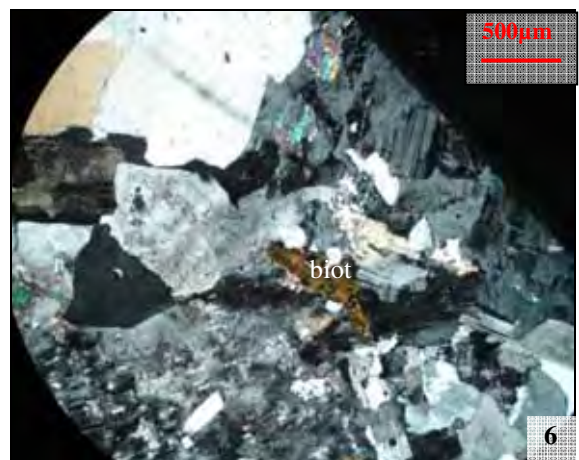
Fotomicrografia 1 - Cristais de biotita subédrica, notar contornos irregulares e “esfiapados”. Nicóis paralelos.

Fotomicrografia 2 -- Cristais de biotita subédrica intercrescidos com fluorita. Nicóis cruzados. fl = fluorita



Fotomicrografia 3 - Cristal de biotita subédrico e intercrescido com fluorita, notar limites dos cristais (quartzo e feldspato) bem delimitados e alterações para argilo mineral no feldspato. Nicóis paralelos.

Fotomicrografia 4 -- Cristal de biotita subédrico e intercrescido com fluorita. Nicóis cruzados fl = fluorita

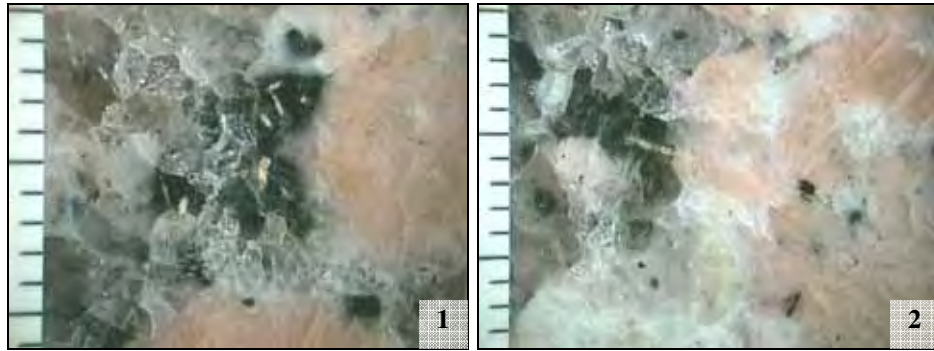


Fotomicrografia 5 - Cristal de biotita alterado para mica branca e argilominerais, notar aspecto turvo dos feldspatos. Nicóis cruzados. biot = biotita

Fotomicrografia 6 -- Cristal de biotita e muscovita intercrescidos com feldspato potássico. Nicóis cruzados. biot = biotita

PRANCHA 9.12 - Fotomicrografias do tipo granítico Branco Cristal Quartzo atacado por HCl.

Granito Rosa Iracema



Fotografia 1: Quartzo com microfissuras e contatos preenchidos por formação de material argiloso, biotita com inclusões (allanita e apatita) alteradas para material argiloso.

Fotografia 2: Feldspato potássico com inclusões de plagioclásio caulinizado e biotitas com inclusões alteradas e substituição para material argiloso.

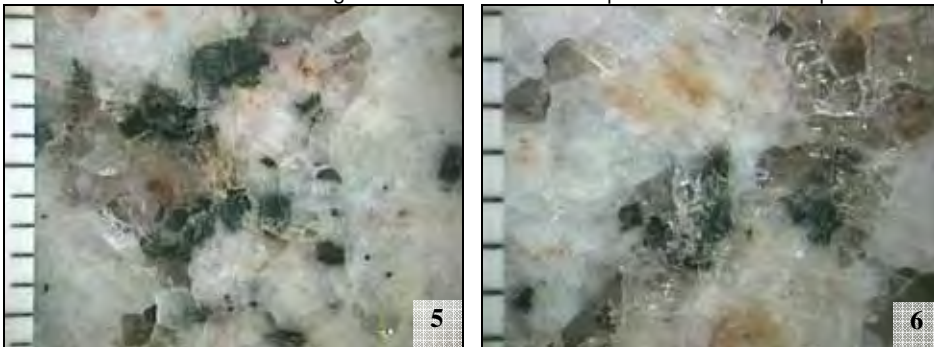
Granito Rosa Olinda



Fotografia 3: Feldspato potássico com pontos brancos formados por microinclusões de plagioclásio alterado para material argiloso, biotitas levemente corroídas e contatos dos cristais preenchidos por fina camada de material argiloso .

Fotografia 4: Detalhe do cristal de allanita zonada e argilizada com óxido ferro saindo pelas microfissuras de quartzo.

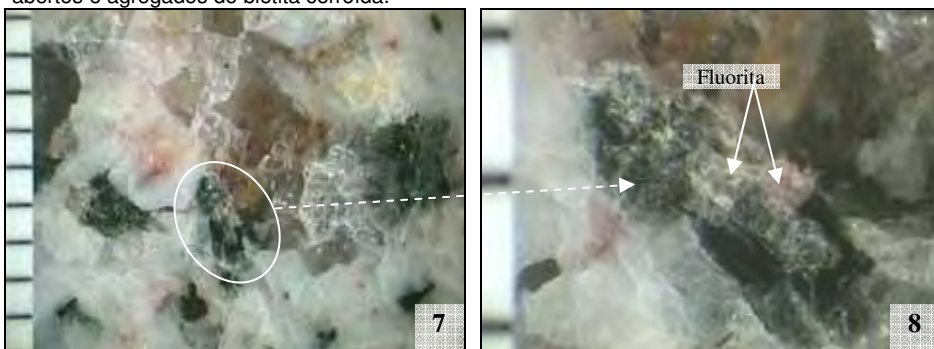
Granito Branco Savana



Fotografia 5: Plagioclásio esbranquiçado com pontos argilizados, quartzo com microfissuras e contatos ressaltados e biotita corroída com camadas de material argiloso.

Fotografia 6: Plagioclásio com óxido de ferro nas maclas, quartzo com microfissuras e limites ressaltados mais abertos e agregados de biotita corroída.

Branco Cristal Quartzo



Fotografia 7: À esquerda plagioclásio com núcleo argilizado, óxido de ferro (vermelho) como inclusão no feldspato, biotitas corroídas e quartzo com contatos mais ressaltados (abertos).

Fotografia 8: Detalhe da biotita corroída com inclusões também alteradas de fluorita.

PRANCHA 9.13 - Fotografias demonstrando o efeito causado pelo ataque do reagente por Hidróxido de Potássio - KOH nos quatro granitos. Fotografias obtidas de lupa, escala à esquerda das Fotografias em milímetros.

9.4 CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA AO ATAQUE E PROPRIEDADES MINERALÓGICAS

A correlação das características mineralógicas dos quatro tipos graníticos estudados com os respectivos resultados dos testes de alterabilidade química evidencia a influência dos parâmetros petrográficos na resistência dos referidos materiais ao ataque químico.

Para um entendimento mais abrangente dos efeitos dos reagentes sobre os granitos estudados, foi utilizada a média dos valores de brilho medidos antes dos ensaios (Quadro 9.2) e calculada a média de brilho após os ataques por tipo granítico do Quadro 9.3. Estes valores permitiram calcular uma média de perda de brilho geral por tipos graníticos. Visando avaliar se a resistência ao brilho dos granitos ao ataque químico estaria sendo influenciada pela suas variações mineralógicas, foram correlacionados as médias de brilho antes e após os ataques com as respectivas proporções mineralógicas de feldspato potássico, plagioclásio, quartzo e micas (biotita, clorita e mica branca) apresentadas no Quadro 6.1, Capítulo 6. Análise Petrográfica. Estas correlações estão representadas através do Quadro 9.4 e foram esquematizadas graficamente na Figura 9.3.

Quadro 9.4 - Correlação das médias de brilho *antes* com a média de brilho *após* os ataques por tipos graníticos com a mineralogia dos quatro tipos graníticos.

Amostras	Brilho ANTES	Brilho APOS	Perda de brilho (%)	MINERALOGIA (%)			
				Quartzo	K-Feldspato	Plagioclásio	Micas
RI	71	60	15	30	43	17,5	8
RO	87	76	13	28	36	22	11,5
BS	76	69	9	34	43	16	6
BCQ	79	70	11	35	40	17	6,5

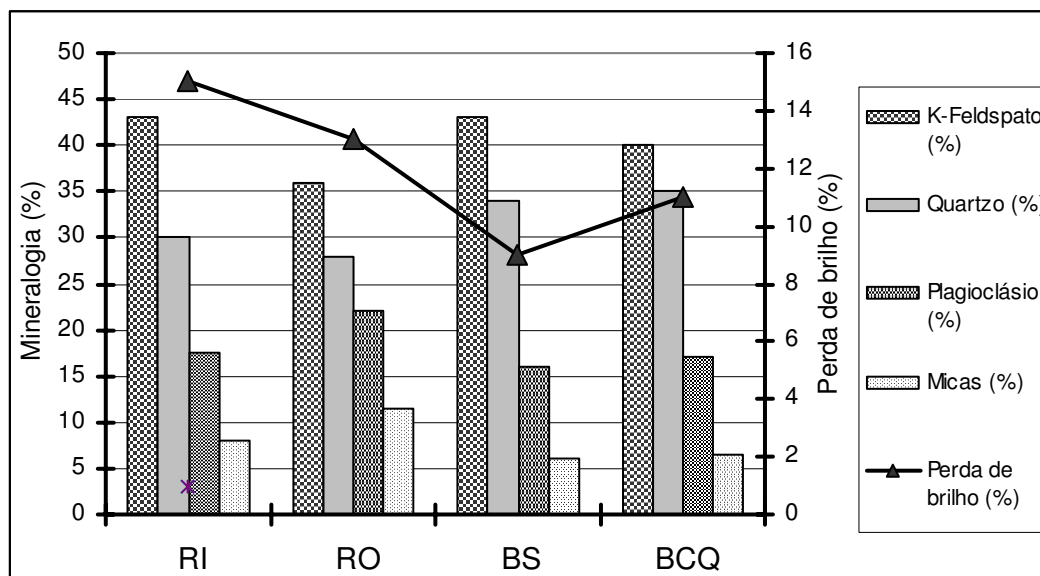


Figura 9.3 - Correlação das proporções mineralógicas com a média de perda de brilho nos quatro granitos. RI: Rosa Iracema, RO: Rosa Olinda, BS: Branco Savana e BCQ: Branco Cristal Quartzito.

A maior relativa perda de brilho apresentada pelos granitos rosas (Iracema e Olinda) relacionam-se às suas menores proporções de quartzo e maiores teores de micas (biotita, clorita e mica branca) em relação aos granitos brancos (Quadro 9.4 e Figura 9.3). O quartzo é o mineral de maior resposta ao polimento nos granitos, devido à sua estrutura tetraédrica, gerando elevado lustro. As micas (biotita, clorita e mica branca) não permitem um "fechamento completo" da superfície devido à sua estrutura placóide, gerando pequenas cavidades nas placas, que comprometem o polimento da rocha. Com a ação dos reagentes o efeito de corrosão nas pequenas cavidades é intensificado e registrado através da perda de brilho das placas, como pode ser observado no quadro 9.4 e na Figura 9.3. Da mesma forma as alterações sobre o plagioclásio, com formação de material argiloso conduzem a uma maior perda de brilho.

A menor perda de brilho nos tipos graníticos brancos, que apresentam maior proporção de quartzo é coerente, visto que o quartzo é mais resistente ao ataque dos ácidos devido à sua composição química (SiO_4), principalmente quando comparado aos feldspatos, que apresentam K, Na e Ca, elementos bastante instáveis em contato com os reagentes. Entretanto o granito Branco Savana apresenta menor perda de brilho que o Branco Cristal Quartzito, embora suas proporções composicionais sejam as muito semelhantes, esta perda de brilho mais baixa ocorre provavelmente devido à menor quantidade de minerais de alteração (clorita, muscovita, sericita, argilo minerais, carbonato, óxido/hidróxido de ferro (quadro 6.1)) quando comparados ao granito Branco Cristal Quartzito.

9.5 CORRELAÇÃO ENTRE PERDA DE REAGENTE, POROSIDADE E MICROFISSURAMENTO

Como alguns granitos estudados apresentaram variadas intensidades de absorção durante o ensaio de ataque químico, demonstrado visualmente pelo nítido escurecimento das amostras, considerou-se importante determinar a quantidade de perda dos reagentes após os ensaios. Estes valores de perda foram obtidos medindo-se o volume de reagente colocado nos cilindros de cada amostra antes do ensaio (50 ml) e medindo-se a quantidade de cada reagente recolhido após o tempo determinado dos ensaios. A diferença dos volumes medidos antes e após o ataque resultou na perda de reagente calculada em mililitros e em porcentagem, apresentada no Quadro 9.5.

Quadro 9.5 Perda de reagente após o ataque químico em mililitros e em porcentagem:

Reagentes Amostras	PERDA DE VOLUME DE REAGENTE									
	NH ₄ Cl		NaClO		C ₆ H ₈ O ₇		HCl		KOH	
	ml	%	ml	%	ml	%	ml	%	ml	%
Rosa Iracema	0,5	1	4,5	9	0,0	0	2,0	4	6,0	12
Rosa Olinda	2,0	4	1,0	2	0,0	0	1,0	2	3,0	6
Branco Savana	1,5	3	4,5	9	3,0	6	6,0	12	8,0	16
Branco Cristal Quartzo	2,5	5	1,5	3	1,0	2	5,0	10	7,5	15

As perdas dos reagentes neste ensaio de ataque químico podem ocorrer devido à absorção das rochas, ao poder de dissolução do agente químico sobre os minerais e até mesmo pela evaporação destes reagentes, quando não são tampados durante o ensaio. Este último fator não será considerado no presente trabalho, visto que os cilindros com reagentes foram devidamente cobertos durante o tempo de duração do ensaio com vidro de relógio (Fotografia 9.2).

A absorção das rochas pode ser acrescida sob ação dos agentes agressivos que reagem com a rocha dissolvendo os materiais de preenchimento dos contatos, de microfissuras, até mesmo de maclas e clivagens dos minerais, aumentando a porosidade aberta e provavelmente a permeabilidade do granito. O grau de alteração mineral apresentado pela rocha antes da realização do ensaio é um fator que pode influenciar na perda de reagente, pois quanto mais alterados forem os minerais, mais facilmente os agentes irão reagir através da rocha.

O microfissuramento também é um parâmetro importante na análise da perda de reagentes, pois está diretamente associado à porosidade e absorção das rochas. Portanto a absorção, porosidade e microfissuramento são parâmetros que ao serem correlacionados

permitem elucidar as variações nas perdas de reagentes nos quatro tipos graníticos. Estes parâmetros foram correlacionados e estão apresentados no quadro 9.6 e representados graficamente na Figura 9.4.

Quadro 9.6 - Resultados de perda de reagente, porosidade, absorção e microfissuras dos quatro tipos graníticos

AMOSTRA	ROSA IRACEMA	ROSA OLINDA	BRANCO SAVANA	BRANCO CRISTAL QUARTZO
Perda de reagente média (ml)	2,6	1,4	4,6	3,5
Porosidade (%)	0,87	0,88	0,91	0,80
Absorção d' água (%)	0,33	0,33	0,35	0,31
Microfissuras/mm ²	0,24	0,22	0,31	0,25

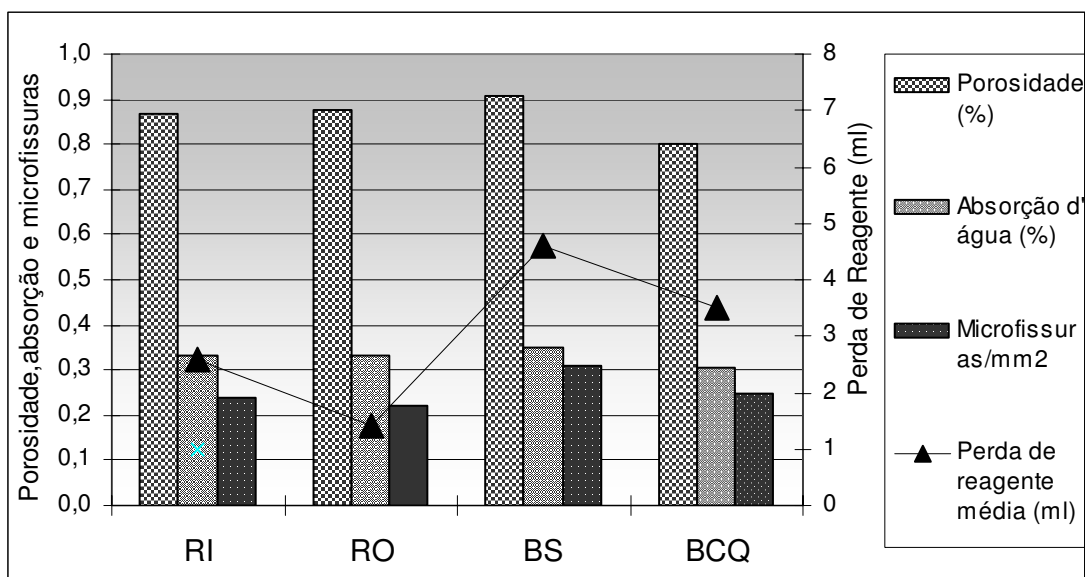


Figura 9.4 - Correlação da porosidade, absorção, microfissuras com a perda de reagente medida após o ensaio de ataque químico nos quatro tipos graníticos. RI: Rosa Iracema, RO: Rosa Olinda, BS: Branco Savana e BCQ: Branco Cristal Quartzto.

Os granitos rosas (Rosa Iracema e Rosa Olinda) mostraram de forma geral valores de perda de reagente mais reduzidos em relação aos granitos brancos, devido aos índices de microfissuramento e grau de alteração mineral relativamente menores. O granito Rosa Olinda possui os menores valores de perda de reagente, embora sua porosidade e absorção não sejam menores; contudo o menor microfissuramento associado ao baixo grau de alteração mineral (Quadro 6.1), juntamente com seus maiores índices de polimento (que causa um maior “fechamento” na superfície da placa) certamente contribuíram na menor perda de reagente no granito Rosa Olinda.

O granito Branco Savana apresentou proporcionalmente as maiores perdas em todos os tipos de reagentes (Quadro 9.5), fato que é corroborado pela sua mais elevada porosidade, absorção d'água e microfissuramento comparados com os outros tipos graníticos (Quadro 9.6 e figura 9.5). O Granito Branco Cristal Quartzo embora tenha os menores índices de porosidade e de absorção, possui um grau de alteração mineral entre moderado a alto, com maior incidência de minerais de alteração (clorita, muscovita, sericita, argilominerais, epidoto, carbonatos, óxido/hidróxido de ferro (quadro 6.1)) que são mais facilmente carregados e dissolvidos (principalmente sobre a ação do hidróxido de potássio e ácido clorídrico). Estes fatos conduzem a um aumento na absorção após o ataque químico, corroborando com a segunda maior perda de reagente apresentada (Quadro 9.6 e Figura 9.4).

É interessante notar que os reagentes que demonstraram maior absorção, evidenciado pelo escurecimento nas amostras, foram o ácido clorídrico e o hidróxido de potássio, justamente os mesmos que apresentaram as maiores perdas de volume. Sendo que o hidróxido de potássio mostrou valores cerca de duas vezes acima da média apresentada, especialmente sobre os granitos com maiores índices de microfissuramento e de minerais de alteração, respectivamente Branco Savana e Branco Cristal Quartzo (Quadros 9.5 e 9.6).

Estes fatos confirmam as considerações sobre o incremento da absorção e porosidade dos granitos após os ensaios de ataque químico causada pela atuação, principalmente do reagente hidróxido de potássio, que dissolve os materiais de preenchimento de contatos e de microfissuras, como sílica, carbonato e argilominerais, conduzindo aberturas de canais.

9.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os granitos ornamentais do *stock* granítico Serra do Barriga, embora apresentem entre si diferenças na granulação e nas proporções mineralógicas, reagem de forma muito semelhante aos agentes agressivos utilizados no ensaio de ataque químico, com alterações minerais e variações cromáticas sutis indicando que estas rochas, de modo geral, podem ser consideradas medianamente resistentes ao ataque químico.

Os reagentes que apresentaram maior poder reativo sobre os granitos estudados foram os ácidos cítrico e clorídrico e secundariamente o hidróxido de potássio. Os ácidos provocaram as maiores reações através de dissoluções e corrosões intensas, sobretudo nos minerais que já detinham certo grau de alteração antes do ataque químico. O

ácido cítrico por não ser absorvido pelos granitos gerou as maiores perdas de brilho, afetando todos as amostras. O ácido cítrico foi mais reativo por permanecer mais tempo em contato com as amostras, apresentou maior poder de corrosão a nível mineral, além da absorção, embora não tenha causado as maiores perdas de brilho. Já o hidróxido de potássio, ainda que não tenha causado corrosões minerais, apresentou um poder de dissolução e absorção considerável sobre todos os quatro tipos graníticos, corroborado pela maior perda de volume após o ensaio. Os resultados obtidos no ataque químico para os quatro tipos graníticos estão resumidos no quadro 9.7.

Quadro 9.7 - Resumo dos resultados obtidos no ataque químico para os quatro tipos graníticos.

ROCHAS		ROSA IRACEMA	ROSA OLINDA	BRANCO SAVANA	BRANCO CRISTAL QUARTZO
Alteração mineral antes do ataque		Média	Baixa	Média	Média a Alta
Reagente mais agressivo	Alteração mineral	ácido cítrico e clorídrico	ácido cítrico e clorídrico	ácido cítrico e clorídrico	ácido cítrico e clorídrico
	Perda de Brilho	Mais elevada	média	baixa	baixa a média
Absorção		baixa a média	baixa	mais elevada	mais elevada a média
Perda de reagente		baixa	baixa	alta	média

No Granito Rosa Iracema o efeito do ácido clorídrico é maior, em comparação aos granitos brancos. A corrosão das micas (biotitas, cloritas e muscovitas) e alteração nos plagioclásios com formação de material argiloso gera maior perda de brilho também pelo ácido cítrico e cloreto de amônia. Os mesmos efeitos para os outros reagentes foram observados, porém com intensidade menor.

O granito Rosa Olinda, por apresentar maior proporção de biotitas com respectivas inclusões, mostrou a maior alterabilidade ao nível de minerais dentre todos os quatro tipos, principalmente sob ação dos ácidos clorídrico e cítrico, com variação cromática, corrosão nos minerais e suas inclusões, além de oxidação e abertura do preenchimento de microfissuras. Estes mesmos efeitos ocorrem sob ação dos outros reagentes, porém com intensidade menor. Apesar das reações descritas acima, o Rosa Olinda possui perdas de brilho discretas (Figura 9.1), provavelmente por apresentar um brilho inicial superior aos demais e pelo seu baixo grau de alteração mineral, conforme constatado na análise petrográfica.

No granito Branco Savana a alteração por ácido clorídrico é a mais destrutiva, porém a maior perda de brilho foi gerada pelo ácido cítrico (Figura 9.1). Os efeitos, em comparação ao granito Branco Cristal Quartzo, são muito semelhantes (corrosão das micas e formação de materiais argilosos). O hidróxido de potássio é mais reativo dissolvendo matérias de preenchimento de microfissuras e em contatos do quartzo e gerando pontos de oxidação entre os minerais, sem contudo causar variações cromáticas visíveis. Os outros reagentes apresentam as mesmas alterações, porém com menor intensidade.

O granito Branco Cristal Quartzo apresentou reações minerais mais proeminentes quando atacado por ácido clorídrico (HCl) e reações menores com ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), porém foi este reagente que causou maior perda de brilho. Os minerais que compõe o granito Branco Cristal Quartzo são mais resistentes ao hidróxido de potássio (KOH), cloreto de amônia (NH_4Cl) e hipoclorito de sódio (NaClO), visto que não mostram alterações significativas; no entanto, o hidróxido de potássio percola a rocha abrindo espaço de microfissuras e contatos.

Os granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) se mostram mais resistentes ao ataque dos reagentes, devido as maiores porcentagens de quartzo e menores de materiais argilosos. O Branco Savana apresenta em média a menor perda de brilho, provavelmente pela menor proporção de minerais de alteração, indicando que uma rocha com menos minerais suscetíveis será mais resistente, especialmente no ataque químico. Com exceção do ácido clorídrico, a influência das reações químicas observadas não mostrou maiores efeitos estéticos sobre os granitos brancos. Os granitos rosas (Iracema e Olinda) por apresentarem maior porcentagem de feldspatos (potássico e plagioclásio), micas (biotita, clorita e muscovita), anfibólio e allanita mostram-se menos resistentes às soluções, apresentando os maiores valores de perda de brilho, além dos maiores efeitos de alteração e corrosão nos minerais.

A correlação entre mineralogia e resistência ao ataque químico apresenta-se coerente, principalmente a relação inversa entre perda de brilho e quantidade de quartzo (Quadro 9.4 e Figura 9.3). Da mesma forma a correlação entre absorção, porosidade, microfissuras e perda de reagente mostraram-se direta (Quadro 9.5 e Figura 9.4). Isto indica que para um entendimento global a respeito do comportamento das rochas frente aos reagentes nos testes de alterabilidade, os resultados obtidos não devem ser analisados isoladamente, mas sempre correlacionados com a mineralogia, características petrográficas e os índices físicos. A utilização dos parâmetros petrográficos na qualificação das rochas ornamentais tem contribuído significativamente para uma avaliação preliminar mais segura e suas suscetibilidades nos ambientes agressivos em que as rochas são submetidas.

Considera-se que os granitos estudados podem ser amplamente utilizados em obras civis, tanto em ambientes de interiores quanto exteriores. Entretanto, diante dos resultados obtidos neste ensaio, recomenda-se que os cuidados quanto à limpeza e a manutenção devam ser realizados utilizando-se apenas um pano úmido com sabão neutro diluído. Devem ser evitados o contato destes granitos com sucos de frutas ácidas e vinagres ao longo do uso para que se possa manter as condições estéticas.

Ainda que os granitos estudados mostrem-se relativamente resistentes, todas as substâncias químicas empregadas nos testes (normalmente contidas nos produtos de limpeza de uso diário) apresentaram algum poder agressivo sobre estas rochas, principalmente no tocante aos ácidos e ao hidróxido. Por serem materiais naturais, muitos produtos de limpeza usados na manutenção de materiais cerâmicos danificam, por sua vez, o brilho e a coloração natural das rochas. Diante do exposto, recomenda-se que devem ser evitados produtos de limpeza ácidos (ácido muriático); alcalinos (soda cáustica) e compostos à base de amônia.

O *stock* granítico Serra do Barriga está localizado na porção NNW do Estado do Ceará, próximo ao km 118 da BR 222, no município de Sobral. Apresenta forma arredondada, de tipo circunscrito anelar, com aproximadamente 38 km² de exposição. Está inserido na porção noroeste do DCC (Domínio Ceará Central). Datações realizadas utilizando-se o método U/Pb em monazitas, forneceram idade corresponde a $522,2 \pm 7,6$ Ma.

A Serra do Barriga é formada por um granito caracterizado como um corpo pós-tectônico de caráter polintrusivo, no qual são distinguidos diversos tipos faciológicos, cujos critérios de variação estão associados à coloração, granulação e proporção mineralógica. Entretanto investigou-se apenas os tipos graníticos minerados, tendo-se em vista que o objetivo básico da pesquisa relaciona-se ao estudo de suas rochas ornamentais, comercialmente conhecidas por Rosa Iracema, Rosa Olinda, Branco Savana e Branco Cristal Quartzo.

O granito Rosa Iracema, constitui a faciologia dominante em todo o corpo granítico, correspondendo a 91% da superfície da Serra do Barriga, ocorre como lajedos, campos de matacões de volumes variáveis e maciço nas encostas. Os outros tipos faciológicos ocorrem em formas variadas circunscritas dentro do tipo granítico rosa. Os granitos brancos (Savana e Cristal Quartzo) representam 4,3% da área; afloram como lajedos na base e maciço nas encostas, seus contatos com o tipo Rosa Iracema são gradacionais. Afloram também na borda oeste com formas elipsóides, na borda sudoeste de forma irregular, na porção leste afloram em lajedos, de forma curva acompanhando parte do contorno da borda da serra. Embora apresentem dois fácies, suas variações gradacionais e muito próximas não permitiram separá-los cartograficamente. Os contatos gradacionais registrados entre os granitos estão associados à transição de tipos graníticos menos alterados (rosas) para tipos mais alterados (brancos).

O granito Rosa Olinda constitui 4,7% da área do *stock* e aflora na borda leste principalmente em forma de matacões na base, mas também como lajedos e maciço nas encostas. Os contatos desta rocha com as outras faciologias ocorrem de modo nítido, exibindo características litológicas distintas em relação aos outros fácies estudados, indicando ser o resultado da intrusão de um outro pulso magmático.

O corpo granítico apresenta variações mineralógicas que mudam a sua tonalidade de rosa para rosa claro de branco para branco acinzentado. Ocorrem variações texturais, enclaves máficos que diminuem das bordas para o centro do corpo granítico, diques sin-plutônicos, veios aplíticos de espessuras variadas no granito Rosa Iracema.

Os granitos da Serra do Barriga, de modo geral, são inequigranulares de granulação média a grossa, hipidiomórficos, compostos por feldspato potássico (microclínio), quartzo e plagioclásios (albita e oligoclásio), podendo apresentar como minerais acessórios biotita, hornblenda, apatita, opacos, titanita, allanita e fluorita. Minerais secundários, em quantidades reduzidas, estão representados por sericita, muscovita, clorita, epidoto, carbonatos e argilominerais, além da presença de óxidos e hidróxidos de ferro. Em termos gerais, correspondem a variedades de sienogranitos e monzogranitos inequigranulares a megaporfíricos diferenciados entre si tanto pela coloração quanto pelos aspectos composicionais e texturais exibidos.

O Granito Rosa Iracema é o tipo granítico de maior volume, corresponde a um sienogranito inequigranular grosso de coloração rosa a rosa claro, com estrutura isótropa e granulação de submilimétrica a 40 mm. A mineralogia essencial é formada em média por 43% de microclínio, 30% de quartzo, 17,5% de plagioclásio (albita e oligoclásio), 6% de biotita e 0,5% de hornblenda reliquiar. Os minerais acessórios são representados por titanita, allanita, apatita, zircão, opacos e fluorita, perfazendo no total cerca de 1% do volume total da rocha. Os minerais secundários são clorita, muscovita, sericita, epidoto, carbonatos e óxidos/hidróxidos de ferro e perfazem em torno de 2%. Apresentam média de microfissuras em torno de 0,24/mm², caracterizando um grau baixo de microfissuramento.

O granito Rosa Olinda diferencia-se visivelmente dos demais tipos petrográficos estudados pela sua textura porfírica e pela proporção maior de minerais máficos. Corresponde a um biotita monzogranito porfírico serial de matriz inequigranular de coloração rosa acinzentado. Cerca de 30% da rocha é composta por fenocristais, sendo que destes, 15% são feldspatos potássicos, 10% de quartzo e 5% de plagioclásio. A mineralogia essencial é formada em média por 36% de feldspato potássico (microclínio), 28% de quartzo, 22% de plagioclásio (albita e oligoclásio), 10% de biotita e mais raramente anfibólio reliquiar. Os minerais acessórios, cerca de 2%, são representados por titanita, allanita, apatita, zircão e opacos, enquanto os secundários perfazem em torno de 1,5% da rocha com clorita, muscovita, sericita, epidoto, carbonatos e óxidos/hidróxidos de ferro. Apresenta média de microfissuras de 0,22/mm², classificados com grau baixo de microfissuramento.

O granito Branco Savana mostra estrutura homogênea, corresponde a um sienogranito inequigranular médio a grosso, de coloração branco acinzentada. A rocha apresenta textura fanerítica inequigranular com granulação desde submilimétrica até cerca de 20 mm. A mineralogia essencial é formada em média por 43% de feldspato potássico (microclínio), 34% de quartzo, 16% de plagioclásio (albita e oligoclásio) e 5% de biotita, além de 0,5% de minerais acessórios: titanita, apatita, zircão e opacos; fluorita em torno de 0,5%.

Os minerais secundários ocorrem em torno de 1%, representados por clorita, muscovita, sericita, epidoto, carbonatos e óxidos/hidróxidos de ferro. Apresentam de 0,31 microfissuras/mm², considerado ainda de baixo grau. A transformação mineral no granito Branco Savana apresenta diversos graus de intensidade, onde os feldspatos estão parcialmente alterados para sericita e argilominerais e a biotita, para clorita, fluorita, opacos e muscovita.

O granito Branco Cristal Quartzito com o menor volume conhecido corresponde a um sienogranito inequigranular grosso, com coloração branca a branca acinzentada, devido aos feldspatos brancos com cristais de quartzo acinzentados. A mineralogia essencial é formada em média por 40% de feldspato potássico (microclínio), 35% de quartzo, 17% de plagioclásio (albita e oligoclásio) e 4% de biotita. Os acessórios, cerca de 1%, são formados por titanita, apatita, zircão e opacos, além da presença de 0,5% de fluorita, bem como, 2,5% de produtos de alterações deutéricas representadas por clorita, muscovita, sericita, epidoto, carbonatos e óxidos/hidróxidos de ferro. As transformações minerais apresentam grau de intensidade maior neste tipo granítico, onde as amostras exibem feldspatos e biotita parcial ou totalmente alterados para argilominerais, sericita, muscovita. Em nível de afloramento apresenta contatos gradacionais, normalmente difusos, e associados com o tipo granítico Branco Savana, representando uma variação faciológica deste.

A geoquímica de rocha total nos granitos estudados diferencia-se por distintos teores de sílica, os quais variam no intervalo entre 71,8 e 77,7%. Mostram correlações negativas para os óxidos Al₂O₃, TiO₃, CaO, FeO+Fe₂O₃ e MgO coerentes com a evolução magmática natural, com certo desalinhamento do granito Rosa Olinda, sugerindo origem por um pulso magmático distinto para este último. A forte dispersão dos elementos traços, assim como elevados teores de Rb, reduzidos de Sr e Zr podem refletir o elevado grau evolutivo dos magmas geradores dos granitos estudados. A litogeoquímica permitiu classificar os granitos da Serra do Barriga como sendo de natureza cálcio-alcalina peraluminosos, de alto potássio, cristalizados a partir de magmas originalmente metaluminosos altamente evoluídos. Diagramas de classificação de ambientes geotectônicos posicionam os granitos à ambientes orogênicos, pós-colisionais, o que encontra apoio quanto ao contexto geológico a que se insere, à geometria da intrusão, aos aspectos composicionais, texturais e estruturais de suas faciologias, bem como em função da idade de 522,2 ± 7,6 Ma, obtida para a faciologia do granito Rosa Iracema.

A química mineral permitiu classificar os minerais dos granitos estudados através de diagramas, onde o feldspato potássico é representado pelo ortoclásio, os plagioclásios mostram uma transição de albita para oligoclásio. As biotitas posicionam-se no campo da annita com tendência a siderofilita, enquanto que as cloritas correspondem à dafinita e os

anfibólitos a ferro-edenita. As transformações minerais pós-magmáticas como exsolução (pertitização; formação de mirmequitas), potassificação, albitização, cloritização, sericitização e neoformação de fluorita são comumente encontradas nos granitos da Serra do Barriga e convergem para a idéia de que os granitos foram formados por um mesmo evento magmático, sendo que os granitos Rosa Iracema e Brancos Savana e Cristal Quartzito corresponderiam a faciologias originadas por fracionamento de um mesmo magma parental, acrescidas por novo pulso magmático de composição mais máfica representado pelo tipo granítico Rosa Olinda.

Os resultados obtidos nos ensaios físicos e físico-mecânicos qualificam todos os quatro tipos graníticos ornamentais do *stock* Serra do Barriga como detentores de boa qualidade, cujos parâmetros tecnológicos apresentados são, no geral, superiores ou próximos aos valores limítrofes estabelecidos para utilização como rochas ornamentais e de revestimento. Portanto estas rochas podem ser indicadas e aplicadas em ambientes de interiores e de exteriores em edificações.

Os resultados dos ensaios físico-mecânicos correlacionados com aspectos petrográficos dos quatro tipos graníticos ornamentais permitem concluir que o índice de minerais máficos correlacionados com a massa específica mostra-se direto para todos os granitos estudados; assim como, os granitos com menor índice de quartzo, maiores de feldspatos e micas apresentam maiores desgastes abrasivos. A velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas confirma que os fácies rosas (Iracema e Olinda), são os tipos graníticos com maior massa específica, mais resistentes à flexão e menos alterados, o que valida a utilização das velocidades de ondas ultra-sônicas na avaliação da qualidade das rochas analisadas.

Para o granito Branco Savana, a menor resistência à flexão (menor massa específica, maior absorção e porosidade) não reflete menor resistência à compressão. Evidenciando que a correlação entre resistência física e mecânica nem sempre é direta e neste granito ocorre em função da composição mineralógica, rica em minerais de alteração; do elevado grau de fissuramento e ainda da maior dilatação térmica com velocidade de propagação de ondas mais baixa.

Os tipos graníticos com melhor desempenho para aplicação como revestimento em fachadas de edifícios são os granitos Rosa Olinda e Rosa Iracema, devido aos seus índices de resistência à flexão e pelos seus respectivos coeficientes de dilatação térmica linear. Os granitos rosas são mais resistentes à flexão, enquanto que os brancos são mais resistentes à compressão. Não há correlação direta entre os valores de compressão e de flexão, devido às rochas apresentarem uma relativa heterogeneidade: textura inequigranular

variando entre grossa a média, porções porfíricas, além de minerais provenientes de alterações pós-magmáticas.

Os granitos ornamentais do *stock* granítico Serra do Barriga, embora apresentem entre si diferenças na granulação e nas proporções mineralógicas, reagem de forma muito semelhante aos agentes agressivos utilizados no ensaio de ataque químico, com variações cromáticas sutis e alterações minerais, indicando que podem ser consideradas rochas resistentes ao ataque químico. Entretanto comparando-se granitos brancos e rosas, os primeiros são mais resistentes, visto que suas reações não se mostram destrutivas (exceção ao ácido clorídrico) e os rosas apresentam maior perda de brilho e corrosão nos minerais devido à maior proporção de feldspatos e minerais máficos, tornando os efeitos de alteração mais aparentes.

Os agentes agressivos com maior poder reativo sobre os granitos foram os ácidos cítrico e clorídrico, com maiores corrosões e perdas de brilho das rochas, principalmente sob ação do ácido cítrico. Embora os granitos mostrem-se relativamente resistentes às substâncias químicas deve-se evitar exposições prolongadas a substâncias que contenham em sua composição ácidos clorídrico e cítrico, além de hidróxido de potássio que apresentam certo poder agressivo sobre estas rochas.

Diante dos resultados obtidos na presente pesquisa, conclui-se que os todos os granitos estudados são adequados para fins ornamentais, embora os tipos Rosa Iracema e Rosa Olinda sejam altamente resistentes e eficientes para aplicação tanto em pisos como em fachadas de ambientes interiores e exteriores, com os devidos cuidados na limpeza e manutenção. Para locais com maior incidência de substâncias química agressivas recomenda-se a aplicação dos granitos Branco Savana e Branco Cristal Quartzo.

A caracterização dos granitos ornamentais quanto ao seu jazimento, variação faciológica, composição mineralógica, parâmetros petrográficos, comportamento físico-mecânico e previsões de patologias são fundamentais na otimização dos processos produtivos (desde a seleção de áreas até a aplicação de peças) e na qualificação dos produtos comercializados, como no caso dos granitos estudados.

CAPÍTULO 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12768**. Rochas para Revestimento – Análise Petrográfica. 3 p. Rio de Janeiro, 1992(a).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12766**. Rochas para Revestimento – Determinação da Massa Específica Aparente, Porosidade Aparente e Absorção d'água Aparente. 2 p. 1992(b).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12042**. Materiais Inorgânicos – Determinação do Desgaste por Abrasão. 3 p. Rio de Janeiro, 1992(c)

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12767**. Rochas para Revestimento – Determinação da Resistência à Compressão Uniaxial. 2 p. Rio de Janeiro, 1992(d).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12763**. Rochas para Revestimento – Determinação da Resistência à Flexão. 3 p. Rio de Janeiro, 1992 (e).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12756**. Rochas para Revestimento – Coeficiente de Dilatação Térmica Linear. 3 p. Rio de Janeiro, 1992(f).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12764**. Rochas para Revestimento – Determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro. 3 p. Rio de Janeiro, 1992 (f).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818** Anexos – H Determinação da Resistência ao Ataque Químico. Rio de Janeiro, 1997.

AIRES BARROS, L. **Alteração e Alterabilidade de Rochas**. Instituto Nacional de Investigação Científica – Centro de Petrologia e Geoquímica da Universidade Técnica de Lisboa – Portugal, . 1991: 382 p.

AIRES-BARROS *et al.* Dry and wet laboratory tests and thermal fatigue of rocks. **Engenering Geology**, Amsterdam, vol. 9, p. 249-265, 1975.

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

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM - C 615**. Standard Specification for Granite Dimension Stone. Philadelphia, USA.1992:

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM - D 2845**. Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock. Philadelphia, USA. 1990

ARTHAUD, M.H.; VASCONCELOS, A.M.; NOGUEIRA NETO, J.A.; OLIVEIRA, F.V.C.; PARENTE, C.V.; MONIÉ, P.; LIEGEOIS, J.T.; CABY, R.; FETTER, A. Main structural features of Precambrian domains from Ceará (NE Brazil). In: International conference on Basement Tectonics, 14, 1998, Ouro Preto. **Abstracts...** Ouro Preto: UFOP, 1998, p. 84-85.

ARTHAUD, M. H. **Tectônica de napes e espessamento crustal brasileiro na região de Madalena/Boa Viagem – Ceará Central**. Exame de Qualificação – Doutorado. 2005. 92 f. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2005

ARTUR, A.C.; MEYER, A. P.; WERNICK, E. Características Tecnológicas de granitos ornamentais: a influência da mineralogia, textura e estrutura da rocha. Dados comparativos e implicações de utilização. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTES, 1/ SEMINÁRIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2, Salvador. **Anais...** Salvador: Museu Geológico da Bahia, 2001, p 13 -14.

BARKER, F.; ARTH, J. G. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archean bimodal trondhjemitic-basalt suites. **Geology**, v.4, p.596-600,1976.

BATCHELOR, R. A.; BOWDEN, P. Petrogenetic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. **Chemical Geology**. v.45. p.43-55. 1985.

BONIM, B. Les granites des Complexes Annulaires.Orléans. **Bureau des Recherches Géologiques et Minières** (BRGM), 1982.183p.

BRAGA, A.P.G.; PASSOS, C.A.B.; SOUZA, E.M.; FRANÇA, J.B.; MEDEIROS, M.F.; ANDRADE,V.A. **Projeto Fortaleza**. CPRM/DNPM:Recife, Vol.1. 1977.

BRITO NEVES, B. B, **Regionalização geotectônica do Pré-Cambriano nordestino**. 1975. 198f. Tese (Doutorado em Geologia Estrutural e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

BRITO NEVES, B.B. Contribuição à geologia do Pré-Cambriano. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 7, 1974, Fortaleza. **Atas...** Fortaleza, SBG – Núcleo Nordeste. 19 p.

CABY, R. & ARTHAUD, M. Major Precambrian nappes of the Brazilian belt, Ceará, northeast **Brazil**. **Geology**, 14: 871-874.1986.

CABY, R., 1989. Precambrian terranes of Benin-Nigeria and Northeast Brazil and the Late Proterozoic South Atlantic fit. In R.D. Dallmeyer (ed.). Terranes in the Circun-Atlantic Paleozoic Orogens. **Geological Society of America** Special Paper, 230, 145-158 p.

CABY, R.; SIAL, A.; ARTHAUD, M.H.; VAUCHEZ, A. Crustal Evolution and Brasiliano Orogeny in Northeast Brazil. In: DALLMEYER, R.D. e LECORCHÉ, J.P, (ed). **The West African Orogens and Circum Atlantic Correlatives**. New York, Springer-Verlag, 1991. p. 373 -397.

CAVALCANTE, J.C., FERREIRA, C.A., ARMESTO, R.C.G. E MEDEIROS, M.F. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Fortaleza: SUDEC, 1983. 1 mapa. Escala 1:500.000.

CAVALCANTE, J.C.; VASCONCELOS, A. M.; GOMES, F.E.M. **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Fortaleza: Convênio MME/CPRM Governo do Estado do Ceará/ Secretaria de Recursos Hídricos, 2003. 1 mapa. Escala 1:500.000.

CHIODI FILHO, C. Situação Brasileira no Mercado Internacional de Rochas Ornamentais: Retrospectivas e Perspectivas. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002, Recife. **Anais...** Recife: CETEM/CETEMAG, 2002, p. 138-145.

CHIODI FILHO, C. Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento no primeiro semestre de 2004. **Pedras do Brasil**, Espírito Santo, n. 29, p.50-61, agosto de 2004.

CHIODI FILHO, C. Balanço das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2004 - Novo Recorde Histórico de Crescimento. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1. e SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2. 2005, Guarapari. **Anais...** Guarapari: CETEM/CETEMAG, 2005. 1CD.

CICCU, R. *et al.* Valutazione Sperimentale Delle Caratteristiche di lavoro Degli Utensili Diamantati. In: CONGRESSO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS, 4., 1996, Canela. **Anais...** Canela: SBGE, 1996, p. 131-139.

COSTA, M.J. *et al.* Geologia da Bacia Jaibaras: Ceará, Piauí e Maranhão. **Projeto Jaibaras**. Brasília, DNPM/CPRM, 1979, 106 p.

DE LA ROCHE H. *et al.* A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 R2 – diagram and major – element analysis – its relationships with current nomenclature. **Chemical Geology**. V.29, p. 183-210, 1980.

DEARMAN, W.R.; TURK, N. ROWSHANEI, H. Detection of rock material variation by sonic velocity. **Bulletin of the International Association of Engineering Geologists**, Paris, n. 35, p. 3-8, 1987.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **An introduction to rock forming minerals**. 1 ed. London: Longman Group Ltd., 1966. 528 p.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral**. Brasília, 2004, p.110 -111.

FERNANDES, T. W. G. **Diagnóstico da Cadeia Produtiva de Rochas Ornamentais e de Revestimentos do Estado do Ceará: mineração serrarias, marmorarias e desafios do Setor**. 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

FETTER A.H., *et al.* Evidence for Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceara State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana. **Gondwana Research**, Osaka, v. 6, n.2, p. 265-273, 2003.

FETTER, A.H. **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**. 1999. 164p PhD thesis (Department of Geology) - Kansas University, Lawrence, 1999.

FIGUEIREDO, P.M.L.R. **Estudo tecnológico de rochas calcárias da região de Lisboa (Jurássico e Cretácio)**. 1977. Tese (Doutoramento) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1997.

FIGUEIREDO, P.M.L.R. *et al.* Contribuição para o Estudo das Propriedades Petrofísicas do Granito Asa Branca e Rosa Iracema do Ceará (Brasil). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1., e SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 2., 2001. Salvador. **Anais...** Salvador: CETEM/CETEMAG, 2001b, p. 31-36.

FIGUEIREDO, P.M.L.R.; AIRES-BARROS, L.; TORQUATO, J. R.; BESSA, M. F.; LIMA, M. A. B.; FERNANDES, H. M. Caracterização Tecnológica da Alterabilidade do Granito Rosa Iracema. **Revista de Geologia**: Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, v. 14, p. 5-10. 2001.

FRAZÃO, E. B. e FARJALLAT, J. E. S. Caracterização das Principais Rochas Silicatadas Brasileiras Usadas como Pedras de Revestimento. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PEDRA NATURAL, 1., 1995, Lisboa. **Anais...** Lisboa: 1995, p.47-58.

IRVINE, T. N. ; BARAGAR, W. R. A. A guide to chemical classification of the common volcanic rocks. **Canadian Journal of Earth Science**, v. 8, p.523-548. 1971.

ISRM – International Society of Rock Mechanics. Suggested methods for the determining the uniaxial compressive strength and deformability of rocks materials. **International Journal of Rock Mechanics**, Nova York, v. 16, Abstract, 1979.

LIMA, J. J. C. **Estudo da Dilatação Térmica de Rocha Usada em Revestimento de Edificações**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) 2002. 121 f. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

LIMA, L. C. ; SOUZA, M. J. N.; MORAIS, J. O. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE (Universidade Estadual do Ceará), 2000. 268 p.

MARMO, V. On Granites: A revised study. **Bulletin du Comission Geologique de Finlande**. Otaniemi, 227 p. 1971.

MATTOS, I. C.; ARTUR, A. C.; NOGUEIRA NETO, J. A. Caracterização Físico-Mecânica do Granito Ornamental Serra do Barriga, Sobral/CE: Resultados Preliminares. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 4.,2003, Fortaleza. **Anais...**Rio de Janeiro: CETEM/SBG, 2003, p. 86-93.

MATTOS, I. C.; NOGUEIRA NETO, J. A.; ARTUR, A. C.; SAUERBRONN, W. M Litogeoquímica do Granito Serra do Barriga, Sobral (CE): Resultados Preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9, 2003, Belém. **Resumos...**Belém: SBGq, 2003b, p. 614-618.

MESQUITA, M. P. S. **Composição, Estruturas, Propriedades Tecnológicas e Alterabilidade dos Granitos Ornamentais do Stock Morrinho, Santa Quitéria (CE)**. 2002. 171 f.Tese (Doutorado em Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2002.

MEYER, A. P. **A Influência da Petrografia no Comportamento Tecnológico de Rochas Ornamentais do Complexo Socorro (SP) e Maciço Pedra Branca (MG)**. 2003. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

MONTANI, C. **STONE 2003: Relatório econômico mondiale**. Faenza: Grupo Editoriale Faenza Editice. S.p.A, 2003. 237p.

MORAIS J. O.; SALES, F. A. C. B.; ROBERTO, F. A. C.; MATTOS, I. C. SOUZA, J. F.; LIMA, M. A. B. **Rochas Ornamentais do Ceará – Brasil**. Fortaleza: FUNCAP/SECITECE, 2004. 132p.

MORAIS, M. C.; RODRIGUES, E. P. Exemplo de aplicação de coloração seletiva de feldspato potássico e cálcicos – Técnica auxiliar no estudo de rochas. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v.24, n.97, p.32-35, 1978.

NAVARRO, F. C. Granitos Ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico e mecânico. In: CONGRESSO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 2., Punta del Leste. **Anais ...** Montevideo: SUG, 1998, p. 103 – 107.

NOGUEIRA NETO, J.A., **Evolução geodinâmica das faixas granulíticas de Granja e Cariré, extremo Noroeste da Província Borborema**. 2000. 239 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional), Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

NOGUEIRA NETO, J.A., MATTOS, I.C., SAUERBRONN, W.M., FERNANDES, A.H.M., CORDEIRO, E.R., NOGUEIRA, R.E.F.Q., CAJATY, A.A., ARTUR, A.C, SASAKI, J.M. Petrografia e química mineral de dois tipos faciológicos do Granito Serra da Barriga – Sobral (CE): Resultados Preliminares. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3., 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBG, 2002, p. 49 -54.

NOGUEIRA NETO. J.A. *et al.* Datação U/Pb em Zircão e Idade Modelo (TDM) de Corpo Granítico Sin-Cinemático da Região de Cariré – NW do Ceará. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17, Fortaleza, **Boletim de Resumos...**Fortaleza, 1997c. v.15, p. 95 – 97.

PEARCE, J. A.; HARRIS, N. B. W.; TINDLE, A. G. Trace elements discrimination diagrams for the tectonics interpretation of granitic rocks. **Journal of Petrology**. Oxford, v. 25, p. 956 – 983. 1984.

PHILLIPS, E. R., 1974. Myrmekite – one hundred years later. **Lithos**, Amsterdam, v. 7, n. 3, p.181-194, 1974.

RICHARD, L. R. Minpet for Windows - Version 2.02. Minpet Geological Software. Québec. 1995. 3 disquetes, 3½ pol.

ROBERTO, F. A. C. **Rochas Ornamentais do Ceará: Geologia, Pesquisa, Lavra, Beneficiamento e Mercado**. 1998, 225 f.. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1998.

ROBERTO, F. A. C.; VIDAL, F. W. H.; SALES, F. A. C. B.; J. F.; MATTOS, I. C.; LIMA, M. A. B.; MORAIS, J. O. O Setor de Rochas Ornamentais no Ceará – Brasil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 1 e CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2.,2005, Guarapari. **Anais....** Guarapari: CETEM/CETEMAG, 2005. 1 CD-ROM.

ROBINSON, P.; SPEAR, F. S.; SCHUMACHER, J. C.; LAIRD, J.; KLEIN, C.; EVANS, B. W.; DOOLAN, B. L. Phase relations of metamorphic amphiboles: Natural occurrence and theory. **Reviews in Mineralogy**, Washington, v.9B, p. 1-228. 1981.

RODRIGUES, E. P.; CHIODI FILHO, C.; COUTINHO, J.J.M. Importância da petrografia para a previsão do comportamento e da durabilidade de rochas ornamentais. Lisboa: **Rochas e Equipamentos**, v. 47, 2p. 1997.

SANTOS, A. A., **Caracterização Litoestrutural e Geocronológica da Região Fósforo-Uranífera de Itaitia- CE**. 2003. 100p. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

SAUERBRONN, W. M.. **Mapeamento Geológico da Porção Oriental da Serra do Barriga e Sua Aplicação no Setor de Rochas Ornamentais**. 2003. 220 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, 2003.

SECITECE/FUNCAP. **CATÁLOGO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO CEARÁ**, Fortaleza. Governo do Estado do Ceará, Fortaleza. 2002. 1 CD-ROM.

SUDENE e Ministério do Exército - Diretoria do Serviço Geográfico. Folha Sobral, Carta topográfica . Índice de Nomeclatura: SA-24-X-D-IV, 1972, escala 1:100.000.

STRECKEISEN, A. L. To each plutonic rock its proper name. **Earth Sci. Rev.**, V.12, p 1-33, 1976.

TAVARES JR., S. S. **Caracterização litoquímica e geocrologia Rb/Sr das rochas granitóides e ortognaisses da região de Santa Quitéria-Sobral, NW do Ceará.** 1992. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1992.

TAYLOR, S. R.; McLENNAN, S. M.; **The Continental Crust: its composition and evolution.** Oxford, Blackwell, 1985. 312p.

TEIXEIRA, W., Toledo, M.C.M., FAIRCHILD, T.R., TAIOLI, F. **Decifrando a Terra,** Oficina de Textos, São Paulo, Edusp, 2000. 140-166 p.

TORQUATO, J. R.; BESSA, M.F.; FERNANDES, H. M. Uso do PUNDIT na determinação de anomalias ultra-sônicas em blocos rochosos. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3., 2002, Recife. **Anais...** Recife: SBG, 2002, p. 20 -23

VELHO, J.; GOMES, C.; FERNANDES N. ;SANTOS, M.; FERREIRA, A.; PERDIGÃO, J. Caracterização físico-mecânica e ultra-sônica de rochas carbonatadas. In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOLOGIA, 5. Lisboa. **Atas...** Lisboa: Instituto Geológico e Mineiro, 1998, Tomo 84, Fascículo 2. 1998.

ANEXO 1: Análises de **feldspato potássico** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 36 oxigênios.

	RI14C31	RI14C32	RI14C33	RI14C34	RI14C35	RIC21	RIC22	RIC29
SiO ₂	64,15	64,45	64,64	63,30	64,33	63,96	64,41	64,09
TiO ₂	0,073	0,000	0,131	0,077	0,000	0,000	0,000	0,008
Al ₂ O ₃	17,73	17,58	17,61	17,97	17,71	17,83	17,98	17,94
Fe ₂ O ₃	0,067	0,096	0,060	0,035	0,057	0,006	0,070	0,055
MnO	0,000	0,003	0,043	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000
BaO	0,095	0,171	0,137	0,407	0,062	0,000	0,038	0,000
CaO	0,000	0,082	0,039	0,034	0,142	0,000	0,000	0,000
Na ₂ O	0,542	0,634	0,626	0,758	0,629	0,547	0,971	0,597
K ₂ O	15,91	15,49	15,67	15,14	15,73	15,82	15,17	15,85
Total	98,57	98,51	98,96	97,75	98,73	98,16	98,64	98,54
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,065	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,007	0,000	0,007	0,000	0,012	0,000	0,003
Si	12,04	12,08	12,07	11,98	12,05	12,03	12,03	12,02
Al	3,918	3,879	3,872	4,003	3,905	3,95	3,96	3,96
Fe ³⁺	0,009	0,014	0,008	0,005	0,008	0,001	0,010	0,008
Ti	0,010	0,000	0,018	0,011	0,000	0,000	0,000	0,001
Mn	0,000	0,000	0,007	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,007	0,013	0,010	0,030	0,005	0,000	0,003	0,000
Ca	0,000	0,016	0,008	0,007	0,028	0,000	0,000	0,000
Na	0,197	0,230	0,227	0,278	0,228	0,200	0,352	0,217
K	3,809	3,703	3,731	3,654	3,757	3,797	3,614	3,792
X	15,97	15,97	15,96	15,99	15,96	15,986	15,996	15,987
Z	4,013	3,962	3,983	3,973	4,028	3,997	3,969	4,009
Ab	4,918	5,824	5,724	7,058	5,682	5,004	8,875	5,413
An	0,000	0,405	0,202	0,178	0,698	0,000	0,000	0,000
Or	95,08	93,77	94,07	92,76	93,62	95,00	91,12	94,59
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000

ANEXO 1a: Continuação das análises de **feldspato potássico** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 36 oxigênios.

	RIC41	RIC42	ROC21	ROC31	ROC32	BSC12	BSC13	BS6C23
SiO ₂	64,35	64,37	65,56	63,51	64,94	64,64	64,74	62,82
TiO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al ₂ O ₃	17,93	17,92	18,40	17,88	18,02	17,92	18,26	18,14
Fe ₂ O ₃	0,023	0,082	0,000	0,000	0,000	0,018	0,088	0,000
MnO	0,021	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014
BaO	0,000	0,000	0,000	0,154	0,065	0,000	0,026	0,038
CaO	0,000	0,013	0,000	0,000	0,003	0,030	0,046	0,000
Na ₂ O	0,545	0,448	0,543	0,240	0,528	0,274	0,691	0,428
K ₂ O	16,05	15,95	11,85	16,22	16,22	16,44	15,83	15,95
Total	98,93	98,81	96,35	98,01	99,78	99,32	99,69	97,38
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,009	0,000
Si	12,03	12,03	12,21	12,01	12,04	12,04	12,00	11,94
Al	3,947	3,945	4,038	3,980	3,935	3,931	3,985	4,06
Fe ³⁺	0,003	0,012	0,000	0,000	0,000	0,003	0,012	0,000
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,003	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Ba	0,000	0,000	0,000	0,011	0,005	0,000	0,002	0,003
Ca	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,006	0,009	0,000
Na	0,197	0,162	0,196	0,088	0,190	0,099	0,248	0,158
K	3,828	3,805	2,818	3,912	3,834	3,907	3,742	3,868
X	15,98	15,99	16,25	15,99	15,97	15,98	15,99	16,004
Z	4,028	3,974	3,014	4,011	4,030	4,012	4,001	4,031
Ab	4,894	4,081	6,503	2,200	4,720	2,468	6,202	3,924
An	0,000	0,076	0,000	0,000	0,025	0,150	0,225	0,000
Or	95,11	95,84	93,50	97,80	95,25	97,38	93,57	96,08
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ANEXO 1b: Continuação das análises de **feldspato potássico** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 36 oxigênios.

	BS6C24	BS6C26	BS6C27	BSC35	BSC41	BSC44	BS6C47	BCQC34
SiO ₂	63,49	63,40	65,51	64,77	64,74	64,38	62,55	62,00
TiO ₂	0,039	0,100	0,004	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000
Al ₂ O ₃	17,98	17,78	18,12	18,19	18,00	18,06	17,83	17,68
Fe ₂ O ₃	0,058	0,037	0,080	0,055	0,178	0,102	0,208	0,080
MnO	0,000	0,026	0,000	0,010	0,000	0,017	0,000	0,033
BaO	0,000	0,000	0,049	0,154	0,150	0,163	0,000	0,069
CaO	0,002	0,000	0,026	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000
Na ₂ O	0,337	0,302	3,425	0,981	0,543	0,385	0,079	0,445
K ₂ O	15,98	16,17	11,50	15,33	15,99	16,27	15,97	16,13
Total	97,89	97,83	98,72	99,50	99,60	99,40	96,64	96,44
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024
Cl	0,004	0,016	0,002	0,012	0,000	0,011	0,000	0,000
Si	11,99	12,00	12,06	12,01	12,02	12,00	11,98	11,94
Al	4,00	3,96	3,93	3,972	3,937	3,965	4,02	4,01
Fe ³⁺	0,008	0,005	0,011	0,008	0,025	0,014	0,030	0,012
Ti	0,006	0,014	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Mn	0,000	0,004	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,005
Ba	0,000	0,000	0,004	0,011	0,011	0,012	0,000	0,005
Ca	0,000	0,000	0,005	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Na	0,123	0,111	1,222	0,353	0,196	0,139	0,029	0,166
K	3,851	3,904	2,699	3,627	3,788	3,869	3,901	3,963
X	16,00	15,98	16,00	15,99	15,99	15,98	16,03	15,96
Z	3,974	4,019	3,930	3,993	3,996	4,023	3,930	4,139
Ab	3,095	2,765	31,126	8,869	4,918	3,468	0,738	4,020
An	0,000	0,000	0,127	0,000	0,025	0,000	0,000	0,000
Or	96,90	97,235	68,75	91,13	95,06	96,53	99,26	95,98
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ANEXO 2: Análises de **plagioclásios** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na formula estrutural – base 36 oxigênios.

	RIC11	RIC12	RIC13	RIC23	RIC24	RIC25	RIC26	RIC27	RIC28
SiO ₂	64,37	67,22	66,42	67,47	65,02	67,94	65,43	67,42	67,01
TiO ₂	0,000	0,032	0,000	0,013	0,028	0,000	0,000	0,004	0,000
Al ₂ O ₃	21,79	19,70	20,25	19,68	21,11	19,41	21,19	19,82	18,97
Fe ₂ O ₃	0,075	0,000	0,026	0,008	0,088	0,000	0,026	0,000	0,000
MnO	0,000	0,000	0,028	0,014	0,012	0,007	0,036	0,000	0,003
BaO	0,009	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,026	0,000	0,104
CaO	3,174	0,816	1,373	1,253	2,179	0,589	2,794	1,270	0,165
Na ₂ O	9,51	10,87	10,54	10,80	10,12	10,99	9,688	10,71	8,185
K ₂ O	0,196	0,075	0,292	0,081	0,337	0,148	0,216	0,160	4,817
Total	99,12	98,76	98,94	99,32	98,94	99,15	99,42	99,39	99,26
SrO	0,000	0,057	0,000	0,000	0,034	0,052	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,000	0,003	0,000	0,009	0,003	0,000	0,000	0,000
Si	11,44	11,90	11,77	11,89	11,57	11,97	11,572	11,870	11,993
Al	4,559	4,105	4,227	4,083	4,422	4,028	4,414	4,111	3,999
Fe ³⁺	0,010	0,000	0,003	0,001	0,012	0,000	0,003	0,000	0,000
Ti	0,000	0,004	0,000	0,002	0,004	0,000	0,000	0,001	0,000
Mn	0,000	0,000	0,004	0,002	0,002	0,001	0,005	0,000	0,000
Ba	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,007
Ca	0,604	0,155	0,261	0,237	0,415	0,111	0,529	0,240	0,032
Na	3,277	3,730	3,622	3,689	3,489	3,756	3,322	3,658	2,840
K	0,044	0,017	0,066	0,018	0,076	0,033	0,049	0,036	1,100
X	16,01	16,01	16,00	15,97	16,00	16,00	15,99	15,98	15,99
Z	3,926	3,912	3,953	3,946	3,982	3,911	3,907	3,934	3,979
Ab	83,49	95,59	91,72	93,53	87,66	96,31	85,18	92,98	71,50
An	15,389	3,972	6,609	6,009	10,427	2,846	13,56	6,101	0,806
Or	1,121	0,436	1,671	0,456	1,910	0,846	1,256	0,915	27,694
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ANEXO 2a: Continuação das análises de **plagioclásios** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em de óxidos e na fórmula estrutural – base 36 oxigênios.

	RIC31	RIC32	RI14C11	RI14C12	RI14C21	RI14C22	RI14C23	RI14C24	RI14C25
SiO ₂	66,33	64,27	66,02	67,99	63,07	62,89	64,44	63,16	63,91
TiO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043	0,000	0,002	0,051	0,000
Al ₂ O ₃	20,77	21,80	21,52	21,09	22,60	22,40	21,90	21,93	21,88
Fe ₂ O ₃	0,252	0,086	0,094	0,149	0,072	0,118	0,140	0,223	0,170
MnO	0,012	0,000	0,000	0,002	0,026	0,003	0,019	0,002	0,000
BaO	0,000	0,057	0,003	0,073	0,000	0,057	0,078	0,000	0,000
CaO	1,808	3,295	1,850	0,813	4,068	3,856	3,520	3,617	3,509
Na ₂ O	10,221	9,522	9,580	9,148	9,115	9,040	9,396	9,056	9,450
K ₂ O	0,402	0,285	0,290	0,060	0,244	0,572	0,294	0,525	0,254
Total	99,82	99,32	99,37	99,35	99,24	98,93	99,78	98,57	99,18
SrO	0,002	0,000	0,003	0,017	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,015	0,006	0,002	0,007	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000
Si	11,676	11,416	11,63	11,87	11,24	11,25	11,40	11,33	11,37
Al	4,306	4,561	4,465	4,337	4,741	4,721	4,562	4,632	4,587
Fe ³⁺	0,033	0,011	0,012	0,020	0,010	0,016	0,019	0,030	0,023
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,007	0,000
Mn	0,002	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,003	0,000	0,000
Ba	0,000	0,004	0,000	0,005	0,000	0,004	0,005	0,000	0,000
Ca	0,341	0,627	0,349	0,152	0,776	0,739	0,667	0,695	0,669
Na	3,488	3,280	3,272	3,097	3,149	3,137	3,224	3,149	3,261
K	0,090	0,065	0,065	0,013	0,055	0,131	0,066	0,120	0,058
X	16,01	15,99	16,11	16,23	15,99	15,99	15,98	16,00	15,98
Z	3,921	3,976	3,686	3,267	3,984	4,011	3,965	3,964	3,988
Ab	89,00	82,58	88,77	94,94	79,12	78,29	81,48	79,44	81,77
An	8,701	15,78	9,468	4,660	19,50	18,44	16,86	17,53	16,77
Or	2,297	1,636	1,763	0,399	1,382	3,269	1,668	3,027	1,454
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ANEXO 2b: Continuação das análises de **plagioclásios** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 36 oxigênios.

	RI1426	ROC24	ROC25	ROC41	ROC42	ROC43	BSC11	BSC14	BSC15
SiO ₂	62,92	68,24	68,68	68,25	67,29	68,62	67,03	66,57	67,30
TiO ₂	0,047	0,000	0,000	0,060	0,013	0,000	0,080	0,034	0,035
Al ₂ O ₃	22,54	19,34	19,79	19,40	19,01	19,53	20,25	20,43	19,64
Fe ₂ O ₃	0,125	0,047	0,017	0,000	0,000	0,011	0,039	0,025	0,052
MnO	0,000	0,000	0,014	0,000	0,038	0,028	0,016	0,000	0,021
BaO	0,063	0,090	0,029	0,000	0,017	0,000	0,113	0,085	0,000
CaO	4,094	0,482	0,869	0,214	0,238	0,287	1,194	1,350	0,464
Na ₂ O	9,061	11,11	11,02	11,52	11,21	11,38	11,11	10,91	11,32
K ₂ O	0,200	0,140	0,136	0,160	0,107	0,086	0,122	0,083	0,150
Total	99,05	99,46	100,6	99,60	97,93	99,95	99,96	99,48	98,99
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,002	0,008	0,012	0,000	0,013	0,001	0,008	0,000	0,002
Si	11,23	11,989	11,938	11,974	12,001	11,98	11,77	11,74	11,90
Al	4,740	4,002	4,051	4,008	3,991	4,018	4,188	4,243	4,089
Fe ³⁺	0,017	0,006	0,002	0,000	0,000	0,001	0,005	0,003	0,007
Ti	0,006	0,000	0,000	0,008	0,002	0,000	0,011	0,005	0,005
Mn	0,000	0,000	0,002	0,000	0,006	0,004	0,002	0,000	0,003
Ba	0,004	0,006	0,002	0,000	0,001	0,000	0,008	0,006	0,000
Ca	0,783	0,091	0,162	0,040	0,045	0,054	0,225	0,255	0,088
Na	3,137	3,783	3,713	3,920	3,875	3,855	3,783	3,730	3,880
K	0,046	0,031	0,030	0,036	0,024	0,019	0,027	0,019	0,034
X	16,00	16,00	15,99	15,99	15,99	16,00	15,97	15,99	15,98
Z	3,970	3,911	3,909	3,996	3,951	3,932	4,045	4,010	4,005
Ab	79,10	96,88	95,08	98,10	98,25	98,14	93,75	93,16	96,95
An	19,74	2,330	4,149	1,001	1,141	1,375	5,576	6,369	2,199
Or	1,160	0,794	0,768	0,901	0,609	0,484	0,669	0,475	0,850
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ANEXO 2c: Continuação das análises de **plagioclásios** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 36 oxigênios.

	BSC31	BSC32	BSC34	BSC42	BSC43	BS6C21	BS6C22	BS6C25	BS6C31
SiO ₂	68,08	64,20	68,20	63,73	65,35	67,56	66,24	68,73	67,29
TiO ₂	0,000	0,036	0,000	0,009	0,067	0,034	0,064	0,037	0,000
Al ₂ O ₃	19,85	22,13	19,53	21,92	21,59	19,67	19,09	19,12	19,42
Fe ₂ O ₃	0,013	0,143	0,122	0,216	0,012	0,000	0,000	0,037	0,079
MnO	0,002	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000
BaO	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,071	0,060	0,017
CaO	0,602	3,541	0,534	2,960	2,673	0,282	0,349	0,181	0,209
Na ₂ O	11,34	9,38	11,41	10,00	10,16	11,292	11,08	11,39	11,11
K ₂ O	0,126	0,279	0,220	0,283	0,065	0,076	0,116	0,077	0,303
Total	100,1	99,71	100,0	99,12	99,94	98,93	97,03	99,65	98,44
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,023	0,000
Cl	0,000	0,000	0,009	0,005	0,010	0,012	0,013	0,000	0,010
Si	11,90	11,36	11,94	11,36	11,51	11,93	11,94	12,04	11,95
Al	4,088	4,613	4,025	4,601	4,476	4,090	4,052	3,944	4,061
Fe ³⁺	0,002	0,019	0,016	0,029	0,002	0,000	0,000	0,005	0,011
Ti	0,000	0,005	0,000	0,001	0,009	0,005	0,009	0,005	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,004	0,001
Ca	0,113	0,671	0,100	0,565	0,504	0,053	0,067	0,034	0,040
Na	3,844	3,220	3,872	3,455	3,469	3,865	3,873	3,868	3,825
K	0,028	0,063	0,049	0,064	0,015	0,017	0,027	0,017	0,069
X	15,99	16,00	15,98	15,99	15,99	16,02	16,00	15,99	16,02
Z	3,989	3,954	4,021	4,084	3,990	3,935	3,972	3,923	3,935
Ab	96,46	81,44	96,29	84,60	86,99	98,22	97,63	98,70	97,23
An	2,836	16,970	2,487	13,834	12,64	1,347	1,689	0,868	1,017
Or	0,703	1,593	1,219	1,567	0,376	0,432	0,681	0,434	1,754
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ANEXO 2d: Continuação das análises de **plagioclásios** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 36 oxigênios.

	BS6C32	BS6C33	BS6C41	BS6C42	BS6C43	BS6C44	BS6C45	BS6C46	BS6C48
SiO ₂	66,29	67,66	67,13	65,27	67,03	67,71	66,58	67,77	66,35
TiO ₂	0,013	0,037	0,004	0,000	0,000	0,000	0,056	0,000	0,000
Al ₂ O ₃	20,04	19,38	19,34	20,46	19,50	19,19	20,40	19,38	20,00
Fe ₂ O ₃	0,108	0,067	0,089	0,003	0,035	0,079	0,000	0,014	0,092
MnO	0,000	0,000	0,002	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000
BaO	0,099	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,027	0,000	0,000
CaO	1,148	0,350	0,694	1,306	0,798	0,463	1,632	0,524	1,256
Na ₂ O	10,77	11,22	10,95	10,73	11,08	11,13	10,51	11,16	10,72
K ₂ O	0,208	0,141	0,197	0,225	0,116	0,142	0,127	0,094	0,127
Total	98,68	99,00	98,41	98,01	98,58	98,72	99,34	98,95	98,55
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl	0,000	0,141	0,000	0,000	0,001	0,000	0,013	0,008	0,000
Si	11,78	11,96	11,93	11,69	11,90	11,98	11,75	11,96	11,80
Al	4,196	4,033	4,048	4,315	4,076	4,000	4,240	4,028	4,187
Fe ³⁺	0,014	0,009	0,012	0,000	0,005	0,011	0,000	0,002	0,012
Ti	0,002	0,005	0,001	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	0,007	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000
Ca	0,219	0,066	0,132	0,251	0,152	0,088	0,309	0,099	0,239
Na	3,713	3,846	3,775	3,727	3,813	3,820	3,595	3,820	3,695
K	0,047	0,032	0,045	0,051	0,026	0,032	0,029	0,021	0,029
X	16,00	16,00	15,99	16,00	15,98	15,99	15,99	15,99	16,00
Z	3,986	3,944	3,952	4,030	3,994	3,940	3,935	3,940	3,963
Ab	93,31	97,51	95,52	92,50	95,54	96,95	91,41	96,95	93,24
An	5,504	1,673	3,340	6,230	3,809	2,234	7,857	2,513	6,031
Or	1,181	0,811	1,139	1,266	0,651	0,812	0,737	0,533	0,732
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ANEXO 2e: Continuação das análises de **plagioclásios** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 36 oxigênios.

	BCQC11	BCQC12	BCQC13	BCQC31	BCQC32	BCQC33	BCQC41	BCQC42
SiO ₂	64,96	65,47	65,69	63,03	66,66	66,66	62,46	64,07
TiO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,000
Al ₂ O ₃	18,88	18,52	18,81	17,64	18,58	19,05	18,96	18,07
Fe ₂ O ₃	0,031	0,051	0,011	0,063	0,016	0,080	0,021	0,048
MnO	0,000	0,045	0,000	0,000	0,035	0,000	0,001	0,000
BaO	0,003	0,026	0,000	0,000	0,000	0,113	0,021	0,043
CaO	0,542	0,238	0,335	0,000	0,017	0,506	1,179	0,238
Na ₂ O	9,499	9,543	9,503	15,774	9,610	9,540	7,495	8,996
K ₂ O	0,092	0,077	0,115	0,000	0,769	0,221	0,170	0,090
Total	94,01	93,98	94,46	96,50	95,73	96,20	90,33	91,56
SrO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	0,025	0,000	0,004
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,000
Si	12,00	12,08	12,06	11,68	12,114	12,04	11,96	12,12
Al	4,108	4,027	4,066	3,851	3,977	4,055	4,276	4,026
Fe ³⁺	0,004	0,007	0,002	0,009	0,002	0,011	0,003	0,007
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,007	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000
Ba	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,008	0,002	0,003
Ca	0,107	0,047	0,066	0,000	0,003	0,098	0,242	0,048
Na	3,403	3,415	3,383	5,671	3,386	3,342	2,783	3,299
K	0,022	0,018	0,027	0,000	0,178	0,051	0,042	0,022
X	16,11	16,12	16,13	15,54	16,09	16,11	16,24	16,15
Z	3,532	3,489	3,476	5,671	3,572	3,499	3,069	3,372
Ab	96,35	98,13	97,32	100,0	94,93	95,73	90,74	97,92
An	3,029	1,351	1,899	0,000	0,084	2,807	7,890	1,425
Or	0,623	0,517	0,777	0,000	4,990	1,461	1,369	0,653
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ANEXO 3: Análises de **biotitas** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 24 oxigênios.

	RIC11	RIC12	RIC31	RIC32	RIC33	RIC34	RI14C13	RI14C33
SiO ₂	34,16	34,71	33,82	34,46	34,22	33,86	34,82	34,21
TiO ₂	2,621	2,510	2,231	2,537	2,213	2,459	3,025	2,522
Al ₂ O ₃	14,5	14,874	16,229	15,231	15,827	15,743	13,09	13,731
FeO	31,90	31,92	31,09	31,22	31,16	32,10	28,97	29,00
MnO	0,457	0,428	0,396	0,465	0,47	0,386	0,403	0,315
MgO	1,314	1,249	1,27	1,312	1,284	1,257	3,683	4,074
BaO	0,105	0,11	0,064	0,000	0000	0,036	0,103	0,034
CaO	0,005	0,006	0,033	0,000	0,016	0,019	0,005	0,05
Na ₂ O	0,059	0,055	0,000	0,054	0,033	0,057	0,052	0,061
K ₂ O	8,974	9,042	8,638	9,021	8,812	8,36	8,873	8,427
F	0,547	0,493	0,324	0,482	0,244	0,325	0,407	0,37
Cl	0,072	0,111	0,000	0,07	0,045	0,043	0,052	0,025
Total	94,72	95,51	94,09	94,86	94,32	94,65	93,48	92,82
O+F+Cl	0,250	0,230	0,140	0,220	0,110	0,150	0,180	0,160
CTota	94,47	95,28	93,95	94,64	94,21	94,5	93,3	92,66
Si	5,918	5,946	5,827	5,918	5,883	5,824	6,014	5,934
Al ^{IV}	2,082	2,054	2,173	2,082	2,117	2,176	1,986	2,066
Al ^{VI}	0,876	0,946	1,120	0,998	1,087	1,013	0,677	0,739
Ti	0,342	0,323	0,289	0,328	0,286	0,318	0,393	0,329
Fe ²⁺	4,622	4,571	4,480	4,483	4,479	4,617	4,186	4,207
Mn	0,067	0,062	0,058	0,068	0,068	0,056	0,059	0,046
Mg	0,339	0,319	0,326	0,336	0,329	0,322	0,948	1,054
Ba	0,007	0,007	0,004	0,000	0,000	0,002	0,007	0,002
Ca	0,001	0,001	0,006	0,000	0,003	0,004	0,001	0,009
Na	0,020	0,018	0,000	0,018	0,011	0,019	0,017	0,021
K	1,983	1,976	1,899	1,976	1,933	1,834	1,955	1,865
Fe/Fe+Mg	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,82	0,80
Mg/Fe+Mg	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,18	0,20

ANEXO 3a: Continuação das análises de **biotitas** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na formula estrutural – base 24 oxigênios.

	RI14C31	RI14C12	RI14C32	BSC11	BSC21	BSC22	BSC23
SiO ₂	34,86	34,02	34,57	34,49	34,46	34,50	33,38
TiO ₂	3,157	1,867	2,905	2,53	3,221	3,435	2,979
Al ₂ O ₃	13,27	14,68	13,59	13,71	14,95	13,83	14,73
FeO	29,06	29,45	29,66	28,97	34,35	35,62	35,28
MnO	0,325	0,367	0,362	0,352	0,427	0,524	0,554
MgO	3,882	3,710	3,676	3,603	2,097	2,226	2,177
BaO	0,007	0,108	0,085	0,042	0,000	0,061	0,142
CaO	0,019	0,090	0,014	0,022	0,044	0,000	0,07
Na ₂ O	0,046	0,016	0,059	0,064	0,057	0,072	0,071
K ₂ O	8,869	8,273	8,982	8,99	8,542	9,023	8,074
F	0,259	0,327	0,350	0,415	0,594	0,257	0,148
Cl	0,059	0,012	0,032	0,065	0,058	0,054	0,048
Total	93,81	92,92	94,28	93,26	98,8	99,61	97,66
O+F+Cl	0,12	0,14	0,15	0,19	0,26	0,12	0,07
CTota	93,69	92,78	94,13	93,07	98,54	99,49	97,59
Si	5,982	5,896	5,935	5,975	5,745	5,749	5,651
Al ^{IV}	2,018	2,104	2,065	2,025	2,255	2,251	2,349
Al ^{VI}	0,664	0,892	0,682	0,773	0,680	0,463	0,588
Ti	0,408	0,243	0,375	0,33	0,404	0,431	0,379
Fe ²⁺	4,171	4,269	4,259	4,197	4,789	4,963	4,995
Mn	0,047	0,054	0,053	0,052	0,06	0,074	0,079
Mg	0,993	0,959	0,941	0,93	0,521	0,553	0,549
Ba	0	0,007	0,006	0,003	0,000	0,004	0,009
Ca	0,003	0,017	0,003	0,004	0,008	0,000	0,013
Na	0,015	0,005	0,02	0,021	0,018	0,023	0,023
K	1,942	1,829	1,967	1,987	1,817	1,918	1,744
Fe/Fe+Mg	0,81	0,82	0,82	0,82	0,9	0,9	0,9
Mg/Fe+Mg	0,19	0,18	0,18	0,18	0,1	0,1	0,1

ANEXO 3b: Continuação das análises de **biotitas** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 24 oxigênios.

	BCQC11	BCQC12	BCQC14	BCQC15	BCQC16	BCQC41	BCQC42
SiO ₂	34,299	34,098	33,77	33,416	33,807	33,345	33,642
TiO ₂	1,647	1,64	1,272	1,574	1,461	1,48	1,537
Al ₂ O ₃	18,207	18,544	18,162	18,275	18,446	17,759	17,429
FeO	26,461	26,105	25,266	26,32	25,56	27,831	26,553
MnO	0,549	0,411	0,557	0,397	0,472	0,517	0,592
MgO	0,608	0,586	0,617	0,630	0,596	0,690	0,623
BaO	0,000	0,049	0,082	0,003	0,024	0,005	0,000
CaO	0,012	0,000	0,066	0,081	0,044	0,011	0,011
Na ₂ O	0,059	0,062	0,062	0,063	0,063	0,048	0,048
K ₂ O	9,16	9,421	9,009	9,006	9,119	8,632	9,175
F	0,222	0,186	0,304	0,304	0,19	0,096	0,261
Cl	0,084	0,034	0,042	0,042	0,029	0,041	0,057
Total	91,31	91,14	89,21	90,11	89,81	90,45	89,93
O+F+Cl	0,11	0,09	0,14	0,14	0,09	0,05	0,12
CTotal	91,2	91,05	89,07	89,97	89,72	90,4	89,81
Si	5,946	5,915	5,975	5,881	5,934	5,871	5,954
Al ^{IV}	2,054	2,085	2,025	2,119	2,066	2,129	2,046
Al ^{VI}	1,663	1,703	1,759	1,668	1,747	1,553	1,586
Ti	0,215	0,214	0,169	0,208	0,193	0,196	0,205
Fe ²⁺	3,836	3,787	3,738	3,874	3,752	4,098	3,930
Mn	0,081	0,06	0,083	0,059	0,07	0,077	0,089
Mg	0,157	0,152	0,163	0,165	0,156	0,181	0,164
Ba	0,000	0,003	0,006	0,000	0,002	0,000	0,000
Ca	0,002	0,000	0,013	0,015	0,008	0,002	0,002
Na	0,02	0,021	0,021	0,021	0,021	0,016	0,016
K	2,026	2,085	2,033	2,022	2,042	1,939	2,071
Fe/Fe+Mg	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Mg/Fe+Mg	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

ANEXO 4: Análises de **cloritas** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 36 oxigênios.

	RIC41	RIC42	RIC43	RIC44	RIC45	ROC11	ROC31	ROC32	ROC33
SiO ₂	21,76	21,88	21,67	21,68	21,79	22,39	22,42	23,40	23,40
TiO ₂	0,037	0,097	0,110	0,000	0,122	0,030	0,028	0,108	0,144
Al ₂ O ₃	22,40	22,13	21,95	21,83	22,24	19,98	19,63	18,31	19,30
Cr ₂ O ₃	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FeO	41,55	41,36	42,26	42,47	42,02	39,33	39,04	38,11	38,87
MnO	0,606	0,518	0,548	0,518	0,536	0,671	1,067	0,617	0,711
MgO	1,644	1,844	1,661	1,701	1,644	3,269	3,458	5,249	3,740
CaO	0,036	0,074	0,067	0,052	0,052	0,065	0,007	0,038	0,033
Na ₂ O	0,047	0,040	0,063	0,070	0,050	0,003	0,027	0,017	0,030
K ₂ O	0,011	0,094	0,042	0,045	0,041	0,023	0,021	0,037	0,115
Total	88,08	88,04	88,38	88,37	88,50	85,76	85,70	85,89	86,35
Si	5,036	5,063	5,024	5,033	5,032	5,287	5,305	5,477	5,462
Al ^{IV}	2,964	2,937	2,976	2,967	2,968	2,713	2,695	2,523	2,538
Al ^{VI}	3,140	3,095	3,018	3,002	3,079	2,843	2,773	2,524	2,767
Ti	0,006	0,017	0,019	0,000	0,021	0,005	0,005	0,019	0,025
Fe ²⁺	8,042	8,004	8,195	8,246	8,115	7,767	7,726	7,458	7,587
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,119	0,102	0,108	0,102	0,105	0,134	0,214	0,122	0,141
Mg	0,567	0,636	0,574	0,589	0,566	1,151	1,220	1,831	1,301
Ca	0,009	0,018	0,017	0,013	0,013	0,016	0,002	0,010	0,008
Na	0,021	0,018	0,028	0,032	0,022	0,001	0,012	0,008	0,014
K	0,003	0,028	0,012	0,013	0,012	0,007	0,006	0,011	0,034
Fe/Fe+Mg	19,91	19,92	19,97	20,00	19,93	19,92	19,96	19,98	19,88
Mg/Fe+Mg	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,870	0,860	0,800	0,850

ANEXO 4a: Continuação das análises de **cloritas** dos granitos da Serra do Barriga, Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 36 oxigênios.

	ROC32	ROC33	ROC41	ROC42	BSC11	BSC12	BSC21	BS6C22
SiO ₂	23,40	23,40	22,03	21,64	22,71	22,48	21,86	21,86
TiO ₂	0,108	0,144	0,064	0,360	0,033	0,097	0,128	0,128
Al ₂ O ₃	18,31	19,30	20,37	19,95	20,30	20,55	19,79	19,79
Cr ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FeO	38,11	38,87	44,69	44,09	41,41	40,91	42,77	42,77
MnO	0,617	0,711	0,620	0,496	0,518	0,533	0,075	0,752
MgO	5,249	3,740	2,789	2,606	2,558	2,659	0,662	0,662
CaO	0,038	0,033	0,042	0,097	0,009	0,024	0,018	0,018
Na ₂ O	0,017	0,030	0,033	0,010	-	0,005	0,028	0,028
K ₂ O	0,037	0,115	0,043	0,052	0,008	0,004	0,014	0,014
Total	85,89	86,35	90,69	89,30	87,55	87,27	85,35	86,03
Si	5,477	5,462	5,043	5,031	5,288	5,241	5,286	5,26
Al ^{IV}	2,523	2,538	2,957	2,969	2,712	2,759	2,714	2,74
Al ^{VI}	2,524	2,767	2,533	2,494	2,854	2,883	2,923	2,87
Ti	0,019	0,025	0,011	0,063	0,006	0,017	0,023	0,023
Fe ²⁺	7,458	7,587	8,553	8,574	8,062	7,976	8,649	8,607
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,122	0,141	0,120	0,098	0,102	0,105	0,015	0,153
Mg	1,831	1,301	0,952	0,903	0,888	0,924	0,239	0,237
Ca	0,010	0,008	0,010	0,024	0,002	0,006	0,005	0,005
Na	0,008	0,014	0,015	0,005	0,000	0,002	0,013	0,013
K	0,011	0,034	0,013	0,015	0,002	0,001	0,004	0,004
Fe/Fe+Mg	19,98	19,88	20,21	20,18	19,92	19,91	0,970	0,970
Mg/Fe+Mg	0,800	0,850	0,900	0,900	0,900	0,900	0,030	0,030

ANEXO 4b: Continuação das análises de **cloritas** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 36 oxigênios.

	BS6C23	BS6C31	BS6C32	BS6C41	BS6C42	BCQC22	BCQC13	BCQC23	BCQC24
SiO ₂	20,996	22,050	21,622	26,825	29,403	21,038	23,008	21,125	21,112
TiO ₂	0,000	0,162	0,055	0,942	0,792	0,108	0,156	0,090	0,099
Al ₂ O ₃	19,467	20,520	20,233	18,759	18,305	18,987	20,163	19,023	19,176
Cr ₂ O ₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FeO	42,282	42,283	41,922	37,614	34,217	37,567	37,276	37,160	38,370
MnO	0,739	0,548	0,772	0,606	0,581	0,536	0,892	0,734	0,560
MgO	0,458	0,558	0,533	0,688	0,798	0,778	0,707	0,771	0,752
CaO	0,011	0,017	0,001	0,171	0,112	0,031	0,025	0,030	0,051
Na ₂ O	0,005	0,032	0,007	0,006	0,006	0,052	0,022	0,012	0,015
K ₂ O	0,013	0,069	0,012	1,207	3,491	0,028	0,259	0,026	0,007
Total	83,970	86,240	85,160	86,820	87,710	79,130	82,510	78,970	80,140
Si	5,198	5,26	5,236	6,147	6,585	5,407	5,597	5,43	5,372
Al ^{IV}	2,802	2,74	2,764	1,853	1,415	2,593	2,403	2,57	2,628
Al ^{VI}	2,873	3,025	3,006	3,209	3,413	3,154	3,373	3,188	3,118
Ti	0	0,029	0,010	0,162	0,133	0,021	0,029	0,017	0,019
Fe ²⁺	8,753	8,435	8,490	7,208	6,409	8,075	7,584	7,988	8,165
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,155	0,111	0,158	0,118	0,110	0,117	0,184	0,16	0,121
Mg	0,169	0,198	0,192	0,235	0,266	0,298	0,256	0,295	0,285
Ca	0,003	0,004	0,000	0,042	0,027	0,009	0,007	0,008	0,014
Na	0,002	0,015	0,003	0,003	0,003	0,026	0,01	0,006	0,007
K	0,004	0,021	0,004	0,353	0,997	0,009	0,08	0,009	0,002
Fe/Fe+Mg	0,980	0,980	19,863	19,330	19,358	0,960	0,970	0,960	0,970
Mg/Fe+Mg	0,020	0,020	0,980	0,970	0,960	0,040	0,030	0,040	0,030

ANEXO 5: Análises de **muscovitas** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 22 oxigênios.

	ROC21	ROC22	ROC41	ROC42	BCQC21	BCQC22
SiO ₂	44,67	46,76	44,99	45,01	43,35	41,99
TiO ₂	0,037	0,000	0,199	0,651	0,205	0,135
Al ₂ O ₃	29,08	29,86	34,13	35,63	29,74	29,09
FeO	6,510	4,861	3,056	1,513	4,680	6,075
MnO	0,130	0,099	0,060	0,000	0,032	0,055
MgO	1,064	0,907	0,117	0,089	0,210	0,224
CaO	0,000	0,000	0,082	0,059	0,042	0,000
Na ₂ O	0,176	0,154	0,408	0,378	0,121	0,140
K ₂ O	10,33	11,04	10,26	9,65	10,58	10,49
F	0,502	0,169	0,086	0,000	0,000	0,000
Cl	0,006	0,000	0,020	0,000	0,029	0,000
Total	92,64	94,07	93,48	93,31	89,15	88,20
O+F+Cl	0,210	0,070	0,040	0,000	0,010	0,000
CTotal	92,430	94,000	93,440	93,310	89,14	88,20
BaO	0,136	0,206	0,068	0,322	0,154	0,000
Si	5,772	5,878	5,608	5,553	5,748	5,678
Al ^{IV}	2,228	2,122	2,392	2,447	2,252	2,322
Al ^{VI}	2,198	2,299	2,617	2,730	2,393	2,310
Ti	0,004	0,000	0,019	0,060	0,020	0,014
Fe ²⁺	0,704	0,511	0,319	0,156	0,519	0,687
Mn	0,014	0,011	0,006	0,000	0,004	0,006
Mg	0,205	0,170	0,022	0,016	0,042	0,045
Ca	0,000	0,000	0,011	0,008	0,006	0,000
Na	0,044	0,038	0,099	0,090	0,031	0,037
K	1,703	1,771	1,632	1,520	1,790	1,809
Ba	0,010	0,010	0,000	0,020	0,010	0,000
Fe/Fe+Mg	0,770	0,750	0,940	0,910	0,930	0,940
Mg/Fe+Mg	0,230	0,250	0,060	0,090	0,070	0,060

ANEXO 5a: Continuação das análises de **muscovitas** dos granitos da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 22 oxigênios.

	BCQC23	BCQC31	BCQC32	BCQC33	BS6C22
SiO ₂	41,84	45,33	44,52	45,00	46,08
TiO ₂	0,174	0,040	0,020	0,020	0,028
Al ₂ O ₃	29,69	29,87	29,41	29,63	36,39
FeO	6,544	6,031	5,888	5,499	1,264
MnO	0,049	0,142	0,112	0,091	0,036
MgO	0,215	0,315	0,319	0,304	0,012
CaO	0,042	0,000	0,000	0,000	0,019
Na ₂ O	0,153	0,191	0,184	0,113	0,224
K ₂ O	9,95	10,79	10,89	10,73	10,29
F	0,085	0,361	0,041	0,192	0,244
Cl	0,006	0,007	0,000	0,002	0,000
Total	88,83	93,08	91,45	91,65	94,59
O+F+Cl	0,040	0,150	0,020	0,080	0,100
CTotal	88,79	92,93	91,43	91,57	94,49
BaO	0,081	0,003	0,063	0,063	0,000
Si	5,622	5,803	5,792	5,824	5,604
Al ^{IV}	2,378	2,197	2,208	2,176	2,396
Al ^{VI}	2,320	2,306	2,299	2,340	2,816
Ti	0,018	0,004	0,002	0,002	0,003
Fe ²⁺	0,735	0,646	0,641	0,595	0,129
Mn	0,006	0,015	0,012	0,010	0,004
Mg	0,043	0,060	0,062	0,059	0,002
Ca	0,006	0,000	0,000	0,000	0,002
Na	0,040	0,047	0,046	0,028	0,053
K	1,706	1,762	1,808	1,772	1,596
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe/Fe+Mg	0,940	0,920	0,910	0,910	0,980
Mg/Fe+Mg	0,060	0,080	0,090	0,090	0,020

ANEXO 6: Análises de **anfíbólios** do granito Rosa Iracema da Serra do Barriga. Resultados em % de óxidos e na fórmula estrutural – base 24 oxigênios.

	RI14C1	RI14C2	RI14C3	RI14C4	RI14C5
SiO2	40,58	40,50	40,84	40,17	40,79
TiO2	1,581	1,140	0,945	1,877	1,941
Al2O3	9,565	9,271	9,078	9,332	9,728
FeO	27,36	27,95	27,65	26,30	26,72
MnO	0,659	0,543	0,595	0,463	0,481
MgO	3,034	3,433	3,406	3,765	3,870
CaO	10,31	10,31	10,25	10,28	9,90
Na2O	1,797	1,871	1,629	1,975	2,157
K2O	1,226	1,396	1,312	1,251	1,256
F	0,194	0,706	0,379	0,617	1,062
Cl	0,138	0,080	0,066	0,126	0,159
Total	96,45	97,21	96,15	96,09	98,07
TSi	6,564	6,533	6,611	6,533	6,519
TAI	1,436	1,467	1,389	1,467	1,481
Sum_T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
CAI	0,385	0,294	0,342	0,320	0,350
CFe3	0,213	0,306	0,316	0,200	0,281
CTi	0,192	0,138	0,115	0,230	0,233
CMg	0,731	0,825	0,822	0,913	0,922
CFe2	3,433	3,399	3,365	3,306	3,181
CMn	0,045	0,037	0,040	0,032	0,032
Sum_C	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
BFe2	0,054	0,065	0,063	0,071	0,110
BMn	0,045	0,037	0,041	0,032	0,033
BCa	1,787	1,782	1,779	1,780	1,696
BNa	0,113	0,116	0,118	0,117	0,161
Sum_B	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
ANa	0,450	0,469	0,394	0,506	0,507
AK	0,253	0,287	0,271	0,260	0,256
Sum_A	0,703	0,756	0,665	0,765	0,763
Sum_cat	15,70	15,76	15,66	15,76	15,76
CCl	0,038	0,022	0,018	0,035	0,043
CF	0,099	0,360	0,194	0,317	0,537
Sum_oxy	23,07	23,02	23,02	23,08	23,11

ANEXO 7- ENSAIOS TECNOLÓGICOS – GRANITO ROSA IRACEMA

Ensaio de Índices Físicos – Norma NBR 12.766							
CP	PESO (g)			Massa Específica (g/cm ³)		Porosidade	Abs. d'água
num.	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada	%	%
1	227,21	366,86	365,63	2,618	2,627	0,88	0,34
2	241,43	389,92	388,59	2,617	2,626	0,90	0,34
3	239,03	386,11	384,82	2,616	2,625	0,88	0,34
4	230,36	372,20	370,97	2,615	2,624	0,87	0,33
5	238,76	385,34	384,13	2,621	2,629	0,83	0,31
6	225,89	364,40	363,16	2,622	2,631	0,90	0,34
7	240,69	388,28	387,08	2,623	2,631	0,81	0,31
8	239,03	385,60	384,29	2,622	2,631	0,89	0,34
9	241,38	389,67	388,43	2,619	2,628	0,84	0,32
10	242,60	391,73	390,40	2,618	2,627	0,89	0,34
Valores Médios:				2,619	2,628	0,87	0,33
Desvio Padrão:				0,003	0,002	0,031	0,012

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL - NORMA NBR 12.767 (1992)													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força	Tensão	
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	75,26	75,26	75,34	75,19	75,39	75,30	73,82	73,76	73,75	73,82	73,79	812,30	146,21
2	74,51	74,97	74,91	74,70	74,82	74,85	73,72	73,89	73,85	73,76	73,81	807,65	146,20
3	75,57	75,12	75,24	75,02	74,85	75,06	73,83	73,85	74,15	74,04	73,97	964,75	173,77
4	75,11	72,12	72,06	72,04	71,94	72,04	73,13	73,21	73,20	73,20	73,19	758,80	143,92
5	75,46	74,84	75,04	74,81	74,46	74,79	75,00	74,90	74,92	74,84	74,92	681,10	121,57
Média:						74,41					73,93	804,92	146,33
Desvio Padrão:						1,34					0,63	103,76	18,52

Velocidade do Pulso Ultra-Sônico			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	15,7	75,26	4794
2	16,0	74,51	4657
3	16,1	75,57	4694
4	14,8	75,11	5075
5	16,1	75,46	4687
Média:			4781
Desvio Padrão:			172,08

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL - NORMA NBR 12.767 (1992)													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	73,82	73,16	73,15	73,47	73,12	73,23	74,84	74,94	74,63	74,86	74,82	745,20	136,02
2	74,63	73,62	73,15	72,49	73,43	73,17	73,96	73,85	73,67	73,74	73,81	740,50	137,12
3	74,05	74,22	73,69	73,77	74,01	73,92	74,92	74,60	74,96	74,94	74,86	631,05	114,04
4	74,46	75,13	75,03	75,03	75,34	75,13	73,88	73,73	73,91	73,79	73,83	675,50	121,78
5	74,47	74,59	75,00	75,09	75,01	74,92	75,61	75,21	74,41	74,96	75,05	705,40	125,45
Média:						74,08					74,47	699,53	126,88
Desvio Padrão:						0,9215					0,6	47,61	9,76

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	12,3	73,82	6002
2	12,7	74,63	5876
3	11,9	74,05	6223
4	12,5	74,46	5957
5	12,5	74,47	5958
Média:			6003
Desvio Padrão:			130,86

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÉTODO DOS 3 PONTOS) - NORMA NBR - 12763														
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão	
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b		N	MPa	
	1	2	3	4		1	2	3	4					
1	50,05	50,03	50,03	50,12	50,06	101,45	101,21	101,10	101,18	101,24	180	10018	10,7	
2	50,48	50,65	50,44	50,41	50,50	100,29	100,66	100,39	100,55	100,47	180	9112	9,6	
3	50,47	50,21	50,67	50,78	50,53	100,70	100,91	100,59	100,48	100,67	180	9688	10,2	
4	50,08	50,22	50,09	50,28	50,17	101,88	101,97	101,93	101,94	101,93	180	10738	11,3	
Média:					50,31					101,08		9889	10,44	
Desvio Padrão:					0,24					0,654		678,62	0,72	

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	48,1	200,00	4158
2	48,6	200,00	4115
3	42,5	200,00	4706
4	48,8	200,00	4098
5	48,2	200,00	4149
Média:			4245
Desvio Padrão:			258,587

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÉTODO DOS 3 PONTOS) - NORMA NBR - 12763													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b		N	MPa
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	49,97	50,01	49,70	49,76	49,86	101,25	101,19	101,14	101,07	101,16	180	10508	11,3
2	50,41	50,14	50,39	50,47	50,35	101,22	101,16	101,10	101,33	101,20	180	13116	13,8
3	50,05	50,10	50,15	50,07	50,09	100,30	100,86	100,85	100,73	100,69	180	8500	9,1
4	50,25	50,18	50,32	50,58	50,33	101,00	101,19	101,14	101,22	101,14	180	9624	10,1
5	50,11	50,03	50,01	50,20	50,09	100,49	100,36	100,19	100,37	100,35	180	10384	11,1
Média:					50,15					100,91		10426,4	11,1
Desvio Padrão:					0,2					0,375		1702,74	1,75

Velocidade Do Pulso Ultra-Sônico			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	34,8	200,00	5747
2	34,8	200,00	5747
3	39,3	200,00	5089
4	37,5	200,00	5333
5	38,0	200,00	5263
Média:			5436
Desvio Padrão:			297,65

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ASTM C880													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b		N	MPa
	1	2	3	4		1	2	3	4				
3	31,57	31,50	31,87	32,01	31,74	99,30	99,95	99,64	100,56	99,86	360	2978	7,99
4	31,95	31,76	31,95	31,85	31,88	100,83	100,52	100,79	100,54	100,67	360	3422	9,03
5	32,52	32,06	31,97	31,94	32,12	100,72	100,41	100,55	100,19	100,47	360	3798	9,89
6	31,68	31,89	31,88	32,02	31,87	100,30	99,79	100,20	99,62	99,98	360	3042	8,09
Média:					31,90					100,24		3310	8,75
Desvio Padrão:					0,16					0,386		379,80	0,89

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
3	95,50	380,00	3979
4	90,80	380,00	4185
5	90,10	380,00	4218
6	88,40	380,00	4299
Média:			4170
Desvio Padrão:			136,006

Amostras sob condições saturadas

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ASTM C880													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	32,03	32,14	32,28	31,98	32,11	101,11	100,37	100,16	100,82	100,62	360	2804	7,30
2	32,25	31,98	32,10	32,20	32,13	100,13	99,29	99,45	100,02	99,72	360	3348	8,78
4	32,15	32,24	31,90	31,97	32,07	99,90	99,32	99,24	99,78	99,56	360	3620	9,55
5	32,20	32,12	31,67	31,89	31,97	100,17	100,08	99,92	100,07	100,06	360	3278	8,65
6	31,76	31,58	31,72	31,82	31,72	99,01	99,46	99,17	99,61	99,31	360	3068	8,29
Média:					32,00					99,85		3223,6	8,51
Desvio Padrão:					0,17					0,5046		306,53	0,82

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	74,1	380,00	5128,21
2	76,2	380,00	4986,88
4	75,3	380,00	5046,48
5	74,2	380,00	5121,29
5	75,5	380,00	5033,11
Média:			5063,19
Desvio Padrão:			60,44

AMOSTRA SOB CONDIÇÕES SECAS

Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 12.764						
Corpo de Prova	Dimensões Ladrilhos (mm)		Altura de queda da esfera (metros)			
	Lados	Espessura Média	Fissura		Ruptura	
			Individual	Média	Individual	Média
1	200 X 200	31,20	60	59,2	65	65,0
2	200 X 200	32,10	55		60	
3	200 X 200	32,10	65		70	
4	200 X 200	32,10	50		55	
5	200 X 200	32,10	65		75	
6	200 X 200	32,30	60		65	

AMOSTRA SOB CONDIÇÕES SATURADAS

Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 12.764						
Corpo de Prova	Dimensões Ladrilhos (mm)		Altura de queda da esfera (metros)			
	Lados	Espessura Média	Fissura		Ruptura	
			Individual	Média	Individual	Média
1	200 X 200	32,47	45	50	50	55,8
2	200 X 200	31,40	55		60	
3	200 X 200	32,90	45		55	
4	200 X 200	32,40	50		55	
5	200 X 200	32,40	55		60	
6	200 X 200	31,70	50		55	

Ensaio realizado no sentido normal à corrida

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR NORMA NBR -12765					
Corpo de Prova L ₀ (mm)	Temperatura (°C)		Dilatação (mm)		Coeficiente de Dilatação Térmica Linear (10 ⁻³ mm/m°C)
	Faixa de Variação	Δ T	Faixa de Variação	Δ L	
89,65	0,5 – 50,2	49,7	0,9990 – 1,0260	0,027	6,00
	50,5 – 0,0	50,5	1,0260 – 0,9970	0,029	6,45
Média					6,23

Ensaio realizado no sentido paralelo à corrida

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR NORMA NBR -12765					
Corpo de Prova L ₀ (mm)	Temperatura (°C)		Dilatação (mm)		Coeficiente de Dilatação Térmica Linear (10 ⁻³ mm/m°C)
	Faixa de Variação	Δ T	Faixa de Variação	Δ L	
89,70	0,5 – 50,7	50,2	0,9980 – 1,0240	0,026	5,88
	50,7 – 0,7	50,0	1,0240 – 0,9990	0,025	5,43
Média					5,65

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042												
Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)		Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)		Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)	(Li - L500m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)		
1	1	7,56	1	7,25	1	6,95	0,31		0,61		0,258	0,500
	2	7,41	2	7,29	2	6,96	0,12		0,45			
	3	7,42	3	7,24	3	7,07	0,18		0,35			
	4	7,59	4	7,17	4	7,00	0,42		0,59			
2	1	7,85	1	7,53	1	7,29	0,32		0,56		0,220	0,473
	2	7,88	2	7,59	2	7,45	0,29		0,43			
	3	7,86	3	7,73	3	7,43	0,13		0,43			
	4	7,84	4	7,70	4	7,37	0,14		0,47			
média entre os corpos de prova										0,24	0,49	
desvio padrão										0,03	0,02	

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)		Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)		Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L500m) (mm)	(Li - L500m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)	(Li - L1000m) (mm)		
1	1	4,90	1	4,54	1	4,31	0,36		0,59		0,343	0,630
	2	4,83	2	4,40	2	4,19	0,43		0,64			
	3	5,09	3	4,75	3	4,32	0,34		0,77			
	4	4,62	4	4,38	4	4,10	0,24		0,52			
2	1	4,64	1	4,20	1	3,81	0,44		0,83		0,258	0,595
	2	4,58	2	4,35	2	3,93	0,23		0,65			
	3	4,50	3	4,39	3	4,14	0,11		0,36			
	4	4,60	4	4,35	4	4,06	0,25		0,54			
média entre os corpos de prova										0,30	0,61	
desvio padrão										0,06	0,02	

ANEXO 8 - ENSAIOS TECNOLÓGICOS – GRANITO ROSA OLINDA

Ensaio de Índices Físicos – Norma NBR 12.766							
CP	PESO (g)			Massa Específica (g/cm ³)		Porosidade	Abs. d'água
num.	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada	%	%
1	217,24	349,77	348,49	2,630	2,639	0,97	0,37
2	214,71	345,64	344,50	2,631	2,640	0,87	0,33
3	223,46	359,80	358,61	2,630	2,639	0,87	0,33
4	220,23	353,70	352,59	2,642	2,650	0,83	0,31
5	219,72	354,04	352,85	2,627	2,636	0,89	0,34
6	212,16	341,80	340,72	2,628	2,637	0,83	0,32
7	223,75	359,88	358,68	2,635	2,644	0,88	0,33
8	224,27	361,29	360,05	2,628	2,637	0,90	0,34
9	227,14	365,56	364,28	2,632	2,641	0,92	0,35
10	228,70	367,77	366,65	2,636	2,644	0,81	0,31
Valores Médios:				2,63	2,64	0,88	0,33
Desvio Padrão:				0,005	0,004	0,047	0,018

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL - NORMA NBR 12.767 (1992)													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força	Tensão	
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	73,21	75,11	75,05	74,96	75,02	75,04	75,25	74,92	75,09	75,04	75,08	921,85	163,64
2	75,56	75,79	75,66	75,53	75,65	75,66	73,41	73,47	73,63	73,64	73,54	917,6	164,93
3	75,75	73,67	73,67	73,83	73,64	73,70	74,46	74,68	74,70	74,66	74,63	818,35	148,79
4	74,35	73,96	74,65	74,08	73,98	74,17	74,98	75,11	75,09	74,97	75,04	754,25	135,53
5	74,99	74,31	74,14	74,80	74,32	74,39	74,94	74,92	75,13	74,96	74,99	684,7	122,74
6	74,06	75,40	75,74	75,87	75,74	75,69	74,14	74,04	74,13	74,12	74,11	762,05	135,86
Média:						74,59					74,65	809,8	145,25
Desvio Padrão:						0,7653					0,65	95,1473	16,897

Velocidade do Pulso Ultra-Sônico			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	15,0	73,21	4881
2	15,0	75,56	5037
3	15,2	75,75	4984
4	16,3	74,35	4561
5	14,4	74,99	5208
6	15,5	74,06	4838
Média:			4918
Desvio Padrão:			217,90

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL - NORMA NBR 12.767 (1992)													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força	Tensão	
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	74,51	74,38	74,46	74,06	74,16	74,27	74,50	74,65	74,27	74,67	74,52	622,85	112,54
2	74,97	74,14	74,36	74,09	73,80	74,10	73,72	73,61	73,97	74,02	73,83	686	125,40
3	73,75	73,10	73,65	73,11	72,50	73,09	74,50	74,70	74,20	74,40	74,45	706,9	129,91
4	74,57	72,60	72,72	72,49	72,07	72,47	74,87	74,86	74,70	74,93	74,84	707,95	130,53
5	74,6	74,29	74,13	73,97	74,32	74,14	73,88	73,78	73,71	74,23	73,90	696	127,03
Média:						73,61					74,31	683,94	125,08
Desvio Padrão:						0,793					0,43	35,3034	7,3168

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	13,1	74,51	5688
2	13,5	74,97	5553
3	13,7	73,75	5383
4	13,2	74,57	5649
5	13,4	74,29	5544
Média:			5564
Desvio Padrão:			118,09

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÉTODO DOS 3 PONTOS) - NORMA NBR - 12763													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
num	espessura (d)				média	largura (b)				média	N	MPa	
	1	2	3	4	d	1	2	3	4	b			
1	50,10	50,07	50,14	50,05	50,09	101,48	101,10	100,27	100,88	100,93	180	15576	16,6
2	50,45	50,27	50,77	50,71	50,55	101,84	101,66	101,78	101,55	101,71	180	8310	8,6
3	50,04	50,11	50,07	50,04	50,07	100,77	101,44	101,09	100,91	101,05	180	8700	9,3
4	50,02	50,02	50,08	50,05	50,04	101,74	101,45	101,49	101,77	101,61	180	11112	11,8
5	50,17	50,13	50,15	50,12	50,14	101,47	101,87	101,54	101,74	101,66	180	12010	12,7
Média:					50,18					101,39		11141,6	11,8
Desvio Padrão:					0,21					0,369		2932,50	3,17

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	41,0	200,00	4878,05
2	40,8	200,00	4901,96
3	41,4	200,00	4830,92
4	42,3	200,00	4728,13
5	41,1	200,00	4866,18
Média:			4841,05
Desvio Padrão:			68,12

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÉTODO DOS 3 PONTOS) - NORMA NBR - 12763													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	50,03	50,12	50,16	50,13	50,11	101,63	101,64	101,60	101,75	101,66	180	14642	15,49
2	50,32	50,16	50,08	50,14	50,18	101,23	101,42	101,46	101,41	101,38	180	10850	11,48
3	50,35	50,45	50,44	50,56	50,45	101,21	101,40	101,26	101,57	101,36	180	11456	11,99
4	50,04	50,07	50,05	50,10	50,07	101,06	101,03	101,14	101,08	101,08	180	12018	12,81
5	50,26	50,24	50,18	50,22	50,23	101,61	101,10	101,39	101,47	101,39	180	8228	8,69
Média:					50,21					101,37		11438,8	12,1
Desvio Padrão:					0,15					0,205		2305,00	2,45

Velocidade Do Pulso Ultra-Sônico			
CP	tempo (s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	35,3	200,00	5666
2	34,8	200,00	5747
3	34,9	200,00	5731
4	34,9	200,00	5731
5	34,9	200,00	5731
Média:			5721
Desvio Padrão:			31,69

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ASTM C880													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	30,46	29,90	30,28	29,84	30,12	101,91	101,83	102,04	102,20	102,00	360	2836	8,28
3	29,98	29,66	30,05	29,67	29,84	101,50	101,34	101,33	101,69	101,47	360	3616	10,81
4	29,65	30,32	29,71	30,47	30,04	101,53	101,73	101,54	101,59	101,60	360	3026	8,91
5	28,26	27,62	28,39	28,16	28,11	101,56	101,72	101,77	101,91	101,74	360	1638	
Média:					29,53					101,70		2779	9,33
Desvio Padrão:					0,95					0,2268		830,00	1,32

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	90,6	380,00	4194
3	77,7	380,00	4891
4	79,7	380,00	4768
5	79,4	380,00	4786
Média:			4660
Desvio Padrão:			314,95

Amostras sob condições saturadas

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ASTM C880													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	30,25	31,28	31,09	30,13	30,69	101,62	101,30	101,34	101,58	101,46	360	3756	10,61
2	27,63	28,26	28,20	27,55	27,91	101,54	101,93	101,68	101,82	101,74	360	1742	5,93
3	27,35	27,86	27,73	27,36	27,58	101,57	101,66	102,26	101,59	101,77	360	1990	6,94
5	30,60	29,94	30,03	30,52	30,27	101,65	101,88	101,93	102,01	101,87	360	1942	5,62
Média:					29,11					101,71		2357,5	7,28
Desvio Padrão:					1,6					0,175		938,50	2,30

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	69,2	380,00	5491,33
2	68,8	380,00	5523,26
3	69,3	380,00	5483,41
4	69,2	380,00	5491,33
Média:			5497,33
Desvio Padrão:			17,68

AMOSTRA SOB CONDIÇÕES SECAS

Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 12.764						
Corpo de Prova	Dimensões Ladrilhos (mm)		Altura de queda da esfera (metros)			
	Lados	Espessura Média	Fissura		Ruptura	
			Individual	Média	Individual	Média
1	200 X 200	28,10	50	48,3	55	51,66
2	200 X 200	28,40	45		50	
3	200 X 200	29,10	45		45	
4	200 X 200	28,50	55		55	
5	200 X 200	29,20	50		55	
6	200 X 200	28,40	45		50	

AMOSTRA SOB CONDIÇÕES SATURADAS

Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 12.764						
Corpo de Prova	Dimensões Ladrilhos (mm)		Altura de queda da esfera (metros)			
	Lados	Espessura Média	Fissura		Ruptura	
			Individual	Média	Individual	Média
1	200 X 200	28,45	50	49,2	60	55,8
2	200 X 200	28,94	55		60	
3	200 X 200	29,10	55		60	
4	200 X 200	28,25	45		50	
5	200 X 200	27,60	45		50	
6	200 X 200	28,20	45		55	

Ensaio realizado no sentido normal à corrida

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR NORMA NBR -12765					
Corpo de Prova L ₀ (mm)	Temperatura (°C)		Dilatação (mm)		Coeficiente de Dilatação Térmica Linear (10 ⁻³ mm/m°C)
	Faixa de Variação	Δ T	Faixa de Variação	Δ L	
89,36	0,1 – 50,1	50,0	0,000 – 0,0320	0,032	7,25
	50,1 – 0,3	49,8	-0,0320 – 0,0032	0,035	7,86
				Média	7,55

Ensaio realizado no sentido paralelo à corrida

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR NORMA NBR -12765					
Corpo de Prova L ₀ (mm)	Temperatura (°C)		Dilatação (mm)		Coeficiente de Dilatação Térmica Linear (10 ⁻³ mm/m°C)
	Faixa de Variação	Δ T	Faixa de Variação	Δ L	
89,70	0,2 – 50,4	50,2	0,0040 – 0,0190	0,023	4,99
	50,4 – 0,2	50,2	0,0190 – 0,0070	0,026	5,81
				Média	5,45

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042												
Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)		Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)		Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L500m)	(mm)	(Li - L1000m)	(mm)		
1	1	7,53	1	7,48	1	7,30		0,05		0,23	0,223	0,498
	2	7,83	2	7,56	2	7,29		0,27		0,54		
	3	7,83	3	7,45	3	7,15		0,38		0,68		
	4	7,73	4	7,54	4	7,19		0,19		0,54		
2	1	8,76	1	8,52	1	8,36		0,24		0,40	0,255	0,525
	2	8,80	2	8,50	2	8,26		0,30		0,54		
	3	8,93	3	8,65	3	8,28		0,28		0,65		
	4	8,77	4	8,57	4	8,26		0,20		0,51		
										média entre os corpos de prova	0,24	0,51
										desvio padrão	0,02	0,02

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)		Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)		Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L500m)	(mm)	(Li - L1000m)	(mm)		
1	1	3,24	1	2,89	1	2,53		0,35		0,71	0,345	0,630
	2	3,17	2	2,79	2	2,53		0,38		0,64		
	3	3,23	3	2,81	3	2,65		0,42		0,58		
	4	3,25	4	3,02	4	2,66		0,23		0,59		
2	1	1,73	1	1,32	1	0,89		0,41		0,84	0,300	0,650
	2	1,68	2	1,44	2	0,98		0,24		0,70		
	3	1,51	3	1,35	3	1,07		0,16		0,44		
	4	1,68	4	1,29	4	1,06		0,39		0,62		
										média entre os corpos de prova	0,32	0,64
										desvio padrão	0,03	0,01

ANEXO 9 - ENSAIOS TECNOLÓGICOS – GRANITO BRANCO SAVANA

Ensaio de Índices Físicos – Norma NBR 12.766							
CP num.	PESO (g)			Massa Específica (g/cm ³)		Porosidade %	Abs. d'água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	228,88	369,80	368,55	2,615	2,624	0,89	0,34
2	238,67	385,86	384,48	2,612	2,622	0,94	0,36
3	231,78	374,04	372,85	2,621	2,629	0,84	0,32
4	226,92	366,62	365,30	2,615	2,624	0,94	0,36
5	239,10	386,34	385,05	2,615	2,624	0,88	0,34
6	236,72	382,65	381,31	2,613	2,622	0,92	0,35
7	226,06	365,47	364,23	2,613	2,622	0,89	0,34
8	216,67	350,71	349,30	2,606	2,616	1,05	0,40
9	235,14	379,78	378,57	2,617	2,626	0,84	0,32
10	237,39	383,48	382,16	2,616	2,625	0,90	0,35
Valores Médios:				2,614	2,623	0,91	0,35
Desvio Padrão:				0,004	0,003	0,062	0,024

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAxIAL - NORMA NBR 12.767 (1992)													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	73,07	74,28	74,15	73,61	73,09	73,78	75,03	74,77	74,26	74,37	74,61	979,85	178,00
2	74,27	74,65	74,42	74,72	74,53	74,58	74,13	74,24	74,16	74,16	74,17	1029,25	186,06
3	73,89	75,22	75,06	74,54	74,83	74,91	74,39	74,31	73,91	74,43	74,26	934,85	168,05
4	74,32	75,27	74,35	74,40	74,35	74,59	71,80	71,94	71,56	72,00	71,83	744,05	138,88
5	74,41	73,71	74,37	74,22	74,57	74,22	74,72	74,70	74,78	74,67	74,72	954,95	172,21
Média:						74,42					73,92	928,59	168,64
Desvio Padrão:						0,4316					1,19	109,029	17,958

Velocidade do Pulso Ultra-Sônico			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	14,6	73,07	5005
2	14,8	74,27	5018
3	15,8	73,89	4677
4	17,6	74,32	4223
5	15,7	74,41	4739
Média:			4732
Desvio Padrão:			323,59

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL - NORMA NBR 12.767 (1992)													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força	Tensão	
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	74,67	75,24	75,17	74,32	74,93	74,92	75,00	74,92	75,02	74,98	74,98	735,4	130,92
2	73,44	75,95	75,95	75,15	75,31	75,59	73,62	73,80	73,38	73,63	73,61	896	161,04
3	73,93	74,85	74,65	75,16	74,81	74,87	74,95	75,44	75,85	75,24	75,37	778,9	138,04
4	74,74	75,01	75,41	75,02	74,99	75,11	74,95	74,88	74,97	74,75	74,89	858,3	152,60
5	74,36	73,86	75,36	75,45	74,55	74,81	74,59	74,60	74,45	74,60	74,56	988,25	177,19
Média:						75,06					74,68	851,37	151,96
Desvio Padrão:						0,3187					0,67	99,344	18,41

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	15,9	74,67	4696
2	13,3	73,44	5522
3	12,5	73,93	5914
4	13,4	74,74	5578
5	12,7	74,36	5855
Média:			5513
Desvio Padrão:			487,22

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÉTODO DOS 3 PONTOS) - NORMA NBR - 12763													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
num	espessura (d)				média d	largura (b)				média b		N	MPa
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	50,19	50,37	50,07	50,06	50,17	100,94	101,41	101,77	101,62	101,44	180	7486	7,92
3	50,30	50,16	50,41	50,11	50,25	100,03	100,02	100,21	100,17	100,11	180	10924	11,67
4	50,36	50,30	50,15	50,47	50,32	100,76	101,11	101,10	101,36	101,08	180	8378	8,84
5	50,01	50,13	50,17	50,07	50,10	101,75	102,09	102,03	101,77	101,91	180	11534	12,18
Média:					50,21					101,13		9580,5	10,15
Desvio Padrão:					0,1					0,764		1953,98	2,09

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	51,8	200,00	3861
3	41,9	200,00	4773
4	50,2	200,00	3984
5	43,2	200,00	4630
Média:			4312
Desvio Padrão:			456,289

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÉTODO DOS 3 PONTOS) - NORMA NBR - 12763													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	50,03	50,01	50,12	50,08	50,06	100,94	100,81	101,20	101,12	101,02	180	7742	8,26
2	50,22	50,12	50,50	50,10	50,24	100,80	100,52	100,70	100,68	100,68	180	11342	12,05
3	50,72	50,73	50,91	50,81	50,79	101,32	101,56	100,21	101,18	101,07	180	8296	8,59
4	50,61	50,75	50,50	50,34	50,55	101,07	101,13	101,21	101,07	101,12	180	12434	12,99
5	50,64	50,86	50,10	50,31	50,48	100,98	101,11	101,29	101,26	101,16	180	7134	7,47
Média:					50,42					101,01		9389,6	9,87
Desvio Padrão:					0,28					0,194		2349,39	2,47

Velocidade Do Pulso Ultra-Sônico			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	41,5	200,00	4819,28
2	35,0	200,00	5714,29
3	40,4	200,00	4950,50
4	35,2	200,00	5681,82
5	40,6	200,00	4926,11
Média:			5218,40
Desvio Padrão:			440,78

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ASTM C880													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b			
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	30,12	29,36	30,12	29,47	29,77	100,26	99,93	100,36	99,86	100,10	360	2266	6,90
2	29,27	30,12	29,72	30,07	29,80	99,91	100,09	99,93	100,28	100,05	360	2770	8,42
3	30,16	30,01	30,19	30,27	30,16	99,17	99,78	99,23	99,91	99,52	360	2732	8,15
4	30,10	29,32	30,17	29,47	29,77	100,87	100,24	100,84	100,40	100,59	360	1806	5,47
5	30,59	30,57	30,36	30,26	30,45	99,45	99,45	99,31	99,56	99,44	360	2160	6,33
6	30,09	30,26	30,20	30,25	30,20	99,90	99,41	100,05	99,52	99,72	360	2262	6,72
Média:					30,02					99,90		2332,67	7,00
Desvio Padrão:					0,29					0,429		365,34	1,12

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
1	108,4	380,00	3506
2	107,6	380,00	3532
3	106,4	380,00	3571
4	107,7	380,00	3528
5	97,5	380,00	3897
6	104,8	380,00	3626
Média:			3610
Desvio Padrão:			147,03

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

Ensaio de Resistência à Flexão na Tração (Método dos 4 pontos) - NORMA ASTM C880													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média	largura (b)				média			
	1	2	3	4		d	1	2	3			4	b
1	29,41	30,03	30,20	29,38	29,76	100,95	100,42	100,45	100,64	100,62	360	2160	6,55
2	30,09	30,20	30,55	30,20	30,26	99,63	99,53	99,35	99,41	99,48	360	2770	8,21
3	30,06	30,11	30,17	29,91	30,06	99,25	99,84	99,89	99,27	99,56	360	1998	6,00
5	30,16	30,04	29,90	30,01	30,03	99,81	99,53	99,47	100,00	99,70	360	1706	5,12
Média:					29,99					99,77		2154,8	6,48
Desvio Padrão:					0,196					0,482		388,82	1,13

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	89,6	380,00	4241,07
2	81,5	380,00	4662,58
3	89,5	380,00	4245,81
4	90,5	380,00	4198,90
5	90,2	380,00	4212,86
6	95,8	380,00	3966,60
Média:			4254,64
Desvio Padrão:			225,61

AMOSTRA SOB CONDIÇÕES SECAS

Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 12.764						
Corpo de Prova	Dimensões Ladrilhos (mm)		Altura de queda da esfera (metros)			
	Lados	Espessura Média	Fissura		Ruptura	
			Individual	Média	Individual	Média
1	200 X 200	30,80	60	50,8	65	55,8
2	200 X 200	30,80	50		55	
3	200 X 200	30,80	50		55	
4	200 X 200	30,70	55		60	
5	200 X 200	30,60	40		45	
6	200 X 200	30,40	50		55	

AMOSTRA SOB CONDIÇÕES SATURADAS

Ensaio de Resistência ao Impacto de Corpo Duro - NORMA NBR 12.764						
Corpo de Prova	Dimensões Ladrilhos (mm)		Altura de queda da esfera (metros)			
	Lados	Espessura Média	Fissura		Ruptura	
			Individual	Média	Individual	Média
1	200 X 200	30,50	50	54,2	60	59,2
2	200 X 200	30,70	55		60	
3	200 X 200	30,70	60		65	
4	200 X 200	30,40	55		55	
5	200 X 200	30,60	50		55	
6	200 X 200	30,70	55		60	

Ensaio realizado no sentido normal à corrida

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR NORMA NBR -12765					
Corpo de Prova L ₀ (mm)	Temperatura (°C)		Dilatação (mm)		Coeficiente de Dilatação Térmica Linear (10 ⁻³ mm/m°C)
	Faixa de Variação	Δ T	Faixa de Variação	Δ L	
89,61	0,7 – 50,1	49,4	0,0040 – 0,0250	0,029	6,84
	50,1 – 0,7	49,4	0,0250 – 0,0130	0,038	8,81
Média					7,80

Ensaio realizado no sentido paralelo à corrida

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR NORMA NBR -12765					
Corpo de Prova L ₀ (mm)	Temperatura (°C)		Dilatação (mm)		Coeficiente de Dilatação Térmica Linear (10 ⁻³ mm/m°C)
	Faixa de Variação	Δ T	Faixa de Variação	Δ L	
89,71	0,2 – 50,1	49,9	1,0020 – 1,0260	0,024	5,41
	50,1 – 0,3	49,8	1,0260 – 1,0010	0,025	5,64
Média					5,53

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042												
Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)		Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)		Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L500m)		(Li - L1000m)			
1	1	7,89	1	7,70	1	7,57	0,19	0,32	0,195	0,420	0,195	0,420
	2	8,08	2	7,79	2	7,50	0,29	0,58				
	3	8,03	3	7,86	3	7,53	0,17	0,50				
	4	7,92	4	7,79	4	7,64	0,13	0,28				
2	1	6,11	1	5,92	1	5,66	0,19	0,45	0,255	0,473	0,255	0,473
	2	6,21	2	5,84	2	5,63	0,37	0,58				
	3	6,20	3	5,92	3	5,73	0,28	0,47				
	4	6,16	4	5,98	4	5,77	0,18	0,39				
média entre os corpos de prova											0,23	0,446
desvio padrão											0,04	0,04

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)		Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)		Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto		(Li - L500m)		(Li - L1000m)			
1	1	5,28	1	5,09	1	4,84	0,19	0,44	0,273	0,513	0,273	0,513
	2	5,14	2	4,95	2	4,75	0,19	0,39				
	3	5,10	3	4,78	3	4,57	0,32	0,53				
	4	5,31	4	4,92	4	4,62	0,39	0,69				
2	1	4,96	1	4,82	1	4,45	0,14	0,51	0,205	0,558	0,205	0,558
	2	4,86	2	4,74	2	4,30	0,12	0,56				
	3	4,87	3	4,58	3	4,24	0,29	0,63				
	4	4,96	4	4,69	4	4,43	0,27	0,53				
média entre os corpos de prova											0,239	0,535
desvio padrão											0,05	0,03

ANEXO 10 - ENSAIOS TECNOLÓGICOS – GRANITO BRANCO CRISTAL QUARTZO

Ensaio de Índices Físicos – Norma NBR 12.766							
CP num.	PESO (g)			Massa Específica (g/cm ³)		Porosidade %	Abs. d'água %
	Sub (A)	Sat (B)	Seco (C)	Seca	Saturada		
1	220,40	356,34	355,26	2,613	2,621	0,79	0,30
2	222,44	359,72	358,68	2,613	2,620	0,76	0,29
3	221,51	358,26	357,21	2,612	2,620	0,77	0,29
4	225,21	363,56	362,41	2,620	2,628	0,83	0,32
5	231,74	374,53	373,49	2,616	2,623	0,73	0,28
6	232,56	375,32	374,13	2,621	2,629	0,83	0,32
7	230,33	371,67	370,48	2,621	2,630	0,84	0,32
8	213,71	345,34	344,42	2,617	2,624	0,70	0,27
9	233,85	377,83	376,56	2,615	2,624	0,88	0,34
10	235,71	380,69	379,43	2,617	2,626	0,87	0,33
Valores Médios:				2,616	2,624	0,80	0,31
Desvio Padrão:				0,003	0,004	0,061	0,023

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL - NORMA NBR 12.767 (1992)													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)											Força	Tensão
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	75,05	73,59	73,31	73,43	73,85	73,55	73,82	73,90	73,84	73,82	73,85	890,7	164,0
2	74,76	76,04	75,60	75,15	75,71	75,63	73,88	73,75	73,87	73,68	73,80	959,5	171,9
4	75,05	75,11	75,71	75,93	75,83	75,65	74,33	74,04	74,10	74,74	74,30	1016,5	180,8
5	74,91	76,23	76,23	75,71	75,90	76,02	75,17	74,79	75,00	75,34	75,08	1114,3	195,3
Média:						75,21					74,25	995,213	178,0
Desvio Padrão:						1,1233					0,59	94,5959	13,401

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	16,8	75,05	4467
2	16,8	74,76	4450
4	16,9	75,05	4441
5	16,9	74,91	4433
Média:			4448
Desvio Padrão:			14,887

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL - NORMA NBR 12.767 (1992)													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										Força	Tensão	
num	h	b				média	d				média	kN	MPa
		1	2	3	4		1	2	3	4			
1	73,80	73,33	73,40	72,51	72,42	72,92	74,66	74,85	75,29	75,15	74,99	969,1	177,2
2	75,54	75,90	75,97	75,72	75,76	75,84	75,23	75,45	75,12	75,23	75,26	976,25	171,1
3	74,91	75,60	75,62	75,85	75,94	75,75	74,64	74,66	74,68	74,67	74,66	985,9	174,3
4	75,45	74,56	74,66	74,82	75,01	74,76	73,27	73,36	73,38	73,53	73,39	1035,9	188,8
5	75,33	74,33	74,28	74,47	74,80	74,47	73,03	73,01	72,95	72,97	72,99	914,45	168,2
Média:						74,75					74,26	976,32	175,9
Desvio Padrão:						1,19					1,01	43,3635	7,9571

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	13,3	73,80	5549
2	13,6	75,54	5554
3	13,5	74,91	5549
4	13,7	75,45	5507
5	13,7	75,33	5499
Média:			5532
Desvio Padrão:			26,46

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÉTODO DOS 3 PONTOS) - NORMA NBR - 12763														
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão	
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b		N	MPa	
	num	1	2	3		4	1	2	3					4
1	50,53	50,81	50,68	50,73	50,69	101,65	101,26	101,40	101,43	101,44	180	8594	8,90	
2	50,45	50,78	50,50	50,73	50,62	100,74	100,57	101,70	100,95	100,99	180	7830	8,17	
3	50,28	50,09	50,43	50,59	50,35	101,07	101,72	100,97	101,03	101,20	180	7216	7,60	
4	50,09	50,07	50,12	50,19	50,12	101,15	101,30	101,51	101,55	101,38	180	8982	9,52	
Média:					50,44					101,25		8155,5	8,55	
Desvio Padrão:					0,261					0,2007		788,25	0,84	

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	49,1	200,00	4073
2	48,5	200,00	4124
3	48,1	200,00	4158
4	52,2	200,00	3831
Média:			4047
Desvio Padrão:			147,62

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MÉTODO DOS 3 PONTOS) - NORMA NBR - 12763													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b		N	MPa
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	50,11	50,12	50,02	50,06	50,08	101,70	101,00	101,38	101,12	101,30	180	5824	6,19
2	50,20	50,84	50,81	50,53	50,60	101,54	101,36	100,78	101,11	101,20	180	10230	10,66
3	50,72	50,52	50,96	50,36	50,64	101,70	100,99	100,53	101,41	101,16	180	10542	10,97
4	50,10	50,22	50,08	50,28	50,17	100,64	101,12	100,94	101,21	100,98	180	11466	12,18
5	50,46	50,39	50,51	50,36	50,43	101,04	101,14	101,18	101,09	101,11	180	8354	8,77
Média:					50,38					101,15		9283,2	9,76
Desvio Padrão:					0,25					0,118		2240,26	2,34

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	39,1	200,00	5115
2	41,0	200,00	4878
3	41,3	200,00	4843
4	41,6	200,00	4808
5	42,0	200,00	4762
Média:			4881
Desvio Padrão:			137,69

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO NA TRAÇÃO (MÉTODO DOS 4 PONTOS) - NORMA ASTM C880													
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força	Tensão
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b		N	MPa
	1	2	3	4		1	2	3	4				
1	31,47	31,63	31,53	31,30	31,48	99,80	100,88	100,53	99,70	100,23	360	2946	8,01
2	31,80	31,93	32,05	31,89	31,92	99,76	100,23	100,11	99,66	99,94	360	2736	7,26
3	31,37	31,43	31,25	31,41	31,37	100,66	100,60	100,85	100,69	100,70	360	2566	6,99
5	31,44	31,30	31,30	31,39	31,36	100,88	100,07	100,07	100,74	100,44	360	2772	7,58
6	30,41	30,33	30,45	30,57	30,44	100,40	100,82	100,69	100,75	100,67	360	3014	8,72
Média:					31,31					100,39		2806,8	7,71
Desvio Padrão:					0,54					0,3174		177,85	0,68

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
1	tempo (µs)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	108,4	380,00	3506
2	107,6	380,00	3532
3	106,4	380,00	3571
4	107,7	380,00	3528
5	97,5	380,00	3897
6	104,8	380,00	3626
Média:			3610
Desvio Padrão:			147,03

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO NA TRAÇÃO (MÉTODO DOS 4 PONTOS) - NORMA ASTM C880														
CP	dimensões dos corpos-de-prova (mm)										dist. entre cutelos (L) (mm)	Força N	Tensão MPa	
	espessura (d)				média d	largura (b)				média b				
	1	2	3	4		1	2	3	4					
1	31,21	30,87	31,10	31,24	31,11	100,74	100,67	100,70	100,66	100,69	360	2252	6,24	
2	31,42	31,65	31,79	31,56	31,61	99,51	100,63	100,50	99,61	100,06	360	3124	8,44	
3	31,76	31,83	31,79	31,53	31,73	99,79	100,34	100,50	99,70	100,08	360	2444	6,55	
4	30,85	31,20	31,31	30,85	31,05	100,75	100,36	100,85	100,59	100,64	360	2756	7,67	
5	31,61	31,63	31,91	31,77	31,73	99,73	100,19	100,23	99,68	99,96	360	2486	6,67	
6	31,6	31,7	31,66	31,49	31,62	99,65	100,2	99,68	100,4	100,00	360	2914	7,87	
Média:					31,47					100,24		2663	7,24	
Desvio Padrão:					0,31					0,334		326,3	0,87	

VELOCIDADE DO PULSO ULTRA-SÔNICO			
CP	tempo (□s)	dist. (mm)	veloc. (m/s)
1	85,7	380,00	4434,07
2	81,6	380,00	4656,86
3	83,6	380,00	4545,45
4	82,7	380,00	4594,92
5	80,4	380,00	4726,37
6	81,7	380,00	4651,16
Média:			4601,47
Desvio Padrão:			102,31

AMOSTRA SOB CONDIÇÕES SECAS

ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO - NORMA NBR 12.764						
Corpo de Prova	Dimensões Ladrilhos (mm)		Altura de queda da esfera (metros)			
	Lados	Espessura Média	Fissura		Ruptura	
			Individual	Média	Individual	Média
1	200 X 200	30,20	65	56,6	70	61,66
2	200 X 200	31,80	65		70	
3	200 X 200	30,70	50		55	
4	200 X 200	32,00	60		65	
5	200 X 200	30,70	45		50	
6	200 X 200	30,80	55		60	

AMOSTRA SOB CONDIÇÕES SATURADAS

ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CORPO DURO - NORMA NBR 12.764						
Corpo de Prova	Dimensões Ladrilhos (mm)		Altura de queda da esfera (metros)			
	Lados	Espessura Média	Fissura		Ruptura	
			Individual	Média	Individual	Média
1	200 X 200	32,20	65	59,2	70	64,2
2	200 X 200	30,70	60		70	
3	200 X 200	30,40	50		50	
4	200 X 200	31,90	60		65	
5	200 X 200	32,00	55		60	
6	200 X 200	30,90	65		70	

Ensaio realizado no sentido normal à corrida

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR NORMA NBR -12765					
Corpo de Prova L ₀ (mm)	Temperatura (°C)		Dilatação (mm)		Coeficiente de Dilatação Térmica Linear (10 ⁻³ mm/m°C)
	Faixa de Variação	Δ T	Faixa de Variação	Δ L	
89,82	0,1 – 50,1	50,0	1,000 -1,0240	0,024	5,175
	50,1 – 0,3	49,8	1,0240 –0,9980	0,026	5,746
Média					5,50

Ensaio realizado no sentido paralelo à corrida

ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR NORMA NBR -12765					
Corpo de Prova L ₀ (mm)	Temperatura (°C)		Dilatação (mm)		Coeficiente de Dilatação Térmica Linear (10 ⁻³ mm/m°C)
	Faixa de Variação	Δ T	Faixa de Variação	Δ L	
89,66	0,2 – 50,3	49,9	0,9980– 1,0180	0,020	4,50
	50,1 – 0,3	49,8	1,0180 – 0,9930	0,025	5,70
Média					5,10

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SECAS

Ensaio de Resistência ao Desgaste Abrasivo (Método Amsler) - Norma-NBR 12.042											
Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)	Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)	Média (500m)	Média (1000m)	
	canto		canto		canto						
1	1	8,16	1	7,90	1	7,63	0,26	0,53	0,268	0,520	
	2	8,35	2	8,10	2	7,74	0,25	0,61			
	3	8,40	3	8,09	3	7,86	0,31	0,54			
	4	8,23	4	7,98	4	7,83	0,25	0,40			
2	1	9,12	1	8,76	1	8,48	0,36	0,64	0,225	0,518	
	2	9,10	2	8,82	2	8,62	0,28	0,48			
	3	9,00	3	8,88	3	8,57	0,12	0,43			
	4	9,00	4	8,86	4	8,48	0,14	0,52			
média entre os corpos de prova								0,246	0,519		
desvio padrão								0,03	0,00		

AMOSTRAS SOB CONDIÇÕES SATURADAS

Corpo de Prova	Leit. Iniciais (mm)		Leit. 500m (mm)		Leit. 1000m (mm)		Desgaste 500m (Li - L500m) (mm)	Desgaste 1000m (Li - L1000m) (mm)	Média (500m)	Média (1000m)
	canto		canto		canto					
1	1	3,81	1	3,53	1	3,35	0,28	0,46	0,400	0,515
	2	3,89	2	3,43	2	3,34	0,46	0,55		
	3	3,75	3	3,28	3	3,27	0,47	0,48		
	4	3,69	4	3,30	4	3,12	0,39	0,57		
2	1	3,42	1	3,00	1	2,57	0,42	0,85	0,405	0,740
	2	3,60	2	3,00	2	2,69	0,60	0,91		
	3	3,40	3	2,99	3	2,72	0,41	0,68		
	4	3,26	4	3,07	4	2,74	0,19	0,52		
média entre os corpos de prova								0,403	0,628	
desvio padrão								0,00	0,16	